

Équipements  
pour l'enseignement  
technique



Mécanique appliquée  
et conception mécanique

## Table des matières

### Bienvenue chez GUNT

Dans ce catalogue, nous vous donnons une vue d'ensemble très complète de nos appareils innovants de démonstration et d'essai.

Appareils GUNT pour:

- l'apprentissage des métiers techniques
- la formation professionnelle et continue du personnel technique dans l'artisanat et l'industrie
- les études d'ingénieur

#### Mentions légales

© 2017 G.U.N.T. Gerätebau GmbH. La réutilisation, le stockage, la reproduction et la réimpression – même partielle – du contenu sont interdits sans autorisation écrite préalable. GUNT est une marque déposée. Les produits GUNT sont donc protégés et relèvent du code de la propriété intellectuelle.

GUNT ne peut être tenu responsable de toute erreur d'impression.  
Sous réserve de modifications.

Crédits photo: GUNT Gerätebau GmbH, photos fabricant, Shutterstock  
Conception graphique & mise en page:  
Profisatz.Graphics, Bianca Buhmann, Hambourg  
Impression: imprimé sur papier écologique, blanchi sans chlore.

# Mécanique appliquée et conception mécanique

Introduction	004
1 Mécanique appliquée – statique	008
2 Mécanique appliquée – résistance des matériaux	076
3 Mécanique appliquée – dynamique	142
4 Dynamique des machines	182
5 Conception mécanique	252
6 Essai des matériaux	314
Index	380
Aperçu de produits	386

# Systèmes didactiques et d'apprentissage pour les domaines de la mécanique appliquée, de la conception mécanique et de l'essai des matériaux

Les principes de base des mathématiques et des sciences, mais aussi des bases technologiques ainsi que la conception technique, servent de socle à la formation de base des ingénieurs.

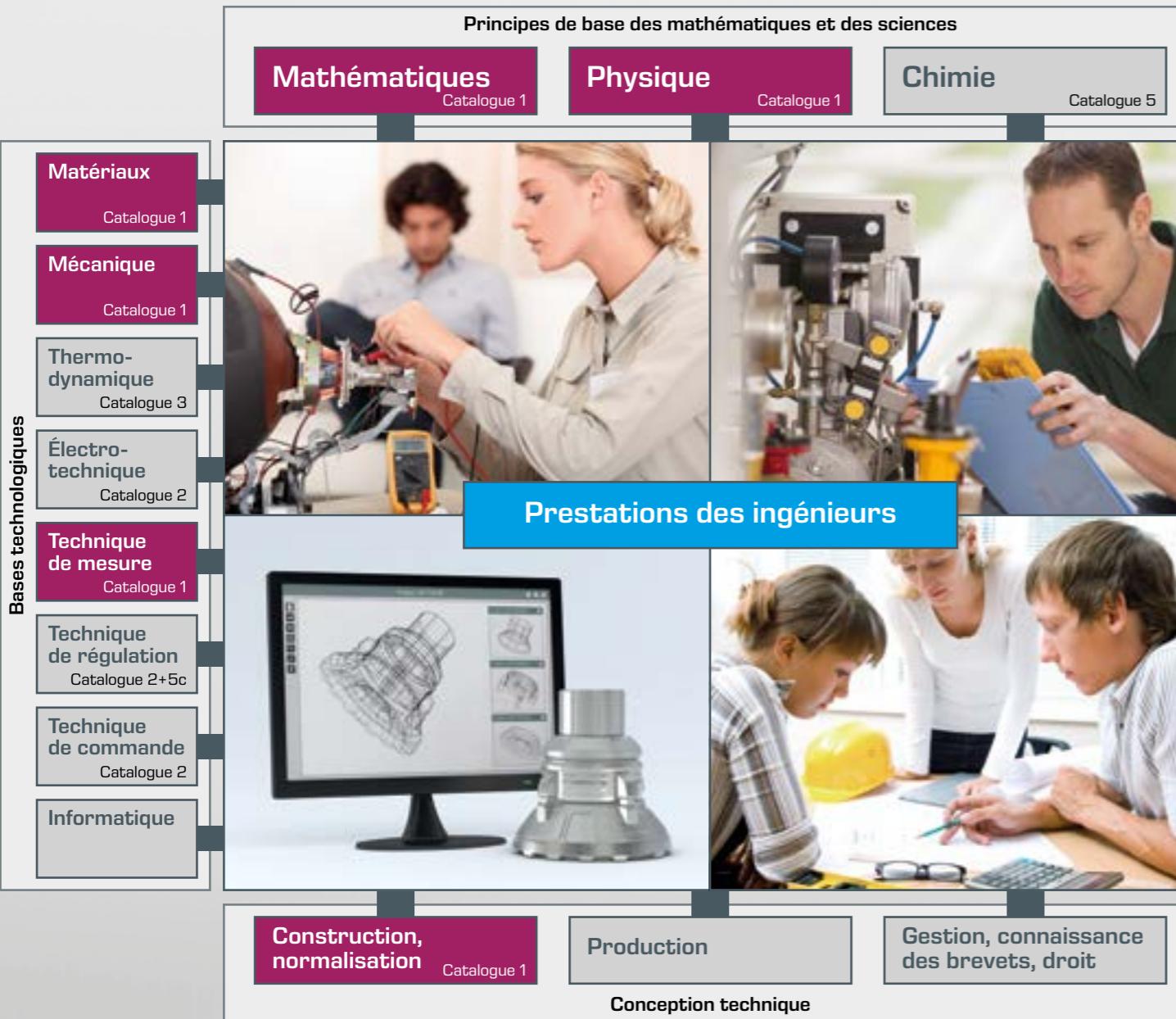
Les cursus d'ingénieurs s'orientent tous au départ sur les principes de base et les méthodes. Dans la suite des études, ces

acquis solides serviront de base aux matières d'approfondissement, et font donc partie du tronc commun de tout cursus d'ingénieur.

## Principes de base et spécialités du travail d'ingénieur

Les principes à connaître pour tout travail d'ingénieur tels que les principes de base des mathématiques et des sciences, des bases technologiques et la conception technique, sont divisés en différentes spécialités comme la mécanique, la physique, la

thermodynamique, la construction. La figure suivante montre les relations qui existent entre les principes de base et les spécialités.



## Qu'est-ce que GUNT peut faire pour vous?

Bien connaître les principes de base est essentiel dans le développement technique, afin d'appréhender les différentes interconnexions et de pouvoir concevoir des systèmes complexes.

Les appareils de GUNT aident dans l'enseignement des connaissances de base en offrant des solutions pratiques. Il est important de développer une sensibilité pour le sujet afin d'être en mesure d'utiliser de manière juste et appropriée les différents composants, éléments de machine et matériaux. Le meilleur moyen d'y parvenir, c'est avant tout de **comprendre**.

**Votre succès est notre objectif!**

Le présent catalogue 1 comprend des appareils permettant d'effectuer des démonstrations et des essais qui aident à assimiler les principes de base dans les domaines de la mécanique appliquée, de la conception mécanique et de l'essai des matériaux.

En plus des appareils individuels, GUNT a développé des séries d'appareils qui permettent de couvrir une thématique complète dans son ensemble. Les appareils appartenant à une même série sont interdépendants d'un point de vue thématique. Chaque appareil traite une question différente, mais toutes les questions forment un ensemble qui couvre une thématique complète.



Amélioration des conditions de vie de l'homme grâce au développement et à l'utilisation de moyens techniques

# Systèmes didactiques et d'apprentissage pour les domaines de la mécanique appliquée, de la conception mécanique et de l'essai des matériaux

## Construction du catalogue

Un cheminement approfondi à travers les thématiques de base que sont la mécanique appliquée, les éléments de machine, la conception mécanique et l'essai des matériaux permet de préparer les étudiants à leur future profession d'ingénieur. Le tableau montre

un extrait de programme classique de l'enseignement technique supérieur tel qu'on en trouve dans les tables des matières des ouvrages techniques sur le thème de la mécanique appliquée. Les appareils GUNT couvrent très largement ces sujets.

### Mécanique appliquée

Statique Chapitre 1	Résistance des matériaux Chapitre 2	Dynamique (cinématique et cinétique) Chapitre 3	Dynamique des machines Chapitre 4
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ forces et moments, axiomes de la statique</li> <li>■ systèmes de forces dans un plan, conditions d'équilibre</li> <li>■ principe de coupe et tailles de coupe: force normale, effort tranchant, moment de flexion</li> <li>■ poutres, treillis, ponts, supports</li> <li>■ adhérence et frottement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ contraintes dues à: la traction, la compression, la poussée, la torsion</li> <li>■ problèmes de flambelement</li> <li>■ déformations, contraintes</li> <li>■ loi d'élasticité</li> <li>■ méthodes énergétiques</li> <li>■ principe du travail virtuel</li> <li>■ analyse expérimentale des contraintes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ cinématique d'un point, cinématique des corps rigides</li> <li>■ cinétique d'un point de masse</li> <li>■ systèmes de points de masse</li> <li>■ dynamique des corps</li> <li>■ vibrations</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ vibrations dans les machines</li> <li>■ vibrations de torsion de systèmes de courroies, flexions alternées</li> </ul>



### Conception mécanique

Dessin industriel & modèles en coupe Chapitre 5	Éléments de machine & exercices de montage Chapitre 5
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ développement de la représentation spatiale</li> <li>■ représentation en trois vues</li> <li>■ vue en coupe</li> <li>■ directives de conception</li> <li>■ modèles en coupe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ éléments du système de fixation</li> <li>■ paliers</li> <li>■ éléments de transmission / éléments de transformation</li> <li>■ exercices de montage</li> </ul>

### Essai des matériaux

Essai des matériaux Chapitre 6
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ essai mécanique des matériaux</li> <li>■ essais de traction, compression, flexion, dureté, torsion</li> <li>■ essai de résilience</li> </ul>

# Mécanique appliquée – statique

<b>Introduction</b>		
<b>Aperçu</b> Mécanique appliquée	010	
<b>Connaissances de base</b> Statique	012	
<b>Aperçu</b> Appareils d'essai pour le domaine de la statique	014	
<b>Forces et moments</b>		
<b>TM 110</b> Principe de la statique	016	
<b>TM 110.01</b> Jeu complémentaire plan incliné et frottement	018	
<b>TM 110.02</b> Jeu complémentaire poulies	019	
<b>TM 110.03</b> Jeu complémentaire roues dentées	020	
<b>TM 115</b> Forces dans le bras de grue	021	
<b>FL 111</b> Forces dans un treillis simple	022	
<b>EM 049</b> Equilibre des moments d'un levier à deux bras	023	
<b>SE 110.53</b> Équilibre dans un système plan isostatique	024	
<b>TM 121</b> Équilibre des moments sur des poulies	026	
<b>TM 122</b> Équilibre des moments sur une poulie différentielle	027	
<b>Réactions internes et méthodes de sections</b>		
<b>Connaissances de base</b> Réactions internes et principe de coupe sur des barres, poutres et câbles	028	
<b>WP 960</b> Poutre sur 2 supports: courbes des efforts tranchants et des moments de flexion	030	
<b>WP 961</b> Poutre sur 2 supports: courbe des efforts tranchants	032	
<b>WP 962</b> Poutre sur 2 supports: courbe des moments de flexion	033	
<b>SE 110.50</b> Câble soumis au poids propre	034	
<b>Forces dans un treillis</b>		
<b>Connaissances de base</b> Méthode des sections pour les treillis plans	036	
<b>SE 110.21</b> Forces dans différents treillis plans	038	
<b>SE 110.22</b> Forces dans un treillis hyperstatique	040	
<b>SE 130</b> Forces dans un treillis type Howe	042	
<b>SE 130.01</b> Poutre à treillis: type Warren	044	
<b>Ponts, poutres, arcs, câbles</b>		
<b>SE 110.18</b> Forces au niveau d'un pont suspendu	046	
<b>SE 110.12</b> Lignes d'influence au niveau de la poutre cantilever	048	
<b>SE 110.17</b> Arc à trois articulations	050	
<b>SE 110.16</b> Arc parabolique	052	
<b>Accessoires</b>		
<b>Aperçu</b> FL 152: acquisition et évaluation assistées par ordinateur des signaux des jauge de contrainte	054	
<b>FL 152</b> Amplificateur de mesure multivoie	056	
<b>SE 112</b> Bâti de montage	058	
<b>Brochure</b> Cours: Mécanique appliquée	060	
<b>Adhérence et frottement</b>		
<b>Connaissances de base</b> Adhérence et frottement	068	
<b>TM 210</b> Frottement entre des corps solides	070	
<b>TM 200</b> Principes du frottement mécanique	072	
<b>TM 225</b> Frottement sur un plan incliné	073	
<b>TM 220</b> Entraînement par courroie et frottement de courroie	074	

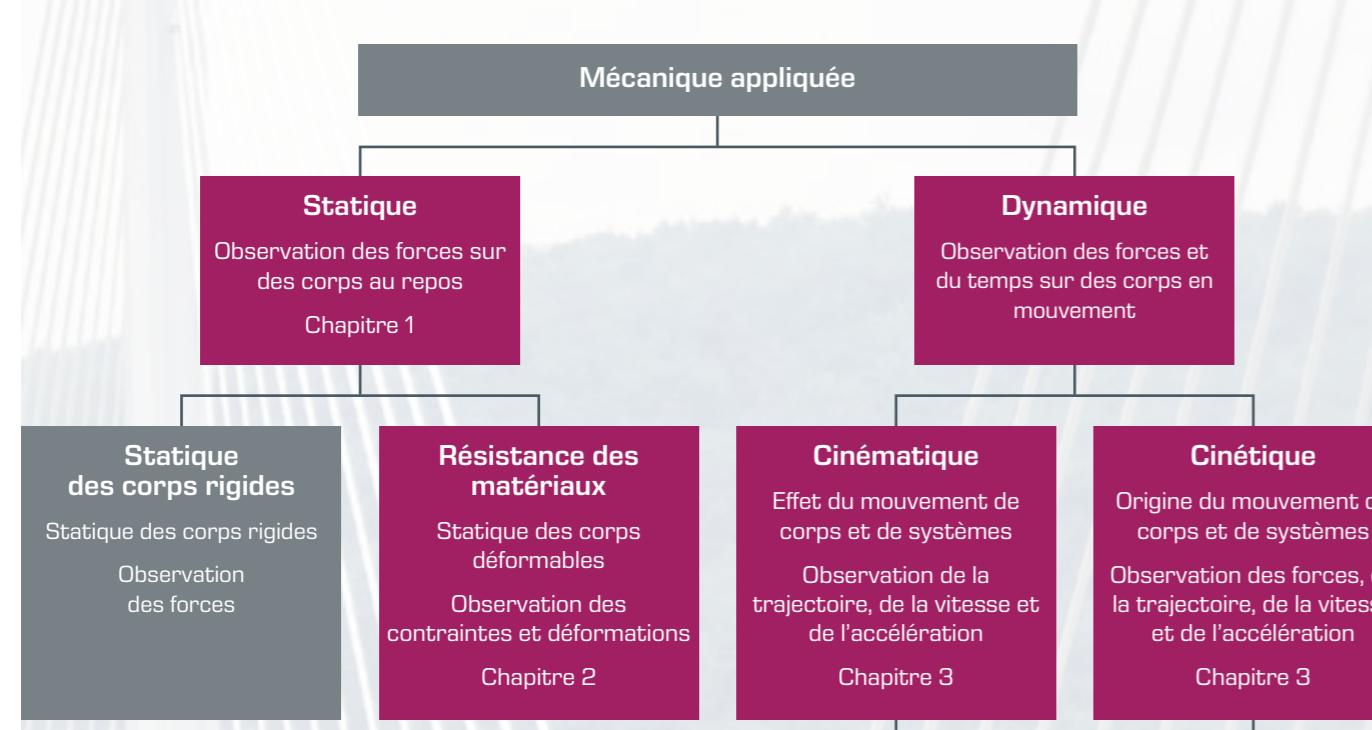
# Mécanique appliquée

Matière fondamentale de tous les cursus d'ingénieur, la **mécanique appliquée** décrit les mouvements des corps ainsi que ceux des forces liées à ces mouvements.

La mécanique appliquée étudie l'équilibre des forces et en déduit entre autres les sollicitations, comme p.ex. les contraintes et les déformations, auxquelles est soumis un composant. En se servant de valeurs caractéristiques telles que la résistance, les contraintes ou les déformations admissibles, on compare la sollicitation réelle et la sollicitation admissible pour pouvoir ensuite dimensionner un composant. Il est impératif pour cela que la sollicitation appliquée à un composant soit inférieure à sa sollicitation admissible.

En association avec les matières fondamentales science des matériaux et éléments de machine, la mécanique appliquée donne des méthodes de calcul fondamentales pour le dimensionnement des constructions dans tous les domaines du technique. La mécanique appliquée constitue ainsi le lien entre les connaissances théoriques de base et la mise en pratique, et est indispensable à la compréhension et à l'analyse globale de systèmes techniques complexes.

## Structure générale de la spécialité mécanique appliquée et correspondances dans le présent catalogue



**“** La mécanique appliquée est la voie d'accès par excellence au génie civil puisqu'elle offre également un enseignement méthodique autre l'enseignement du contenu. **”**

Prof. Dr.-Ing. Frank Mestemacher,  
département de Mécanique de l'école supérieure de Stralsund

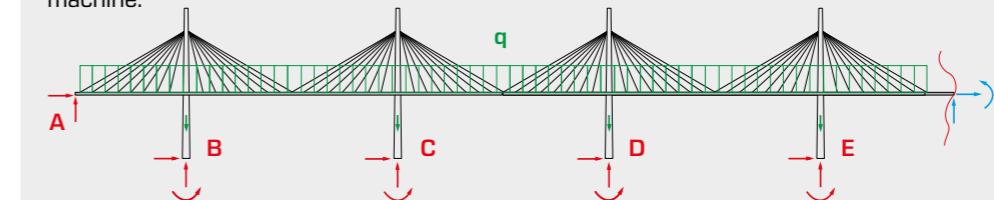
Dans l'enseignement technique, le domaine de la mécanique appliquée est habituellement divisé de la manière suivante en différents sous-domaines:

- **mécanique appliquée I** avec la thématique statique
- **mécanique appliquée II** avec la thématique résistance des matériaux ou statique élastique
- **mécanique appliquée III** avec les thématiques cinématique et cinétique, également appelée dynamique

## Les thématiques du domaine de la mécanique appliquée

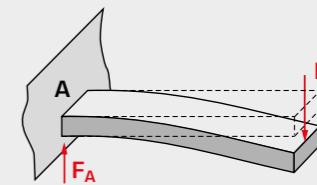
### Statique

La statique dispense des connaissances élémentaires permettant d'analyser les charges qui s'exercent sur les systèmes mécaniques. Ces connaissances sont ensuite utilisées pour concevoir et dimensionner les composants et les éléments de machine.



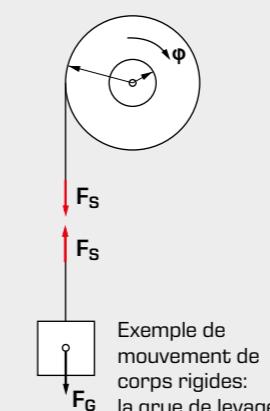
### Résistance des matériaux

La résistance des matériaux a pour objet les déformations des systèmes élastiques soumis à des charges telles que compression, traction, flexion, torsion et poussée, ainsi que la détermination des états de contrainte qui en découlent.



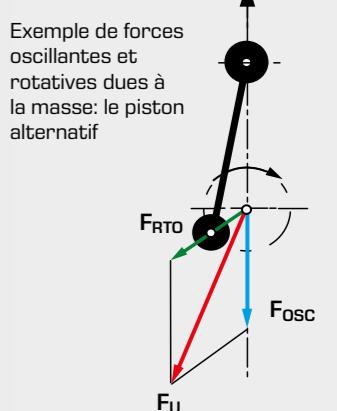
### Dynamique (cinématique et cinétique)

La dynamique étudie les systèmes en mouvement: la cinématique s'intéresse au déroulement du mouvement, indépendamment de son origine. La cinétique observe le mouvement des corps rigides sous l'influence de forces.



### Dynamique des machines

En s'appuyant sur les principes de base de la mécanique appliquée, la dynamique des machines s'intéresse aux interactions entre les forces dynamiques et les grandeurs de mouvement à l'intérieur des machines.



## Connaissances de base Statique

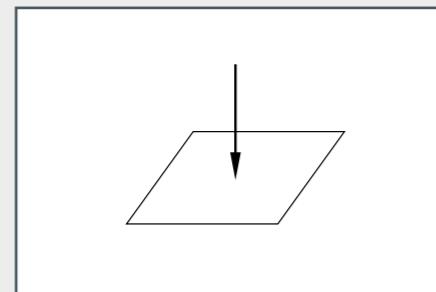
La statique étudie les effets des forces sur des corps rigides en équilibre. Deux forces se trouvent en équilibre lorsqu'elles sont de même taille, sont orientées dans des directions opposées et ont la même ligne d'action. En statique, un corps est considéré comme rigide lorsque les déformations provoquées par les forces exercées sont négligeables par rapport aux dimensions de ce corps.

L'objet principal de la statique consiste à étudier l'équilibre des forces de corps ou de systèmes mécaniques. S'appuyant sur les axiomes de la mécanique, la mécanique des corps rigides a pour objet l'équivalence et l'équilibre des systèmes de forces, le calcul du centre de gravité, les forces et moments internes dans des poutres et les treillis, ainsi que les problèmes de frottement. De manière générale, les structures considérées sont des structures porteuses qui se trouvent au repos, et qui doivent le rester du fait de leur fonction. La statique ne considère pas les propriétés des matériaux: ces dernières sont étudiées dans le cadre de la résistance des matériaux.

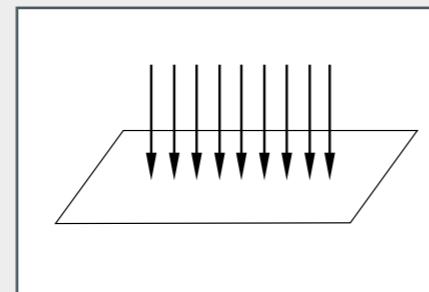
### Termes de base de la statique

La **force**, en tant qu'origine des modifications de mouvement ou de forme, est décrite par sa valeur, la position de la ligne d'action et la direction le long de la ligne d'action. Les forces sont classées selon différents aspects:

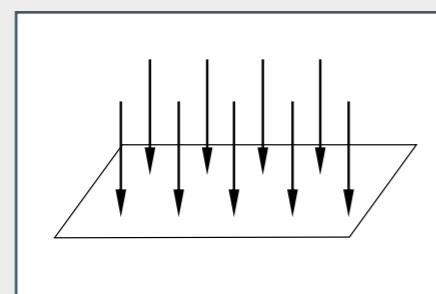
#### Classement selon la dimension



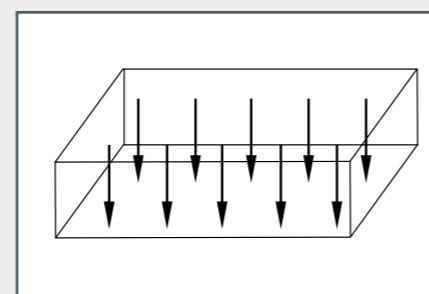
**Force ponctuelle:**  
s'exerce en un point unique (idéalisation en mécanique)



**Force linéaire / charge linéaire:**  
force répartie de manière continue le long d'une ligne (idéalisation en mécanique)



**Force en surface:** apparaît sur la surface ou en tant que charge de compression (pression de l'eau sur une digue, charge de la neige sur un toit)

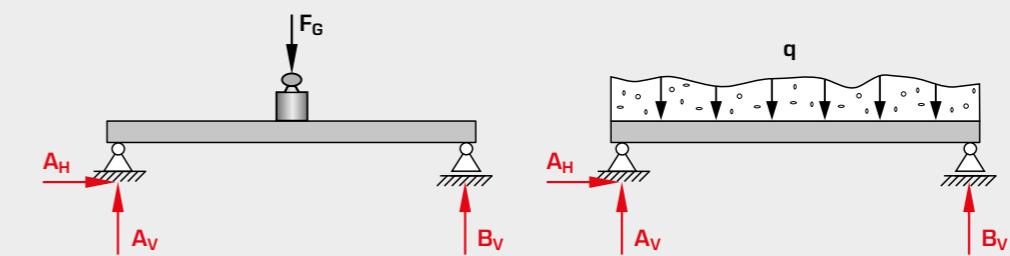


**Force en volume:**  
agit de manière répartie dans l'espace sur le volume d'un corps (poids, forces magnétiques, forces électriques)

#### Classement selon l'origine

**Force physique ( $F, q$ ):** agit de manière active sur un corps (p.ex. poids, pression du vent, charge de la neige)

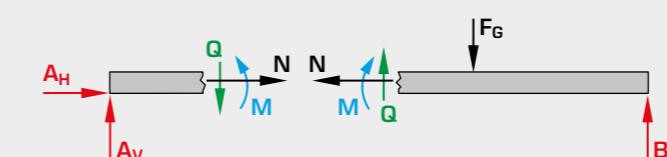
**Force de réaction ou force de contrainte ( $A_V, A_H, B_V$ ):** agit dans la direction opposée à la force physique, et assure le maintien du corps en équilibre (p.ex. force normale  $F_N$ , réaction d'appui, force d'adhésion)



#### Classement dans le système

**Force interne:** on l'obtient par le biais d'une coupe virtuelle du corps. Cette force agit entre les parties d'un corps ou d'un système (force normale  $N$ , effort tranchant  $Q$ , moment de flexion  $M$ ).

**Force externe:** agit depuis l'extérieur sur un corps (p.ex. poids, pression du vent, charge de la neige, force d'adhésion, réaction d'appui)

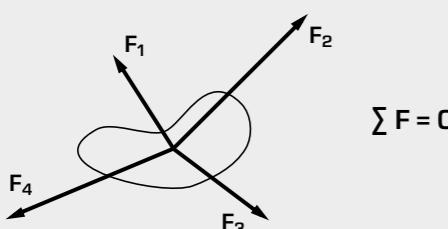


$F_G$  poids,  $q$  force de la neige,  $A$  et  $B$  réactions d'appui, indice  $V$  forces verticales, indice  $H$  forces horizontales,  $N$  force normale,  $Q$  effort tranchant,  $M$  moment de flexion

## Axiomes de la statique

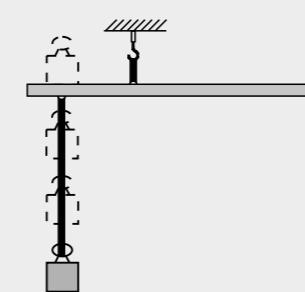
### Principe d'inertie:

tout corps perdure dans un état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme, tant qu'il n'est pas contraint de quitter cet état sous l'effet de forces agissant sur lui.



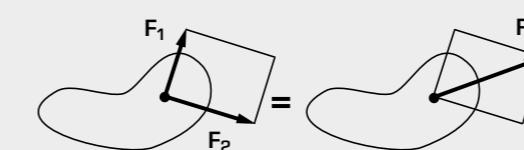
### Principe du déplacement:

deux forces de même valeur, de même ligne d'action et de même direction mais dont les points d'action sont différents, exercent une action identique sur un corps rigide, elles sont dites équivalentes. En d'autres termes: on a le droit de déplacer le vecteur de force le long de la ligne d'action.



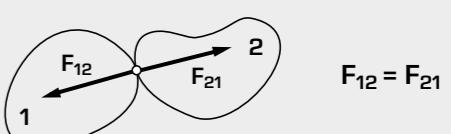
### Principe du parallélogramme:

l'action de deux forces avec point d'application commun est équivalente à l'action d'une seule force dont le vecteur est la diagonale d'un parallélogramme et qui a le même point d'application que les deux forces.



### Principe de réaction:

lorsqu'un corps exerce une force sur un autre corps (action), cela entraîne pareillement l'exercice d'une force par ce second corps sur le premier (réaction); cette force a alors la même valeur et la même ligne d'action que la première force, mais une direction opposée à la sienne.



# Appareils d'essai pour le domaine de la statique

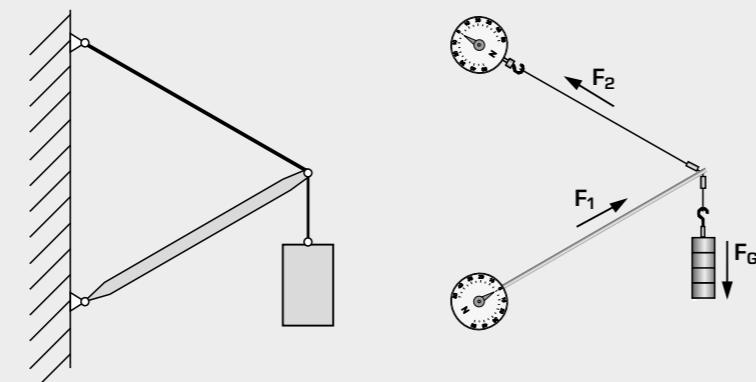
Le chapitre mécanique appliquée – statique propose des appareils d'essai sur les thématiques suivantes:

## Forces et moments

- démonstration de forces et décomposition graphique des forces
- étude de systèmes de levier
- systèmes de forces centrales dans un plan, systèmes statiquement déterminés
- efforts dans la barre, réactions d'appui, équilibre des forces, équilibre des moments, conditions d'équilibre



TM 115 Forces dans le bras de grue



Décomposition des forces d'un système de forces central dans un plan

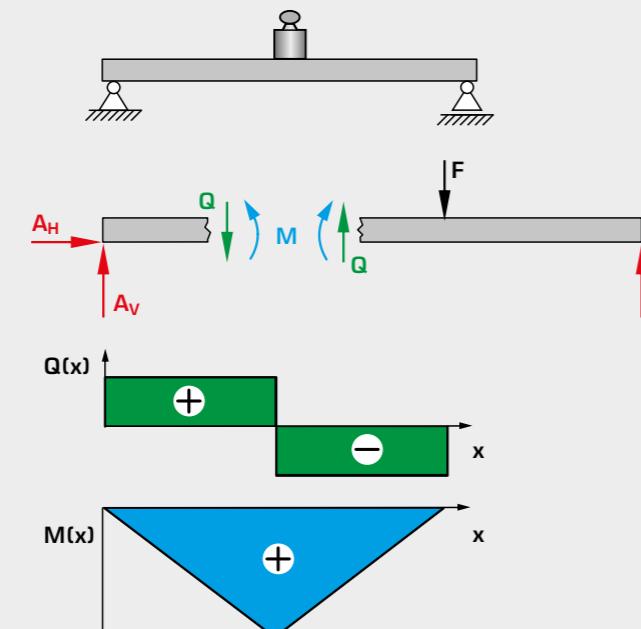
Forces externes:  $F_1$  et  $F_2$  efforts dans la barre,  $F_G$  poids

## Réactions internes/principe de coupe

- démonstration de réactions internes
- application du principe de coupe
- étude de la courbe des forces normales, des efforts tranchants et des moments de flexion



WP 960 Poutre sur 2 supports: courbes des efforts tranchants et des moments de flexion



Réactions internes dans une poutre

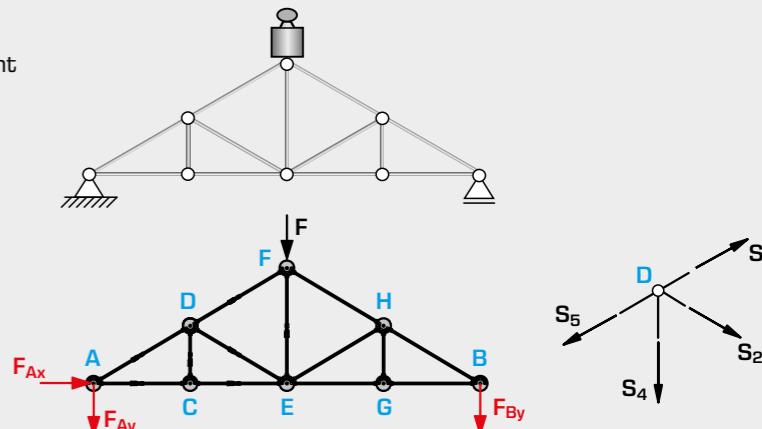
$F$  force externe,  $A_V$ ,  $A_H$ ,  $B_V$  réactions d'appui,  $Q$  effort tranchant,  $M$  moment de flexion

## Forces dans un treillis

- efforts dans la barre dans les treillis statiquement déterminés et les treillis hyperstatiques
- dépendance des efforts dans la barre envers les forces externes
- méthode des sections: méthode des nœuds, méthode de Ritter
- méthode graphique: épure de Cremona



SE 110.21 Forces dans différents treillis plans

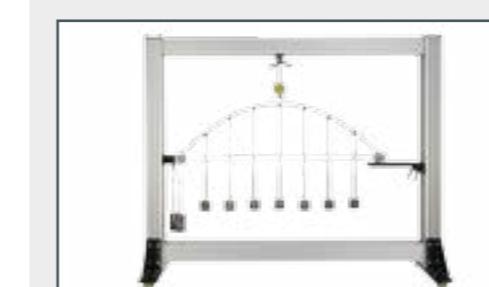


Méthode des nœuds pour la détermination des forces sur un treillis

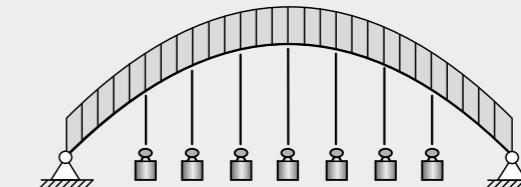
$F$  force,  $F_{Ax}$ ,  $F_{Ay}$ ,  $F_{Bx}$ ,  $F_{By}$  réactions d'appui,  $S$  efforts dans la barre,  $A-H$  nœuds

## Ponts, poutres, arcs, câbles

- calcul des réactions d'appui
- détermination des réactions internes
- différents cas de charge: charge ponctuelle, charge linéaire, charge mobile

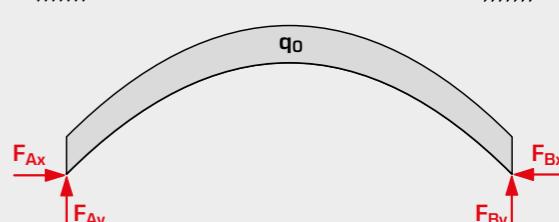


SE 110.16 Arc parabolique



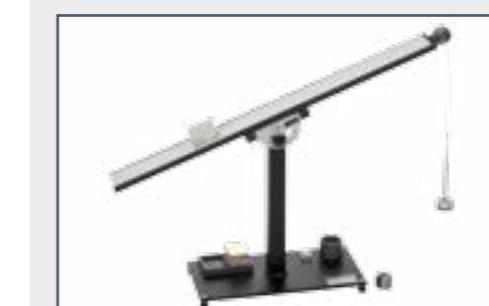
Charge linéaire et réactions d'appui sur un arc

$F_{Ax}$ ,  $F_{Ay}$ ,  $F_{Bx}$ ,  $F_{By}$  réactions d'appui,  $q_0$  charge linéaire

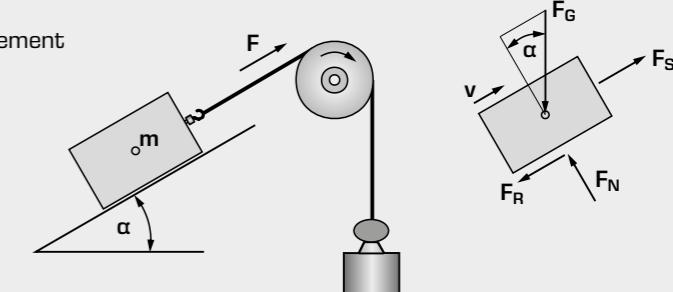


## Adhérence et frottement

- frottement d'adhérence et frottement de glissement
- démonstration des forces de frottement
- détermination des coefficients de frottement



TM 225 Frottement sur un plan incliné



Frottement sur un plan incliné

$F_G$  poids,  $F_S$  force externe,  $F_N$  force normale,  $F_R$  force de frottement de glissement,  $v$  vitesse,  $\alpha$  angle d'inclinaison,  $m$  masse

## TM 110

### Principe de la statique



#### Description

- **appareil d'essai polyvalent pour illustrer les systèmes de forces mécaniques dans le plan**
- **gamme des essais pouvant être élargie par des jeux complémentaires**

L'appareil d'essai illustre les principes de la statique, tels que l'équilibre des forces et des moments, la décomposition des forces et le principe des leviers.

L'élément de base est une table. Des pieds d'appui permettent d'utiliser l'appareil sur une table de laboratoire. Toutes les pièces nécessaires pour l'essai peuvent être fixées rapidement aux profilés en rotation. La trame lignée imprimée et les tiges de levier avec échelle graduée permettent d'établir des structures sur mesure. Les rapports de longueur pouvant être lus sur la trame permettent de déterminer facilement des angles. Les diverses pièces de montage, telles que les câbles, les tiges, les poulies, les plateaux de couple, les paliers rotatifs peuvent être facilement fixées et combinées. Les roulements à billes intégrés dans la table permettent d'effectuer des essais de couple à faible frottement. Grâce à sa diversité, l'appareil d'essai encourage le développement créatif de ses propres essais.

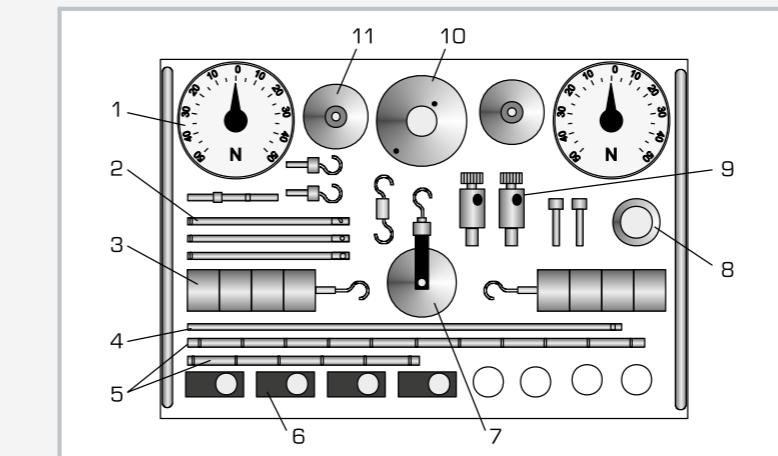
#### Contenu didactique/essais

- addition et décomposition des forces avec le parallélogramme des forces
- équilibre des forces
- principe des leviers, détermination des moments et de l'équilibre des moments
- système de leviers assemblé
- forces dans les appuis
- déviation et répartition de la force à l'aide d'une poulie fixe et d'une poulie folle
- avec jeux complémentaires
  - ▶ plan incliné; frottement (TM 110.01)
  - ▶ poulies (TM 110.02)
  - ▶ roues dentées (TM 110.03)

Les dynamomètres à cadran avec grand affichage sont particulièrement adaptés à des fins de démonstration. Le cadran réglable permet de prendre en compte des précharges, par ex. poids propres.

Particularités didactiques: il est possible d'écrire directement sur la table avec un feutre effaçable. Des repères, des notes et des remarques peuvent être indiqués afin de compléter les essais. Toutes les pièces sont protégées et disposées de manière pratique dans un système de rangement. Les systèmes de rangement sont empilables, permettant un rangement peu encombrant.

Trois jeux complémentaires élargissent la gamme des essais de l'appareil d'essai et permettent d'effectuer des essais en rapport avec les thèmes suivants: plan incliné, frottement, poulies et roues dentées.



1 dynamomètre à cadran, 2 tige de traction, 3 poids avec suspente, 4 tige de traction et tige de poussée, 5 tige de levier, 6 élément de fixation, 7 poulie folle, 8 plateau de couple, 9 palier rotatif, 10 plateau de couple avec palier, 11 poulie de renvoi

#### Spécification

- [1] kit d'assemblage d'essai pour représenter les systèmes de forces simples et plans
- [2] table avec profilés en rotation pour monter facilement les différentes structures d'essai
- [3] table directement inscriptible avec trame lignée imprimée de 50mm
- [4] tiges de levier avec trame de 50mm
- [5] diverses pièces de montage: câbles, tiges, poulies, plateaux de couple, paliers rotatifs
- [6] dynamomètres à cadran pour les forces de traction et de compression avec grand affichage
- [7] cadran pivotant du dynamomètre
- [8] système de rangement pour les pièces

#### Caractéristiques techniques

##### Table

- LxH: 600x700mm, 13kg
- graduation trame lignée: 50mm

Dynamomètre à cadran pour la force de traction et la force de compression

- plage de mesure:  $\pm 50\text{N}$
- diamètre de l'affichage:  $\varnothing=110\text{mm}$
- protégé contre les surcharges

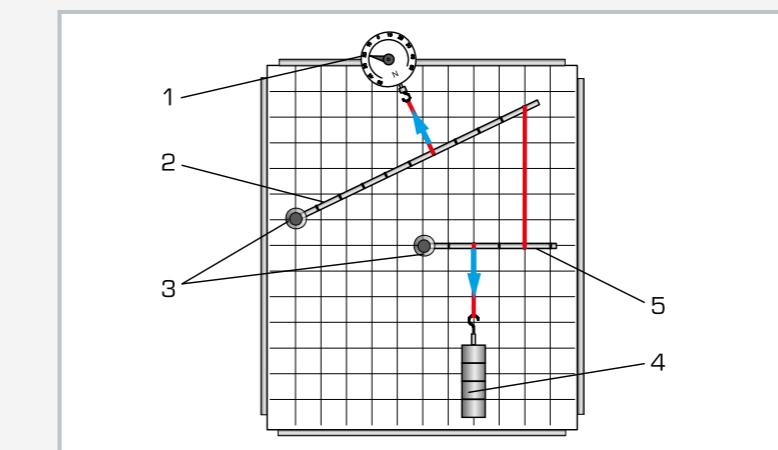
##### Poids

- 2x 5N (suspentes)
- 6x 5N

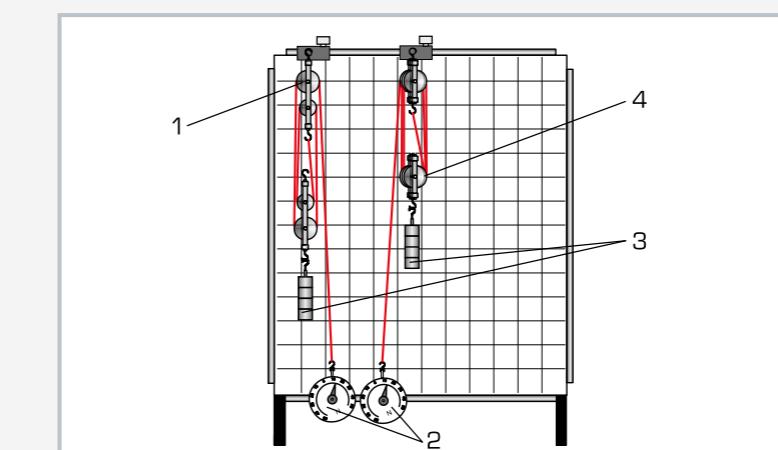
Lxh: 600x700mm (table)

Lxhx: 604x404x132mm (système de rangement)

Poids: env. 30kg



Montage expérimental système de leviers assemblés:  
1 dynamomètre à cadran, 2 tige de levier longue, 3 palier rotatif, 4 poids, 5 tige de levier courte; rouge: câbles, bleu: forces



Montage expérimental avec jeu complémentaire poulies (TM 110.02): 1 poulie à quatre câbles, 2 dynamomètre à cadran, 3 poids, 4 poulie à six câbles

#### Liste de livraison

- 1 table
- 1 jeu de pièces de montage
- 1 jeu de poids
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique



## TM 110.03

### Jeu complémentaire roues dentées



#### Description

##### ■ mode de fonctionnement d'un engrenage à un ou plusieurs étages

Le jeu complémentaire TM 110.03 élargit la gamme des essais du TM 110: rapport de transmission, de rotations et des moments au niveau d'un engrenage à un ou plusieurs étages et influence des roues intermédiaires sur le sens de rotation. La transformation des rotations en mouvements linéaires et vice versa peut être démontrée à l'aide d'une crémaillère.

Un rail profilé en aluminium pouvant être placé sur la table du TM 110 avec des éléments de serrage sert d'élément de base.

Toutes les pièces sont protégées et disposées de manière pratique dans un système de rangement. Les systèmes de rangement sont empilables, permettant un rangement peu encombrant.

#### Liste de livraison

- 1 jeu complémentaire
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

#### Contenu didactique/essais

- rapport de transmission, vitesse de rotation et moment au niveau de l'engrenage à un étage
- influence des roues intermédiaires sur le sens de rotation
- rapport de transmission au niveau de l'engrenage à deux étages
- transformation du mouvement de rotation en mouvement linéaire et vice versa

#### Spécification

- [1] jeu complémentaire pour l'appareil d'essai TM 110
- [2] essais avec l'engrenage à un étage et l'engrenage à plusieurs étages
- [3] roues droites en aluminium avec logements montés sur roulement à billes
- [4] montage rapide des éléments
- [5] poulie de renvoi, rail de montage et roues dentées en aluminium anodisé
- [6] système de rangement pour les pièces

#### Caractéristiques techniques

Roues droites en aluminium

- module:  $m=2\text{mm}$
- nombre de dents:  $z=20, 25, 30, 40, 50, 60$
- logements pour roue dentée montées sur roulement à billes, fixation avec des éléments de pression sur des tourelles rainurées

Crémaillère

- module:  $m=2\text{mm}$
- longueur:  $L=300\text{mm}$

Rail de montage en aluminium anodisé

- LxLxh:  $760\times30\times30\text{mm}$

LxLxh:  $604\times404\times132\text{mm}$  (système de rangement)

Poids: env. 12kg

## TM 115

### Forces dans le bras de grue



#### Description

##### ■ étude vectorielle d'un système de forces dans un plan central

Le TM 115 représente un système de forces d'un plan central dans lequel plusieurs forces uniques agissent au niveau d'un point d'application commun. Dans l'exemple d'un bras de grue, des forces sont déterminées sous forme graphique et de manière expérimentale: force portante du câble, force de traction et force de compression résultante. La direction et l'intensité des forces sont déterminées sous forme graphique par un parallélogramme des forces.

Une barre réglable en longueur et une chaîne à maillons forment le bras de grue qui est fixé à une tige de retenue à l'aide d'éléments de serrage réglables. Des poids sont placés au niveau du bras de grue. Les efforts dans la barre créés sont indiqués par des pesons à ressort intégrés.

#### Contenu didactique/essais

- décomposition graphique des forces avec parallélogramme des forces
- détermination des efforts dans la barre au niveau des différentes formes de bras
- comparaison: résultat de mesure – calcul – méthode graphique

#### Spécification

- [1] forces de traction et de compression dans le système de forces plan central en prenant comme exemple un bras de grue
- [2] pesons à ressort intégrés dans les barres
- [3] charge max. au niveau du bras de grue 50N
- [4] tige de retenue en acier inoxydable
- [5] plaque de base en métal stable
- [6] des poignées facilitent le transport
- [7] système de rangement pour les pièces

#### Caractéristiques techniques

Peson à ressort pour forces de traction

- force de traction: 0...50N

- graduation: 0,5N

Peson à ressort pour forces de compression

- force de compression: 0...50N

- graduation: 1N

#### Poids

- 1x 1N (suspente)
- 4x 1N
- 1x 5N
- 4x 10N

LxLxh:  $600\times200\times620\text{mm}$

Poids: env. 10kg

LxLxh:  $720\times480\times178\text{mm}$  (système de rangement)

Poids: env. 10kg (système de rangement)

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 2 pesons à ressort
- 1 jeu de poids
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

## FL 111

### Forces dans un treillis simple



#### Description

##### ■ décomposition des forces dans un treillis simple

Les efforts dans la barre créés sont mesurés via la déformation des ressorts plats placés au centre de la barre.

Le FL 111 représente un treillis idéal. Dans le système plan, les barres sont soumises uniquement à la compression et à la traction. Les charges sont appliquées uniquement dans les nœuds.

L'appareil se compose de trois barres reliées l'une à l'autre de manière articulée via des disques de jonction. Une barre réglable en longueur permet de monter le treillis avec différents angles. Les barres s'enclenchent dans les disques à l'aide de fermetures encliquetées. Deux des disques de jonction forment en même temps les appuis (fixes et libres) et sont calés sur le bâti de base stable en profilé d'aluminium. La charge extérieure est appliquée au nœud supérieur à l'aide de poids.

#### Contenu didactique/essais

- mesure des efforts dans la barre
- calcul des efforts dans la barre avec la méthode des nœuds
- comparaison: résultat de mesure – calcul – méthode graphique

#### Spécification

- [1] décomposition des forces dans le système plan isostatique
- [2] 3 disques de jonction dont 2 servent d'appuis
- [3] 3 barres, chacune équipée d'un ressort plat et d'un comparateur à cadran
- [4] 2 longueurs de barre fixes, 1 longueur de barre variable
- [5] 5 angles différents entre les barres réglables
- [6] système de rangement pour les pièces

#### Caractéristiques techniques

##### Barres

- barre fixe: L=440mm
- barre réglable: L=440, 622, 762mm

##### Angle entre les barres

- 60°-60°-60° / 45°-90°-45°
- 30°-120°-30° / 30°-30°-120°

##### Comparateur à cadran

- plage de mesure: 0...10mm
- graduation: 0,01mm

##### Poids

- 1x 1N (chocquet)
- 1x 10N
- 2x 20N

##### Ressort plat

- plage de mesure de la force: 0...50N

Llxh: 900x200x600mm

Poids: env. 15kg

Llxh: 1170x480x178mm (système de rangement)

#### Liste de livraison

- 1 bâti
- 3 barres
- 3 disques de jonction
- 3 comparateurs à cadran
- 1 jeu de poids
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

## EM 049

### Équilibre des moments d'un levier à deux bras



#### Description

##### ■ principes de l'équilibre des moments et application du principe des leviers

Le EM 049 permet d'étudier les principes de l'équilibre des moments en prenant l'exemple d'un levier à deux bras. Les moments créés au niveau du levier doivent être équilibrés.

Une poutre posée au centre forme un levier à deux bras. Des cavaliers coulissants sont placés sur le levier et des poids sont appliqués.

L'équilibre est réglé en déplaçant les poids. Les intervalles par rapport au point d'articulation [les bras de levier] peuvent être lus sur une échelle intégrée. Le calcul des bras de levier est vérifié durant l'essai.

Une colonne soutient le levier et une plaque de base stable garantit une position sûre.

#### Contenu didactique/essais

- principes de l'équilibre des moments: forces appliquées, moments créés et équilibre
- effets des forces en fonction du bras de levier

#### Spécification

- [1] étude de l'équilibre des moments au niveau du levier à deux bras
- [2] poutre montée sur roulement à billes avec règle graduée intégrée comme levier à deux bras
- [3] bâti en métal stable et fixe
- [4] système de rangement pour les pièces

#### Caractéristiques techniques

##### Poutre

- Llxh: 600x30x10mm, montée sur roulement à billes au centre
- longueur de levier: 2x 300mm

##### Poids

- 3x 1N (suspentes)
- 6x 5N
- 12x 1N

Llxh: 600x300x410mm

Poids: env. 10kg

Système de rangement:

Llxh: 200x70x40mm

Llxh: 95x68x35mm

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de poids
- 1 documentation didactique

## SE 110.53

### Équilibre dans un système plan isostatique



L'illustration montre le SE 110.53 dans le bâti SE 112.

#### Description

##### ■ conditions d'équilibre d'une échelle et réactions d'appui d'une échelle inclinée contre un mur

En mécanique appliquée, le principe de la "coupe" ou principe de la "coupe", permet de visualiser les forces et moments qui s'exercent sur un corps. Pour ce faire, on coupe virtuellement un corps ou un système, une barre par exemple, de son environnement. Toutes les forces agissant sur le corps ou le système sont remplacées de manière uniforme par des symboles. On obtient ainsi un modèle simplifié du corps ou du système sur lequel on peut identifier et lire les rapports entre forces et moments.

L'essai du SE 110.53 est un exemple d'application des conditions d'équilibre de la statique, en particulier du principe important de la coupe.

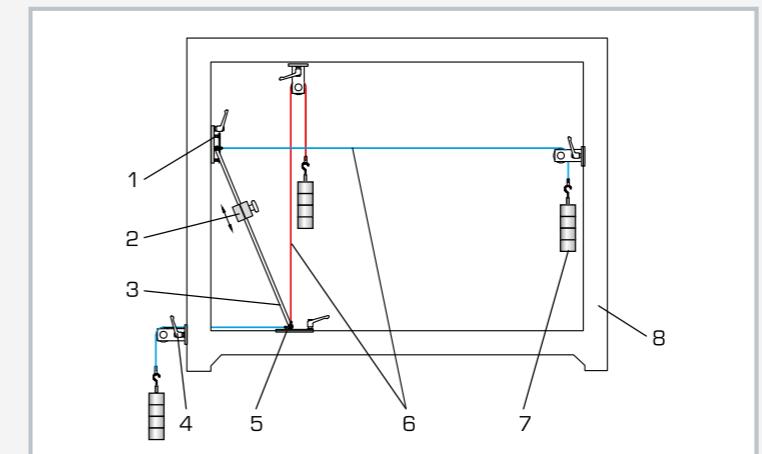
L'élément principal de l'essai est le modèle d'une échelle avec un poids de charge mobile. Le palier supérieur est un palier libre, tandis que le palier inférieur est un palier fixe. Les réactions d'appui agissant réellement peuvent être complètement compensées en appliquant des forces du câble dans les directions X et Y.

L'échelle se trouve en état d'équilibre sans modifier la position angulaire, et sans devoir utiliser des appuis de montage. L'échelle est "libre". Il s'agit pour les étudiants d'un exemple probant du principe de la coupe en statique.

Les pièces de l'essai sont disposées de manière claire, et bien protégées dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté dans le bâti SE 112.

#### Contenu didactique/essais

- conceptualisation expérimentale du principe important de la coupe en statique
- calcul des réactions d'appui pour une position donnée du poids de charge et pour un angle d'attaque connu
- application de la 1<sup>re</sup> et de la 2<sup>e</sup> conditions d'équilibre de la statique
- compensation complète des réactions d'appui par les forces du câble
- influence de la position du poids de charge sur les réactions d'appui
- influence de l'angle d'attaque sur les réactions d'appui



1 appui (palier libre), 2 poids de charge mobile, 3 échelle, 4 poulie de renvoi pouvant être serrée, 5 appui (palier de butée), 6 câble, 7 poids, 8 bâti SE 112

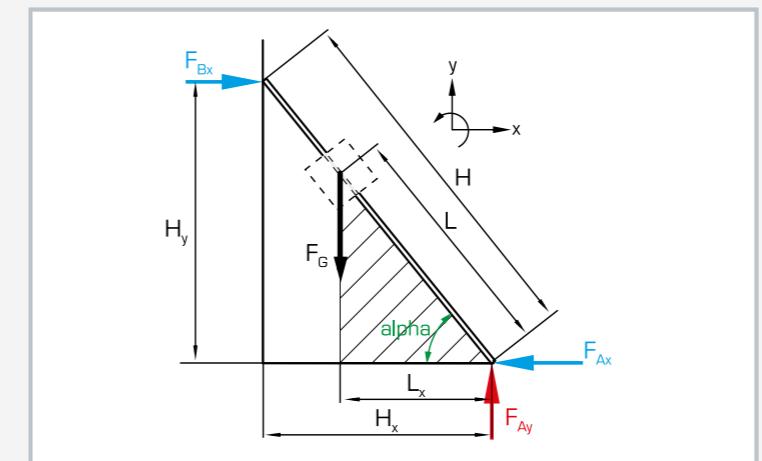
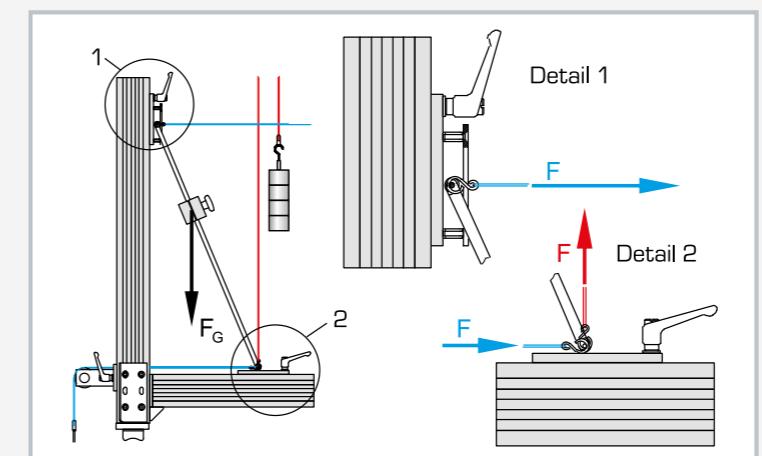


Diagramme du corps libre de l'échelle en appui:  
rouge: réaction d'appui verticale, bleu: réaction d'appui horizontale, noir: force appliquée



1 palier libre, 2 palier de butée;  $F_G$  force appliquée;  
rouge: câble avec poids, compense la réaction d'appui verticale  
bleu: câbles avec poids, compensent les réactions d'appui horizontales

#### Spécification

- [1] élaboration du principe statique de la coupe
- [2] compensation complète des réactions d'appui par les forces du câble
- [3] poids de charge mobile
- [4] détermination de la position du poids de charge à l'aide d'une règle graduée en acier avec échelle millimétrique
- [5] 2 appuis (1x palier fixe, 1x palier libre)
- [6] 3 poules de renvoi
- [7] système de rangement pour les pièces
- [8] montage expérimental dans le bâti SE 112

#### Caractéristiques techniques

##### Échelle

- longueur: 650mm
- poids: 2N
- échelle intégrée, graduation: 1mm

##### Poids de charge: 20N

##### Poids

- 3x 1N (suspendue)
- 9x 5N
- 12x 1N

##### Appuis

- 2, fixable sur le bâti de montage

##### Règle graduée en acier

- longueur: 1000mm, graduation: 1mm

Lxlhx: 1170x480x178mm (système de rangement)  
Poids: env. 28kg (total)

#### Liste de livraison

- 1 modèle d'une échelle
- 2 appuis
- 3 poules de renvoi
- 1 jeu de poids
- 1 poids de charge
- 3 câbles
- 1 règle graduée en acier
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

## TM 121

### Équilibre des moments sur des poulies



#### Description

##### ■ visualisation explicite de l'équilibre des moments

L'appareil d'essai TM 121 montre de manière expérimentale et explicite les lois d'équilibrage des moments de systèmes statiques. Les rapports entre le diamètre de la poulie, le moment et la force périphérique sont démontrés.

Deux poulies de diamètres différents sont fixées sur un arbre en acier monté sur des roulements à billes. Des poids peuvent être accrochés aux câbles.

Cela permet de visualiser différents cas de charge agissant sur deux poulies de diamètres différents. On peut faire varier les forces à l'aide des poids jusqu'à ce que l'équilibre soit atteint.

L'appareil d'essai est conçu pour être fixé au mur. Les pièces de l'essai sont disposées de manière claire, et bien protégées dans un système de rangement.

#### Contenu didactique/essais

- principes de base de l'équilibre des moments: forces d'attaque, moments générés et équilibre
- action des forces en fonction du diamètre de la poulie

#### Spécification

- [1] étude de l'équilibre des moments de deux poulies
- [2] poulies en aluminium anodisé
- [3] arbre en acier monté sur roulement à billes
- [4] système de rangement pour les pièces
- [5] support pour montage mural

#### Caractéristiques techniques

##### Poulies

- Ø=75mm
- Ø=150mm

##### Poids

- 2x 1N suspente
- 4x 0,5N
- 4x 1N
- 4x 2N
- 4x 5N

Plaque de base, lhx: 200x250mm

Llxh: 250x200x250mm

Poids: env. 13kg

Llxh: 290x140x130mm (système de rangement)

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de poids
- 2 câbles
- 1 documentation didactique

## TM 122

### Équilibre des moments sur une poulie différentielle



#### Description

##### ■ démonstration de la réduction des forces sur une poulie différentielle

L'appareil d'essai TM 122 illustre parfaitement les conditions d'équilibre d'une poulie différentielle. Le rapport entre le diamètre de la poulie, la force de levage et le couple est démontré.

Trois poulies de diamètres différents sont fixées sur un arbre monté sur des roulements à billes. Des poids peuvent être suspendus au câble.

#### Contenu didactique/essais

- principes de base de l'équilibre des moments: forces d'attaque, moments générés et équilibre
- rapport entre réduction des forces et trajet du câble

#### Spécification

- [1] étude de l'équilibre des moments sur une poulie différentielle
- [2] poulies en aluminium anodisé
- [3] 1 poulie libre
- [4] arbre en acier sur roulement à billes
- [5] support pour montage mural

#### Caractéristiques techniques

##### Poulies

- Ø=250mm
- Ø=100mm
- Ø=50mm

##### Poulie libre

- Ø= 75mm

##### Poids

- 2x 1N (suspente)
- 4x 0,5N
- 4x 1N
- 4x 2N
- 4x 5N

Plaque de base, lhx: 300x250mm

Llxh: 300x280x250mm  
Poids: 14kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de poids
- 2 câbles
- 1 documentation didactique

## Connaissances de base

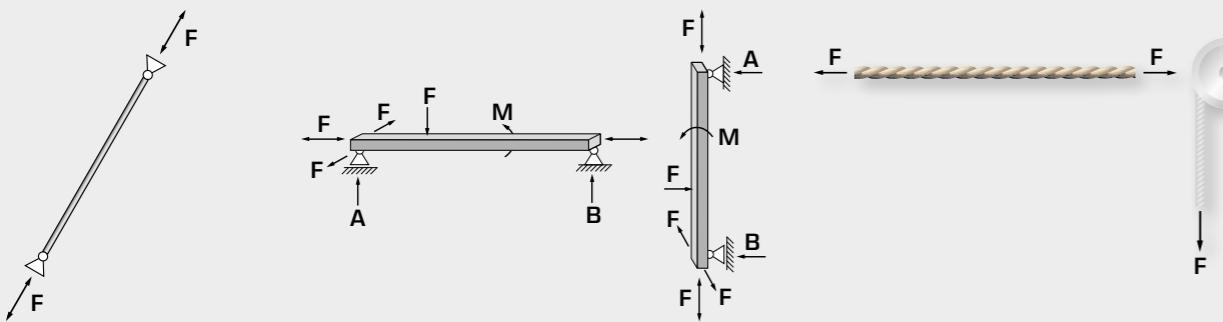
# Réactions internes et principe de coupe sur des barres, poutres et câbles

Les structures porteuses sont constituées de différents éléments de structure. On distingue les éléments de structure unidimensionnels (barre, poutre), bidimensionnels (plaqué, disque) ou tridimensionnels (éléments de structure en trois dimensions).

Pour étudier les réactions internes dans des composants ou des systèmes mécaniques, on les réduit à leurs propriétés essentielles en créant des modèles. L'idéalisation géométrique permet alors d'éliminer les dimensions qui ne s'avèrent pas

importantes. Au lieu des éléments porteurs tridimensionnels, on observe des éléments porteurs bidimensionnels/porteurs plans (plaques, disques, plateaux) et unidimensionnels/porteurs linéaires (poutres, barres, arcs, câbles). Ce chapitre traite des éléments de structure unidimensionnels.

## Éléments de structure unidimensionnels



**Barre:** élément porteur articulé des deux côtés, qui peut transmettre des forces de traction et de compression le long de son axe. Selon que la barre transmet des forces de traction ou de compression, on l'appelle barre de traction ou barre de compression.

**Poutre:** élément porteur linéaire qui peut transmettre des forces le long de son axe, perpendiculairement à cet axe, ainsi que transmettre des moments. Les éléments en position horizontale sont en général appelés poutres, tandis que les éléments orientés à la verticale sont appelés tubulures.

F forces, M moments de flexion, A, B réactions d'appui

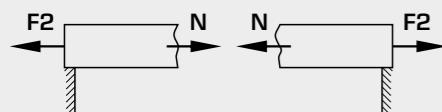
**Câble:** élément porteur qui ne peut transmettre que des forces de traction. Un câble fixé en deux points définis correspond à une barre de traction.

## Efforts de coupe

Des coupes fictives permettent d'éliminer des parties de la structure porteuse qui se trouve en équilibre. Afin de préserver l'équilibre, on reporte dans les surfaces de coupe les réactions internes également dénommées réactions de coupe ou

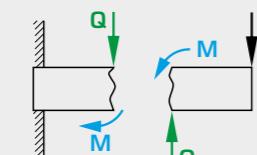
efforts de coupe. En statique, les réactions internes montrent la manière dont les forces et moments internes à un composant réagissent à l'application de forces externes.

### Force normale



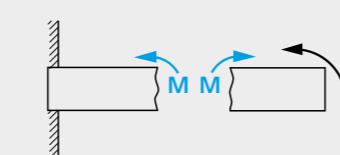
La direction de la **force normale** correspond à celle de l'axe de la poutre. Cette force a pour effet de modifier la longueur de la poutre, et constitue la réaction interne aux forces de traction et de compression qui s'exercent sur la poutre depuis l'extérieur.

### Effort tranchant



L'**effort tranchant** a une direction perpendiculaire à celle de la force normale. Cette force engendre une déformation de cisaillement, et constitue la réaction interne à la poutre aux forces de poussée exercées.

### Moment de flexion



Le **moment de flexion** se déplace autour du centre de gravité de la surface de coupe. Ce moment entraîne un fléchissement de la poutre, en réaction aux forces de traction et de compression qui s'exercent sur la poutre depuis l'extérieur.

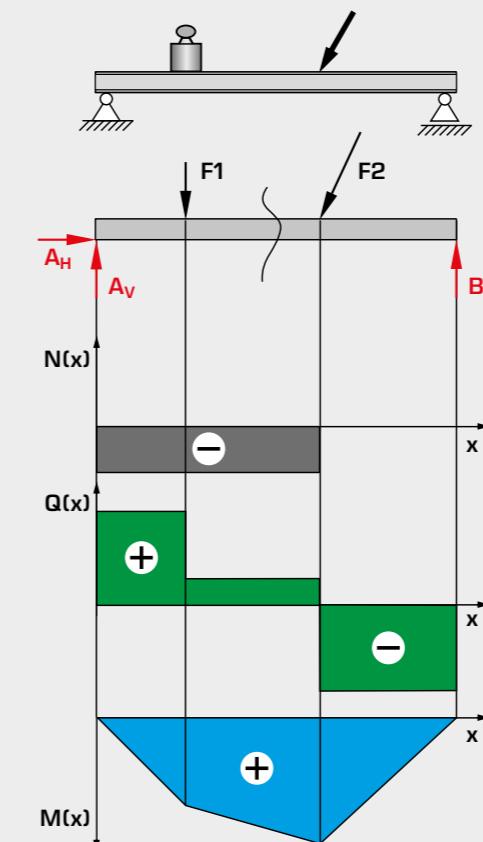
F1 force de compression, F2 force de traction, M moment de flexion, N force normale, Q effort tranchant

La **coupe** est le principe de base essentiel lorsqu'il s'agit de représenter les états de forces internes de barres, poutres et câbles. En particulier pour les structures de type poutres, la coupe est utilisée pour caractériser l'état de charge interne, et sert donc au dimensionnement de la poutre. Observer les efforts de coupe permet de se préparer au calcul des défor-

mations et à l'étude de la force portante dans le domaine de la résistance des matériaux. Dans le cadre d'une conception optimale des composants, le constructeur se sert des efforts tranchants pour décider des dimensions requises ou du type de répartition de la charge nécessaire.

## Réactions internes

1. Le corps, ou le système mécanique, à étudier est isolé de son environnement par le **principe de la coupure** ou **principe de la coupe**.

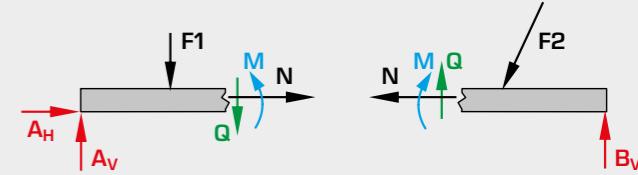


Efforts de coupe pour une poutre

N force normale, Q effort tranchant, M moment de flexion, F forces externes, A, B réactions d'appui

2. On définit toutes les forces qui s'exercent sur le corps ou le système. En particulier aux endroits où le corps, ou le système mécanique, observé est séparé des corps avoisinants. Étant donné que les efforts de coupe diffèrent d'une coupe transversale à une autre, on trace leur courbe sur un graphique afin d'obtenir une meilleure vue d'ensemble. L'effort tranchant, la force normale et le moment de flexion y sont représentés sous la forme de surfaces.

3. Les forces inconnues sont calculées à l'aide des conditions d'équilibre.



Structure porteuse

## Condition d'équilibre

Un corps, ou un système mécanique, se trouve en équilibre lorsque les effets de toutes les forces et moments s'exerçant sur lui s'annulent.

$$\sum F = 0 \quad \sum M = 0$$

## WP 960

### Poutre sur 2 supports: courbes des efforts tranchants et des moments de flexion



#### Description

- application de la méthode des sections pour déterminer les réactions internes de la poutre**
- affichage direct de l'effort tranchant et du moment de flexion au niveau d'un point d'intersection de la poutre**

La statique étudie l'effet des forces sur un corps rigide et, en l'occurrence, elle ne prend pas en compte les déformations possibles. Dans ce cas, les forces créent l'équilibre du système.

Un exemple simple est celui d'une poutre montée de manière isostatique qui est soumise à des charges ponctuelles. Les réactions d'appui sont déterminées à partir des conditions d'équilibre. Afin d'étudier l'effet des charges ponctuelles dans la poutre, celle-ci est divisée virtuellement en deux sections. Les forces et moments internes sont appliqués à ces sections selon la méthode des sections et calculés à partir des conditions d'équilibre.

Le WP 960 comporte une poutre sur deux supports. La poutre est coupée à un endroit où se situe une articulation à faible frottement avec deux degrés de liberté. Deux dynamomètres à cadran servent à déterminer les réactions internes au niveau du point d'intersection.

#### Contenu didactique/essais

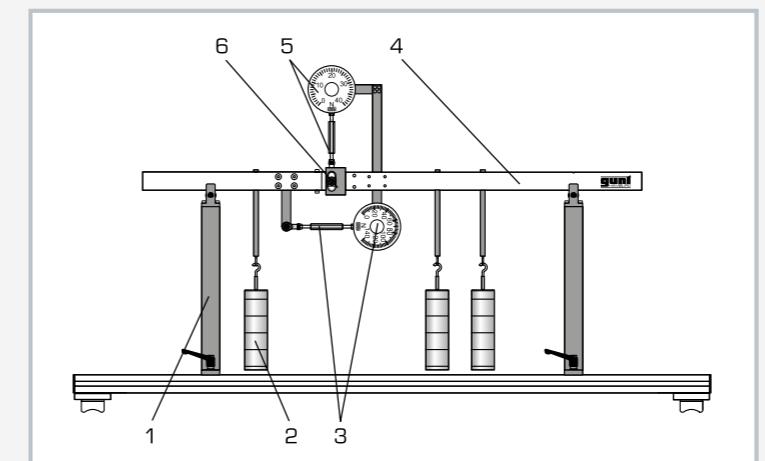
- calcul des réactions d'appui à partir des conditions d'équilibre de la statique
- application de la méthode des sections pour calculer les forces et moments internes
  - avec une charge ponctuelle
  - avec plusieurs charges ponctuelles
- calcul de la courbe des efforts tranchants
- calcul de la courbe des moments de flexion
- comparaison des valeurs calculées et mesurées pour l'effort tranchant et le moment de flexion

par rapport aux forces appliquées de l'extérieur.

L'effort tranchant est directement enregistré et affiché par un dynamomètre à cadran. Le moment de flexion apparaissant au niveau du point d'intersection est enregistré par un deuxième dynamomètre à cadran qui agit au niveau d'un bras de levier fixe. La valeur de cet affichage de la force divisée par 10 et donne le moment de flexion en Nm. Les écrous de réglage au niveau des deux dynamomètres à cadran servent à aligner la poutre horizontalement et à compenser les dénivellations.

Lors de l'interprétation de l'essai, il apparaît clairement que l'effort tranchant, comparé au moment de flexion, peut le plus souvent ne pas être pris en compte lors du dimensionnement des éléments de construction.

Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégée dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté sur un bâti.



1 support, 2 poids, 3 dynamomètre à cadran avec écrou de réglage pour déterminer le moment de flexion, 4 poutre, 5 dynamomètre à cadran avec écrou de réglage (effort tranchant), 6 articulation avec 2 degrés de liberté

#### Spécification

- détermination de l'effort tranchant et du moment de flexion au niveau de la poutre sur 2 supports
- enregistrement de l'effort tranchant et du moment de flexion dans la poutre via l'articulation à faible frottement avec 2 degrés de liberté
- position de l'articulation à une portée de 1/3
- 2 supports
- chargement de la poutre à l'aide de 1 à 3 charges ponctuelles
- dynamomètre à cadran pour afficher l'effort tranchant et déterminer le moment de flexion
- moment de flexion déterminé par le dynamomètre à cadran et le bras de levier
- écrans de réglage pour l'alignement horizontal de la poutre
- règle graduée en acier pour déterminer la position des charges ponctuelles
- système de rangement pour les pièces

#### Caractéristiques techniques

##### Poutre

- longueur totale: 1000mm
- portée: 800mm

##### Poids

- 3x 1N (suspenstes)
- 12x 1N
- 9x 5N
- poids max. par suspente: 20N

##### Plages de mesure

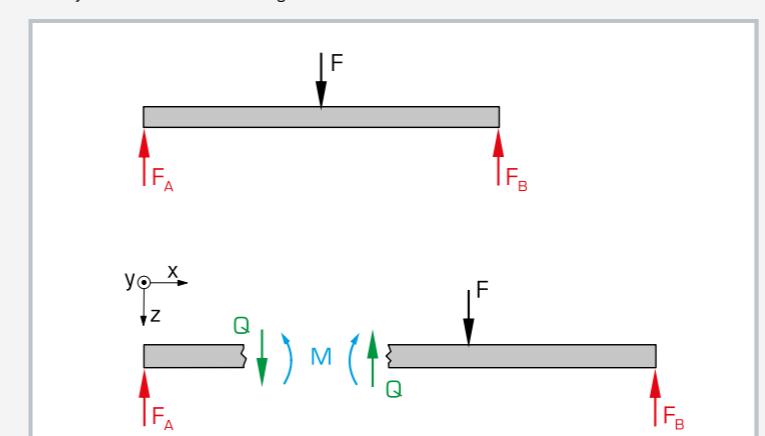
- moment de flexion via le dynamomètre à cadran et le bras de levier
  - bras de levier: 100mm
  - dynamomètre à cadran:  $\pm 100\text{N}$
  - moment de flexion:  $\pm \text{Nm}$
- effort tranchant:  $\pm 50\text{N}$
- règle graduée en acier: 1000mm, graduation: 1mm

LxLxh: 1400x320x600mm

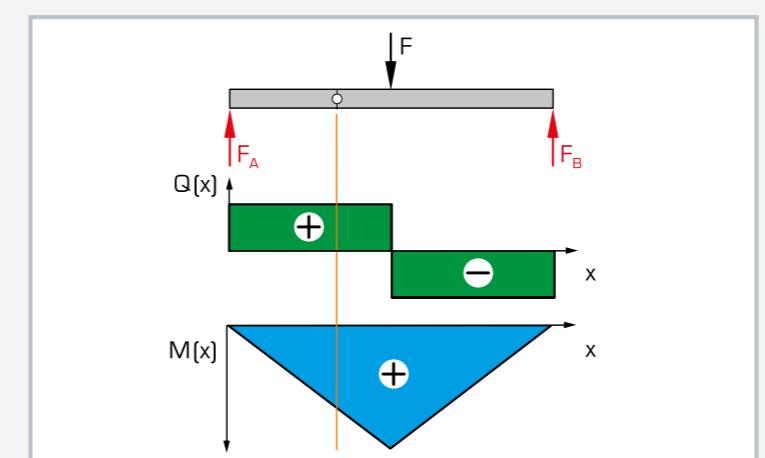
Poids: env. 35kg

LxLxh: 1170x480x178mm (système de rangement)

Poids: env. 12kg (système de rangement)



Efforts de coupe au niveau de la poutre avec charge ponctuelle centrale:  
F charge ponctuelle appliquée,  $F_A/ F_B$  réactions d'appui (0,5F), Q effort tranchant, M moment de flexion



Courbe des efforts tranchants et courbe des moments de flexion au niveau de la poutre avec charge ponctuelle centrale: ligne (orange): position de l'articulation à laquelle les forces internes de la poutre apparaissent

#### Liste de livraison

- appareil d'essai
- jeu de poids
- règle graduée en acier
- système de rangement avec mousse de protection
- documentation didactique

## WP 961

Poutre sur 2 supports: courbe des efforts tranchants



### Contenu didactique/essais

- calcul des réactions d'appui à partir des conditions d'équilibre de la statique
- application de la méthode des sections pour calculer les forces internes
  - ▶ avec une charge ponctuelle
  - ▶ avec plusieurs charges ponctuelles
- calcul de la courbe des efforts tranchants
- comparaison des valeurs calculées et mesurées de l'effort tranchant

### Spécification

- [1] étude de l'effort tranchant au niveau de la poutre sur 2 supports
- [2] enregistrement de l'effort tranchant dans la poutre via l'articulation à faible frottement avec 1 degré de liberté
- [3] position de l'articulation à une portée de 1/3
- [4] 2 supports
- [5] chargement de la poutre à l'aide de 1 à 3 charges ponctuelles
- [6] dynamomètre à cadran pour afficher l'effort tranchant
- [7] écrou de réglage pour l'alignement horizontal de la poutre
- [8] système de rangement pour les pièces

### Caractéristiques techniques

#### Poutre

- longueur totale: 1000mm
- portée: 800mm

#### Plage de mesure de l'effort tranchant:

$\pm 50\text{N}$

#### Poids

- 3x 1N (suspenstes), 12x 1N, 9x 5N
- poids max. par suspente: 20N

Llxh: 1400x320x600mm

Poids: env. 35kg

Llxh: 1170x480x178mm (système de rangement)

Poids: env. 12kg (système de rangement)

### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de poids
- 1 règle graduée en acier
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

### Description

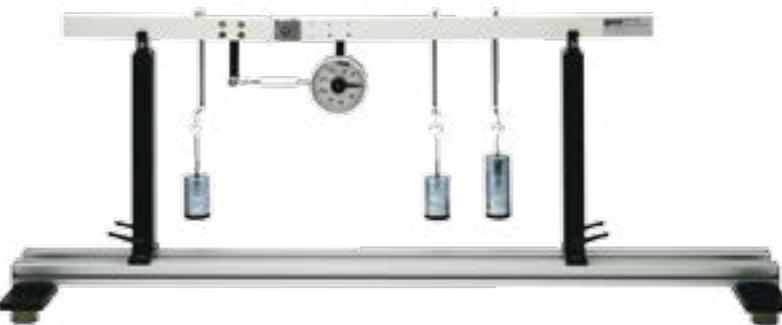
#### ■ application de la méthode des sections pour déterminer l'effort tranchant

Le WP 961 se compose d'une poutre sur deux supports qui est soumise à des charges ponctuelles. La poutre est coupée à un endroit où se situe une articulation à faible frottement avec un degré de liberté. Le dynamomètre à cadran indique la réaction interne (effort tranchant) à cet endroit de la poutre. Un écrou de réglage au niveau du dynamomètre à cadran sert à aligner la poutre horizontalement et à compenser les dénivellations.

Les réactions d'appui sont déterminées à partir des conditions d'équilibre de la statique. Afin d'étudier l'effet des charges ponctuelles dans la poutre, celle-ci est divisée virtuellement en deux sections. Les forces et moments internes sont appliqués à ces sections selon la méthode des sections et calculés via les conditions d'équilibre.

## WP 962

Poutre sur 2 supports: courbe des moments de flexion



### Contenu didactique/essais

- calcul des réactions d'appui à partir des conditions d'équilibre de la statique
- application de la méthode des sections pour calculer les moments internes
  - ▶ avec une charge ponctuelle
  - ▶ avec plusieurs charges ponctuelles
- calcul de la courbe des moments de flexion
- comparaison des valeurs calculées et mesurées du moment de flexion

### Spécification

- [1] étude du moment de flexion au niveau de la poutre sur 2 supports
- [2] affiche le moment de flexion dans la poutre via l'articulation à faible frottement avec 1 degré de liberté
- [3] position de l'articulation à une portée de 1/3
- [4] 2 supports
- [5] chargement de la poutre à l'aide de 1 à 3 charges ponctuelles
- [6] dynamomètre à cadran et bras de levier pour afficher le moment de flexion
- [7] écrou de réglage pour l'alignement horizontal de la poutre
- [8] système de rangement pour les pièces

### Caractéristiques techniques

#### Poutre

- longueur totale: 1000mm
- portée: 800mm

#### Plage de mesure

- moment de flexion :  $\pm 10\text{Nm}$

#### Poids

- 3x 1N (suspenstes), 12x 1N, 9x 5N
- poids max. par suspente: 20N

Llxh: 1400x320x600mm

Poids: env. 35kg

Llxh: 1170x480x178mm (système de rangement)

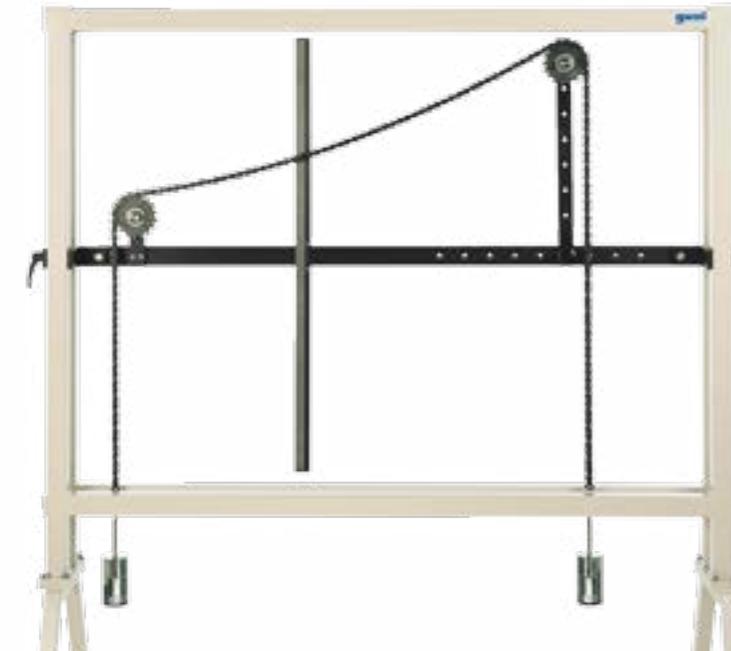
Poids: env. 12kg (système de rangement)

### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de poids
- 1 règle graduée en acier
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

## SE 110.50

### Câble soumis au poids propre



L'illustration montre le SE 110.50 dans un bâti semblable au SE 112.

#### Description

##### ■ ligne de chaînette suspendu librement soumis au poids propre

Les câbles suspendus librement, par ex. des haubans, sont souvent utilisés pour soutenir une structure. Dans les ponts suspendus, ils constituent l'élément porteur de la construction. L'influence du poids propre du câble peut ne pas être prise en compte dans de nombreux calculs parce qu'elle est minime par rapport aux autres charges. Par contre, dans le cas des lignes électriques aériennes, le poids propre du câble joue un rôle dans la conception des pylônes.

Le SE 110.50 étudie un câble suspendu librement sous l'influence de son poids propre. Une chaîne à rouleaux sert de câble et est posée sur deux roues à chaîne montées sur roulement à billes. Les supports des roues à chaîne sont fixés à une traverse. L'entraxe entre les roues à chaîne peut être réglé horizontalement et verticalement.

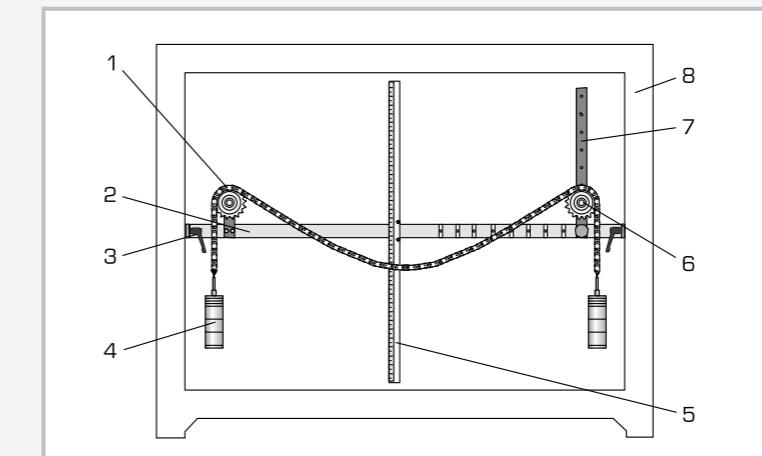
#### Contenu didactique/essais

- détermination de la ligne de chaînette d'un câble suspendu librement
  - ▶ uniquement soumis au poids propre
  - ▶ avec des charges supplémentaires
  - ▶ pour montage symétrique [roues à chaîne à la même hauteur]
  - ▶ pour montage asymétrique
- mesure de la courbure
- comparaison des valeurs calculées et des valeurs mesurées

Les deux extrémités de la chaîne peuvent être chargées de poids. La courbure maximale est mesurée à l'aide de règles graduées et peut être comparée aux valeurs calculées. La courbure est la distance entre la ligne de jonction des appuis et la ligne de chaînette (voir aussi la figure "Forces portantes du câble agissant réellement" à la page suivante).

Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégée dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté dans le bâti SE 112.

Le SE 110.50 étudie un câble suspendu librement sous l'influence de son poids propre. Une chaîne à rouleaux sert de câble et est posée sur deux roues à chaîne montées sur roulement à billes. Les supports des roues à chaîne sont fixés à une traverse. L'entraxe entre les roues à chaîne peut être réglé horizontalement et verticalement.



1 chaîne à rouleaux, 2 traverse avec graduation, 3 élément de serrage, 4 poids, 5 règle graduée, 6 roue à chaîne, 7 support pour la roue à chaîne, 8 bâti SE 112

#### Spécification

- [1] détermination de la ligne d'une chaînette suspendu librement
- [2] montage expérimental symétrique et asymétrique possible
- [3] chaîne à rouleaux comme câble avec 2 roues à chaîne montées sur roulement à billes
- [4] entraxe des roues à chaîne réglable
- [5] hauteur d'une roue à chaîne réglable pour le montage expérimental asymétrique
- [6] traverse avec graduation pour maintenir les roues à chaîne et la règle graduée pour la courbure verticale de la chaîne
- [7] 2 suspentes pour charger les deux extrémités de la chaîne
- [8] système de rangement pour les pièces
- [9] montage expérimental dans le bâti SE 112

#### Caractéristiques techniques

##### Chaîne à rouleaux

- DIN 8187
- longueur: 2400mm
- poids: 0,95kg/m

##### Roue à chaîne, nombre de dents: 17

##### Traverse

- entraxe: 600..1000mm
- écart entre les rainures: 50mm

##### Support

- hauteur réglable de la roue à chaîne: 0...300mm
- écart entre les orifices: 50mm

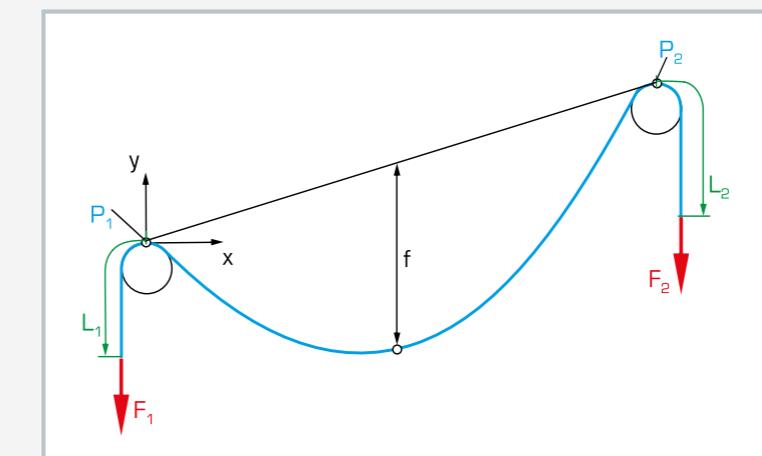
##### Poids

- 2x 1N (suspentes)
- 8x 1N
- 6x 5N

##### Plages de mesure

- horizontal: 0...1000mm
- vertical: 0...850mm
- graduation: 1mm

LxLxh: 1170x480x178mm (système de rangement)  
Poids: env. 29kg (total)



Forces portantes du câble agissant réellement:  $F_1 + F_2$  forces,  $L_1 + L_2$  longueur de chaîne pendante avec poids propre,  $P_1 + P_2$  point de repère sur la roue à chaîne,  $f$  courbure



Câbles suspendus librement dans la réalité (portique d'ancre):  
1 hauban, 2 ligne de courant semblable à la ligne électrique aérienne

#### Liste de livraison

- 1 chaîne à rouleaux
- 1 traverse avec éléments de serrage
- 2 roues à chaîne avec supports
- 1 règle graduée
- 1 jeu de poids
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

## Connaissances de base

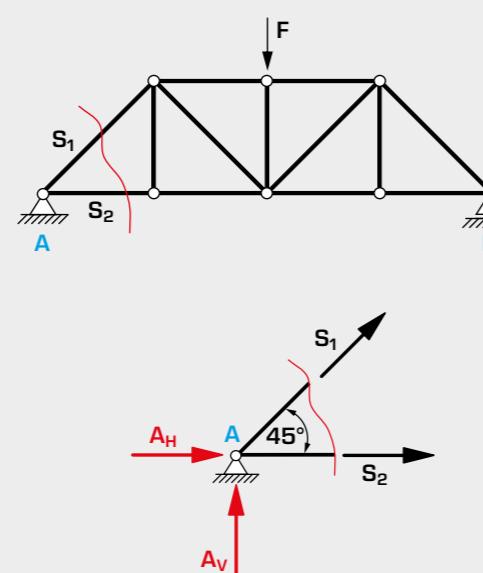
# Méthode des sections pour les treillis plans

Les treillis plans sont des structures porteuses composées exclusivement de barres droites. Les barres sont reliées entre elles par ce que l'on appelle des nœuds. Pour déterminer les réactions d'appui ainsi que les forces et moments qui sont transmis dans les nœuds, on commence par émettre des hypothèses idéalistiques:

1. Les barres sont reliées de manière centrée et articulée au niveau des nœuds
2. Les forces externes s'exercent uniquement au niveau des nœuds.

Ces conditions pour l'obtention d'un treillis idéal permettent de s'assurer que toutes les barres sont sollicitées uniquement en traction et en compression. Différentes méthodes des sections sont utilisées pour calculer les réactions d'appui et les efforts dans la barre.

### Méthode des nœuds



**S** efforts dans la barre, **A+B** réactions d'appui, **F** forces, **indice V** forces verticales, **indice H** forces horizontales

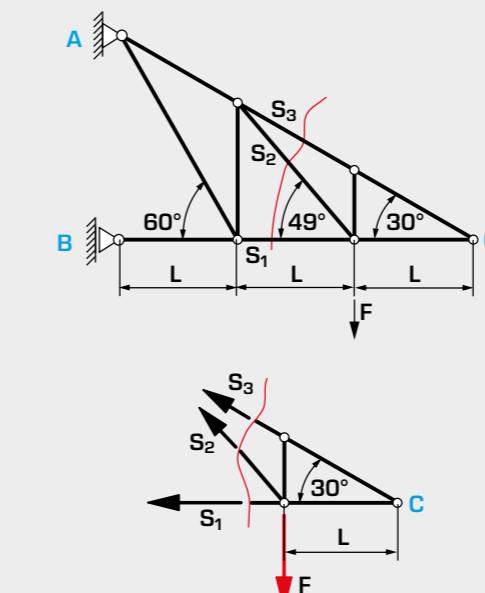
Avec la méthode des nœuds, on coupe tous les nœuds les uns après les autres. À chaque nœud, on établit les conditions d'équilibre. Pour pouvoir appliquer la méthode des nœuds, il faut que le nombre de forces inconnues qui s'exercent au niveau du nœud soit de deux maximum. Grâce à cette méthode, aucune des efforts dans la barre n'est oublié en cas de treillis complexes.

#### Condition d'équilibre

$$\sum F_V = 0 = A_V + S_1 \sin 45^\circ$$

$$\sum F_H = 0 = S_2 + S_1 \cos 45^\circ + A_H$$

### Méthode des sections de Ritter



**S** efforts dans la barre, **A+B** réactions d'appui, **C** nœuds, **F** force, **L** longueur de barre, **S\_2** effort dans la barre recherché

La méthode des sections de Ritter est utilisée lorsque l'on souhaite déterminer uniquement certaines efforts individuels dans la barre dans un treillis. Pour pouvoir appliquer la méthode des sections de Ritter, il faut que les réactions d'appui et les forces externes soient connues. La coupe passe par trois barres, dont deux sont reliées dans un nœud. Pour la condition d'équilibre des moments, il est judicieux de choisir comme point de référence le point d'intersection entre les deux efforts dans la barre. Cela permet de n'avoir plus qu'un effort dans la barre inconnu dans l'équation. L'avantage de cette méthode est de permettre un calcul des différents efforts dans la barre, sans avoir à considérer tous les nœuds.

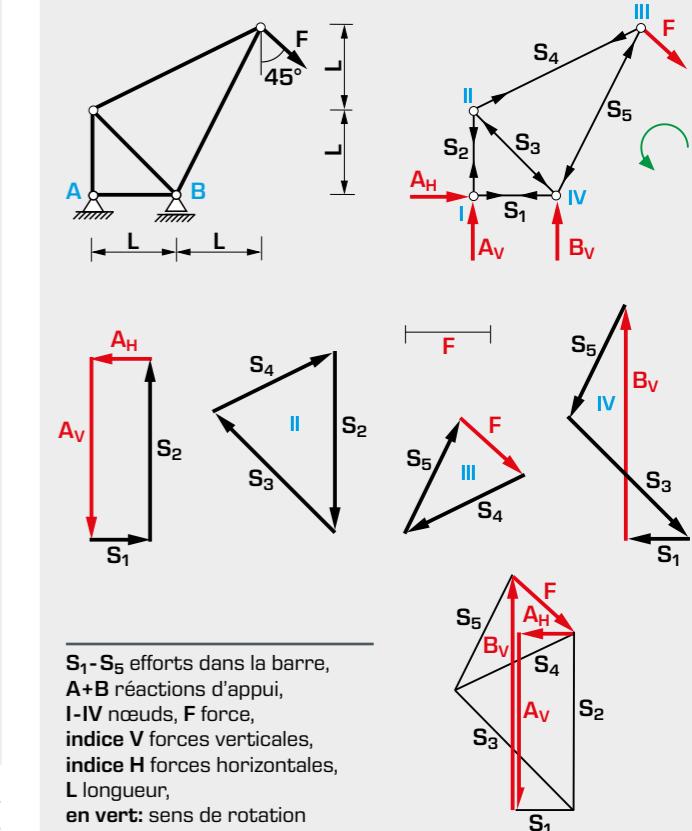
#### Condition d'équilibre

$$\sum F_V = 0 = -F + S_2 \sin 49^\circ + S_3 \sin 45^\circ$$

$$\sum F_H = 0 = -S_3 \cos 30^\circ - S_1 - S_2 \cos 49^\circ$$

$$\sum M_C = F \cdot L - S_2 \cdot \sin 49^\circ \cdot L = 0$$

### Épure de Cremona (plan des forces)



**S<sub>1</sub>-S<sub>5</sub>** efforts dans la barre, **A+B** réactions d'appui, **I-IV** nœuds, **F** force, indice **V** forces verticales, indice **H** forces horizontales, **L** longueur, en vert: sens de rotation

L'épure de Cremona est une **méthode graphique** de détermination des efforts dans la barre dans un treillis. Pour pouvoir appliquer l'épure de Cremona, il faut que les réactions d'appui et les forces externes soient connues, ou qu'elles aient été déterminées au préalable à l'aide de la méthode des nœuds. On dessine alors de manière systématique un plan des forces pour chaque nœud ayant une force connue et deux forces inconnues, et l'on inscrit la direction des forces dans tout le plan des forces du treillis. On se sert du triangle des forces pour mesurer les efforts dans la barre inconnus. Grâce à cette méthode, aucun des efforts dans la barre n'est oublié en cas de treillis complexes, et toutes les directions des forces sont reportées correctement.

## SE 110.21

### Forces dans différents treillis plans



L'illustration montre le SE 110.21 dans un bâti semblable au SE 112.

#### Description

- mesure des efforts dans la barre d'un treillis plan
- montage des différentes formes de treillis
- barres avec technique de mesure basée sur la jauge de contrainte afin de mesurer l'effort dans la barre

Comme construction légère avec rigidité élevée, les treillis trouve principalement leur application dans la construction de halles, de ponts, de grue et de pylône. Un treillis est un assemblage de barres formant une triangulation où certaines parties de l'assemblage sont mises en compression et d'autres parties en tension, mais pas à la flexion.

L'objectif de cet essai est de mesurer les efforts dans la barre d'un treillis plan qui est chargée d'une force unique extérieure. Le montage expérimental SE 110.21 comporte des barres équipées de fermetures encliquetées spéciales aux extrémités qui facilitent l'enclenchement dans le disque de jonction. L'assortiment de barres, de différentes longueurs, permet de monter trois formes de treillis isostatique.

Les barres sont reliées "de manière articulée" à l'aide de disques de jonction et sont soumises uniquement à la compression ou la traction. Aucun moment n'est transmis dans les nœuds. Ceux-ci doivent être considérés comme étant sans frottement. Dès lors, nos treillis sont considérés comme des treillis idéals.

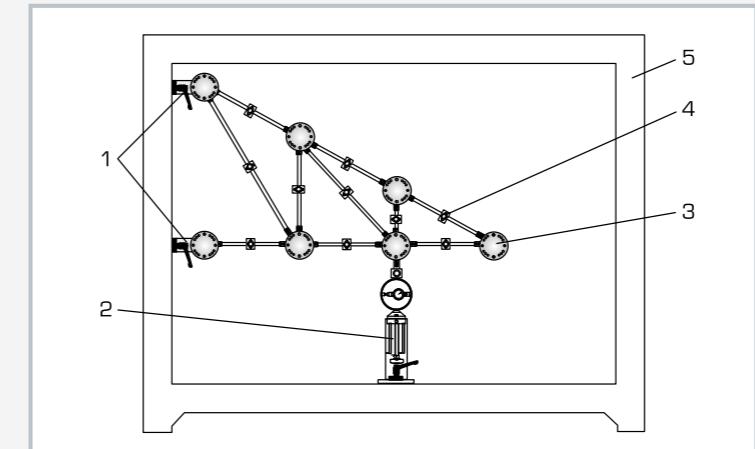
Un dispositif de charge placé au niveau d'un disque de jonction crée une force extérieure. Toutes les forces au niveau des barres du treillis sont enregistrées à l'aide de technique de mesure basée sur la jauge de contrainte

L'interprétation des valeurs de mesure s'effectue sur le PC via l'amplificateur de mesure FL 152 (16 voies d'entrée). Le logiciel dans FL 152 permet de gérer les données de mesure et de représenter graphiquement les efforts dans la barre. Le logiciel dispose d'une fonction d'aide étendue.

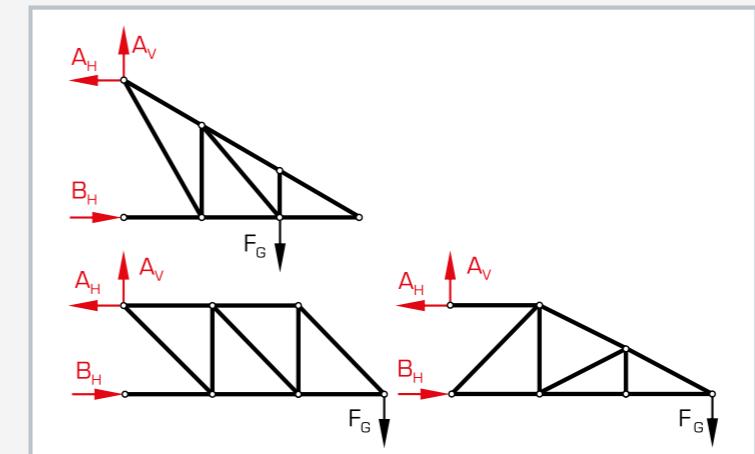
Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégée dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté dans le bâti SE 112.

#### Contenu didactique/essais

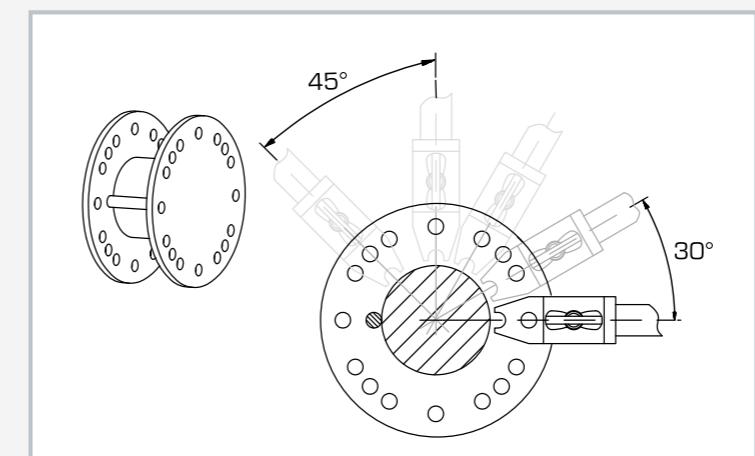
- mesure des efforts dans la barre dans différents treillis plans
- dépendance des efforts dans la barre de la force extérieure
  - intensité
  - direction
  - point d'application
- comparaison des résultats de mesure avec des méthodes de résolution mathématiques
  - méthode des nœuds
  - méthode des sections de Ritter
- principe de base: mesure des forces à l'aide de la technique de mesure basée sur jauge de contrainte



1 appui, 2 dispositif de charge avec dynamomètre à cadran, 3 disque de jonction, 4 barre avec point de mesure, 5 bâti SE 112



3 formes de treillis:  
rouge: réactions d'appui, noir: force extérieure



Fixation des barres dans le disque de jonction

#### Spécification

- [1] étude des efforts dans la barre dans un treillis isostatique
- [2] montage possible de différents treillis
- [3] 2 appuis avec disques de jonction
- [4] dispositif de charge avec dynamomètre à cadran pouvant être monté au niveau des différents disques de jonction
- [5] points de mesure pour mesurer la force au niveau de chaque barre
- [6] amplificateur de mesure FL 152 nécessaire
- [7] logiciel GUNT dans FL 152 pour interpréter les valeurs de mesure graphique
- [8] système de rangement pour les pièces
- [9] montage expérimental dans le bâti SE 112

#### Caractéristiques techniques

Barres: 19

- 2 barres de 150mm
- 5 barres de 259mm
- 7 barres de 300mm
- 1 barre de 397mm
- 3 barres de 424mm
- 1 barre de 520mm
- angles entre les barres: 30°, 45°, 60°, 90°
- effort dans la barre maximal: 500N
- points de mesure au niveau de chaque barre
- hauteur du treillis: max. 450mm
- longueur du treillis: max. 900mm

Dispositif de charge

- ±500N
- graduation: 10N

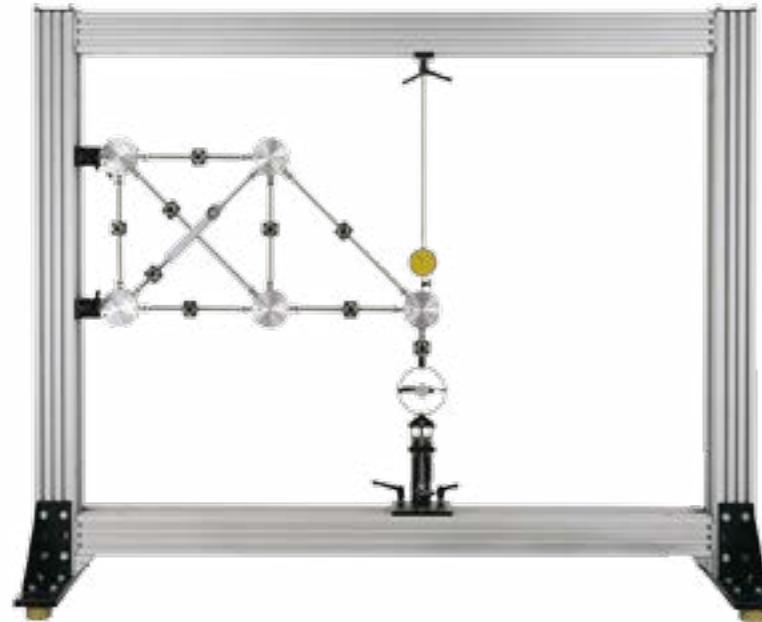
Lxlxh: 1170x480x178mm (système de rangement)  
Poids: env. 26kg [total]

#### Liste de livraison

- 1 jeu de barres
- 5 disques de jonction
- 2 appuis avec disque de jonction
- 1 dispositif de charge
- 1 jeu de câbles
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

## SE 110.22

### Forces dans un treillis hyperstatique



L'illustration montre le SE 110.22 dans un bâti semblable au SE 112.

#### Description

- **comparaison des forces dans le cas de treillis isostatiques et hyperstatiques**
- **barres avec ponts intégraux pour technique de mesure basée sur la jauge de contrainte afin de mesurer l'effort dans la barre**

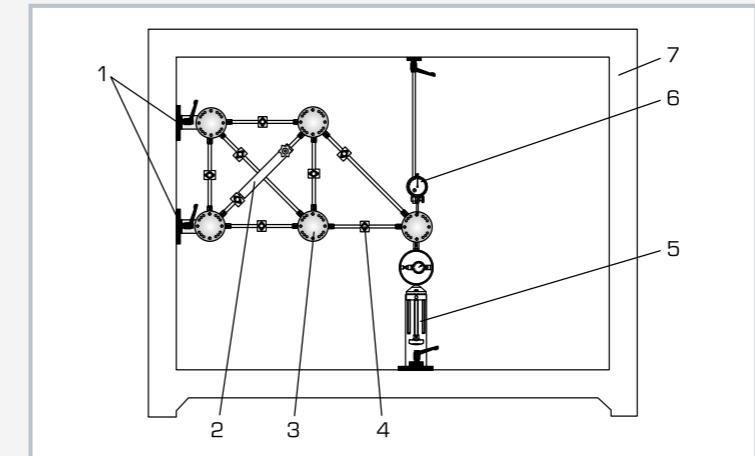
En ajoutant des barres supplémentaires, un treillis isostatique devient intérieurement hyperstatique. Dans ce cas, il porte le nom de treillis hyperstatique. Dans un treillis hyperstatique, les efforts dans la barre dépendent des propriétés élastiques du treillis et ils ne sont pas calculés facilement.

Le montage expérimental SE 110.22 permet d'étudier les treillis isostatiques et hyperstatiques et de les comparer.

A l'aide des barres et des disques de jonction, un treillis isostatique plan est d'abord monté. Le montage d'une barre supplémentaire permet de créer un treillis hyperstatique. Un dispositif de charge permet d'appliquer des forces droites ou obliques sur le treillis et de simuler, de cette manière, différentes conditions de charge. Les forces de traction et de compression apparaissent dans les barres sont enregistrées à l'aide de technique de mesure basée sur la jauge de contrainte.

#### Contenu didactique/essais

- mesure des efforts dans la barre dans un treillis isostatique et un treillis hyperstatique plan
- répartition des forces dans un treillis plan en fonction de l'utilisation d'une barre supplémentaire
- dépendance des efforts dans la barre par rapport à la force extérieure
  - intensité, direction, point d'application
- comparaison des résultats de mesure avec des méthodes de résolution mathématiques
  - méthode des nœuds
  - méthode des sections de Ritter
- principe de base: mesure des forces à l'aide de la technique de mesure basée sur la jauge de contrainte



1 appui, 2 barre supplémentaire (réglable), 3 disque de jonction, 4 barre avec point de mesure, 5 dispositif de charge, 6 comparateur à cadran avec fixation, 7 bâti SE 112

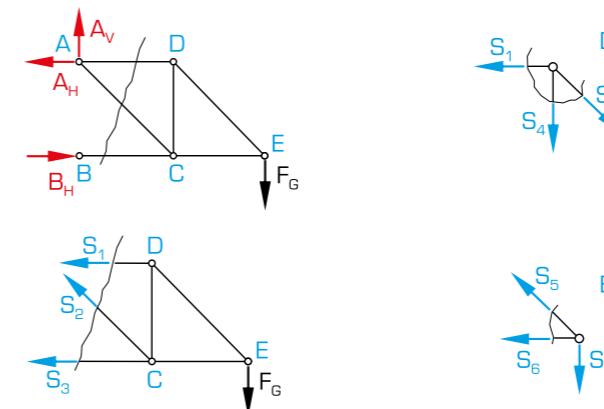
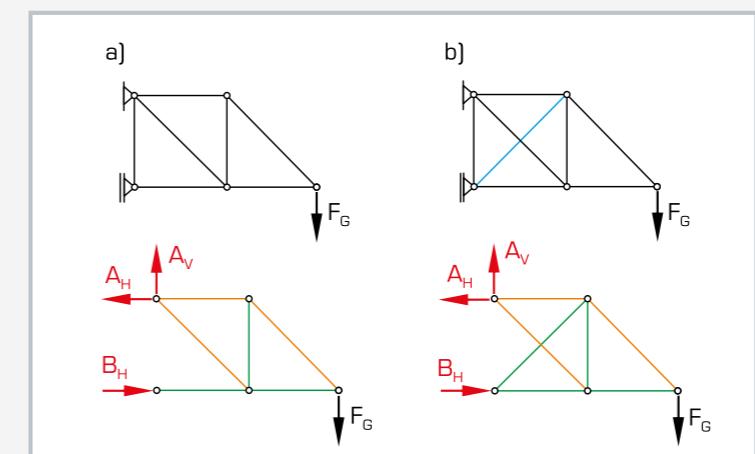


Diagramme du corps libre du treillis, méthode des sections de Ritter  
A, B, C, D, E: nœuds, noir: force appliquée, rouge: réactions d'appui, bleu S<sub>1</sub> à S<sub>7</sub>: efforts dans la barre



a) treillis isostatique, b) treillis hyperstatique;  
rouge: réactions d'appui, noir: force appliquée, bleu: barre supplémentaire, vert: barres de compression, orange: barres de traction

#### Spécification

- [1] étude des efforts dans la barre dans les treillis hyperstatiques
- [2] barre supplémentaire, réglable en longueur
- [3] charges droites et obliques possibles
- [4] dispositif de charge avec dynamomètre à cadran pouvant être monté au niveau des différents disques de jonction
- [5] point de mesure pour mesurer la force au niveau de chaque barre
- [6] amplificateur de mesure FL 152 nécessaire
- [7] logiciel GUNT dans FL 152 pour interpréter les valeurs de mesure graphique
- [8] système de rangement pour les pièces
- [9] montage expérimental dans le bâti SE 112

#### Caractéristiques techniques

##### Barres: 8

- 5 barres fixes de 300mm
- 2 barres fixes de 424mm
- 1 barre réglable 400...450mm
- angle entre les barres: 30°, 45°, 60°, 90°
- effort dans la barre maximal: 500N
- point de mesure au niveau de chaque barre
- hauteur du treillis: max. 270mm
- longueur du treillis: max. 500mm

##### Dispositif de charge

- ±500N
- graduation: 10N

##### Comparateur à cadran

- plage de mesure: 0...20mm

LxLxh: 1170x480x178mm (système de rangement)  
Poids: env. 22kg (total)

#### Liste de livraison

- |   |  |
|---|--|
| 1 | jeu de barres                                  |
| 5 | disques de jonction                            |
| 1 | dispositif de charge                           |
| 1 | comparateur à cadran                           |
| 1 | jeu de câbles                                  |
| 1 | système de rangement avec mousse de protection |
| 1 | documentation didactique                       |

## SE 130

### Forces dans un treillis type Howe



#### Description

- mesure des efforts dans la barre d'un treillis plan, type Howe
- mesure des efforts dans la barre à l'aide de technique de mesure basée sur la jauge de contrainte
- la charge extérieure peut être appliquée sous différents angles d'application

Comme construction légère avec rigidité élevée, les treillis trouvent principalement leur application dans la construction de halles, de ponts, de grue et de pylône. Un treillis est un assemblage de barres formant une triangulation où certaines parties de l'assemblage sont mises en compression et d'autres parties en tension, mais pas à la flexion.

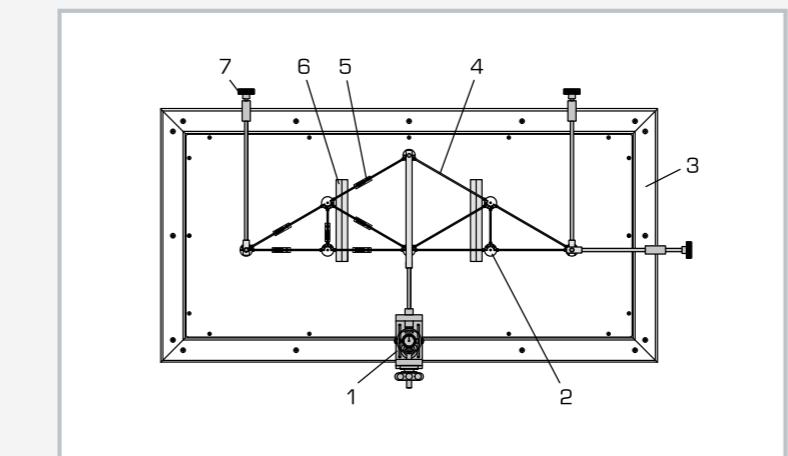
Le montage SE 130 permet d'effectuer des essais sur treillis plans avec une bonne précision de mesure et une représentation claire des résultats à l'aide du logiciel. Le treillis monté est posé horizontalement sur le bâti. Le raccordement des barres est "articulé" à l'aide de disques de jonction. Dès lors, notre treillis peut être considéré comme idéal. La création de la force extérieure s'effectue à l'aide d'une vis filetée. L'application de la force peut s'effectuer dans diverses directions et à différents endroits.

#### Contenu didactique/essais

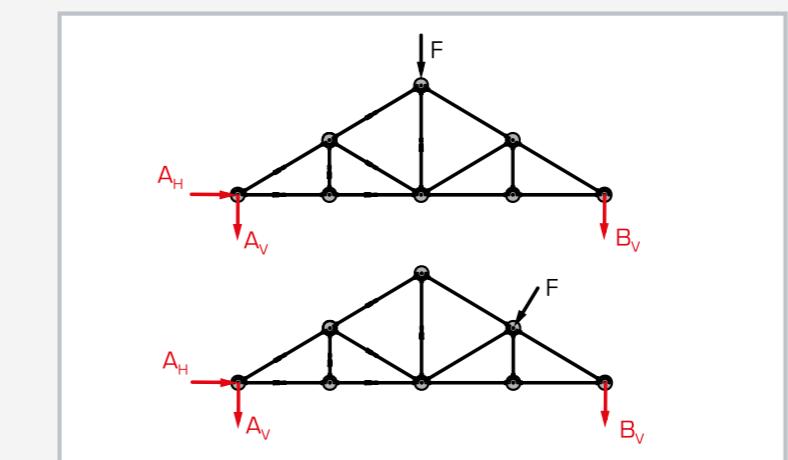
- mesure des efforts dans la barre d'un treillis plan, type Howe
- dépendance des efforts dans la barre de la force extérieure
  - intensité, direction, point d'application
- comparaison des résultats de mesure avec des méthodes de résolution mathématiques et graphiques
  - méthode des nœuds
  - méthode des sections de Ritter
  - épure de Cremona
- principe de base: mesure des forces à l'aide de la technique de mesure basée sur la jauge de contrainte

Les forces créées au niveau des barres du treillis sont enregistrées à l'aide de technique de mesure basée sur la jauge de contrainte. Tous les points de mesure sont regroupés dans un boîtier de raccordement. Le raccordement à l'amplificateur de mesure FL 152 s'effectue à partir de ce boîtier. Le logiciel permet de gérer les données de mesure et de représenter graphiquement les efforts dans la barre. Le logiciel dispose d'une fonction d'aide étendue.

Un treillis supplémentaire est disponible pour l'extension du programme d'essai [élément disponible: SE 130.01, type Warren].



1 dispositif de charge avec dynamomètre à cadran, 2 disque de jonction, 3 bâti, 4 barre, 5 point de mesure au niveau de la barre, 6 support en arête de couteau, 7 vis de réglage



Condition de charge haut: rapport de la poussée à la masse au niveau de la faîte, condition de charge bas: charge de vent perpendiculaire à la surface du toit; noir: force appliquée, rouge: réactions d'appui

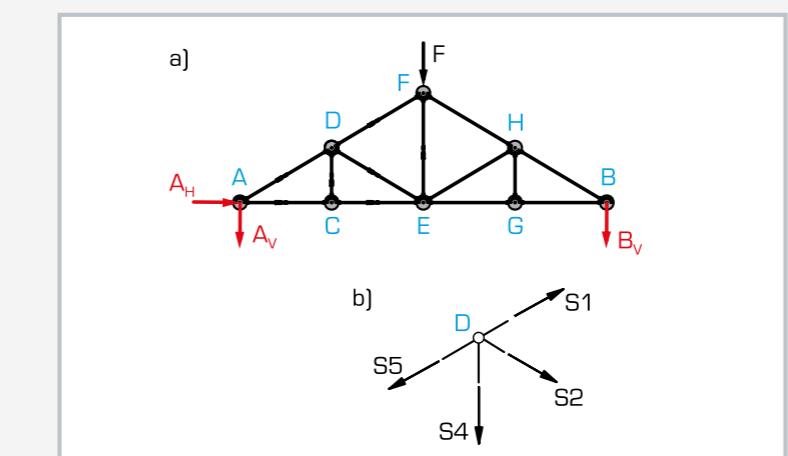


Diagramme du corps libre d'un treillis, méthode des nœuds  
a) plan d'ensemble, noir: force appliquée, rouge: réactions d'appui, bleu: nœuds; b) efforts dans la barre au niveau du nœud D

#### Spécification

- [1] étude des efforts dans la barre d'un treillis plan isostatique
- [2] treillis monté type Howe
- [3] bâti pour montage expérimental horizontal
- [4] influence de son propre poids minimisée par arrangement expérimentale
- [5] possibilité d'utiliser au choix des charges droites et obliques
- [6] réglage fin de la force de charge
- [7] support en arête de couteau à faible frottement
- [8] 2 appuis pour les forces verticales, 1 appui pour les forces horizontales
- [9] boîtier de raccordement pour jauge de contrainte ajusté préalablement avec raccordement à l'amplificateur de mesure FL 152
- [10] amplificateur de mesure FL 152 nécessaire
- [11] logiciel GUNT dans FL 152 pour interpréter les valeurs de mesure graphique

#### Caractéristiques techniques

Treillis: type Howe

- section des barres: 10x3mm, acier inoxydable
- longueur de barre: 115,5, 200, 231mm
- charge extérieure: max. 500N
- barres: 13, dont 7 barres avec points de mesure

Dispositif de charge avec dynamomètre à cadran

- force de traction: max. 600N
- course: 30mm

Disques de jonction: 8  
Angle entre barres: 30°, 45°

Lxlxh: 1220x620x250mm (bâti)  
Lxlxh: 850x265x15mm (treillis type Howe)  
Poids: env. 43kg

#### Liste de livraison

- 1 bâti
- 1 treillis type Howe
- 1 dispositif de charge
- 1 boîtier de raccordement pour jauge de contrainte
- 1 câble plat
- 1 documentation didactique

## SE 130.01

### Poutre à treillis: type Warren



#### Description

- treillis monté, type Warren
- barres avec technique de mesure basée sur la jauge de contrainte afin de mesurer l'effort dans la barre

La poutre à treillis de type Warren est souvent utilisée dans les constructions métalliques.

Les montages expérimentaux avec la poutre SE 130.01 sont disposés sur le bâti de l'appareil SE 130. Le montage mécanique du treillis garantit que seules des forces de traction ou de compression agissent dans les barres. Le raccordement des barres à l'aide des disques de jonction est "articulé". Dès lors, on peut parler d'un treillis idéal.

#### Contenu didactique/essais

- calcul des forces de traction et de compression dans les barres dans différentes conditions de charge: forces droites et obliques
- comparaison des résultats de mesure avec des méthodes de résolution mathématiques et graphiques
  - méthode des noeuds
  - méthode des sections de Ritter
  - épure de Cremona

#### Spécification

- [1] étude des efforts dans la barre dans un treillis plan isostatique
- [2] poutre à treillis montée de type Warren
- [3] influence du poids propre minimisée par le montage expérimental horizontal
- [4] possibilité d'utiliser au choix des charges droites et obliques
- [5] boîtier de raccordement pour jauge de contrainte ajusté préalablement
- [6] le SE 130.01 est un jeu complémentaire pour l'appareil principal SE 130

#### Caractéristiques techniques

- Poutre à treillis: type Warren
- section des barres: 10x3mm, acier inoxydable
  - longueur de barre: 270mm, 186,5mm
  - force de traction: max. 500N
  - barres: 13, dont 7 barres avec points de mesure

Disques de jonction: 8

Lxhx: env. 800x300x15mm  
Poids: env. 8kg

#### Liste de livraison

- 1 poutre à treillis: type Warren
- 1 boîtier de raccordement pour jauge de contrainte
- 1 câble plat

# Acquisition des données et visualisation



## Évaluation et analyse optimisées des essais

Les logiciels GUNT sont toujours accompagnés d'un support en ligne important permettant d'en expliquer les fonctions et l'utilisation.

Les logiciels GUNT sont développés et suivis en interne par un groupe d'ingénieurs expérimentés.



## SE 110.18

### Forces au niveau d'un pont suspendu



L'illustration montre le SE 110.18 dans le bâti SE 112.

#### Description

- tablier rigide ou élastique pour le pont suspendu
- différentes conditions de charges possibles: charge ponctuelle ou linéaire
- ligne de chaînette d'un câble suspendu librement

Les ponts suspendus font partie des plus anciennes formes de construction de pont. L'élément porteur est un câble flexible. Puisque les câbles peuvent absorber des forces de traction élevées lorsque le poids propre est petit, les ponts suspendus peuvent être montés avec de grandes portées. Cela a permis de couvrir de plus grandes distances sans piliers de soutien, par ex. dans le cas des ravins. La courbure des câbles porteurs du pont suspendu est parabolique puisque les poids est fixé aux câbles porteurs à des intervalles constants relativement petits au-dessus des câbles verticaux.

Le montage expérimental SE 110.18 représente un pont suspendu. Le pont se compose de deux câbles porteurs parallèles et d'un tablier suspendu. Des suspentes en U servent de câbles verticaux. Elles sont placées à des intervalles réguliers au niveau des câbles porteurs et maintiennent le tablier. Les poules de renvoi agissent comme des pylônes.

#### Contenu didactique/essais

- apprentissage concernant un pont suspendu
  - soumis au poids propre
  - soumis à un poids supplémentaire
  - soumis à une charge répartie de manière uniforme (charge linéaire)
  - soumis à une charge répartie de manière inégale (charge ponctuelle)
- calcul de la force du câble porteur
- comparaison des valeurs calculées et des valeurs mesurées de la force du câble porteur
- observation de l'effet des moments internes dans le tablier lorsque la charge est inégale
  - tablier rigide
  - tablier élastique
- détermination de la ligne de chaînette d'un câble suspendu librement

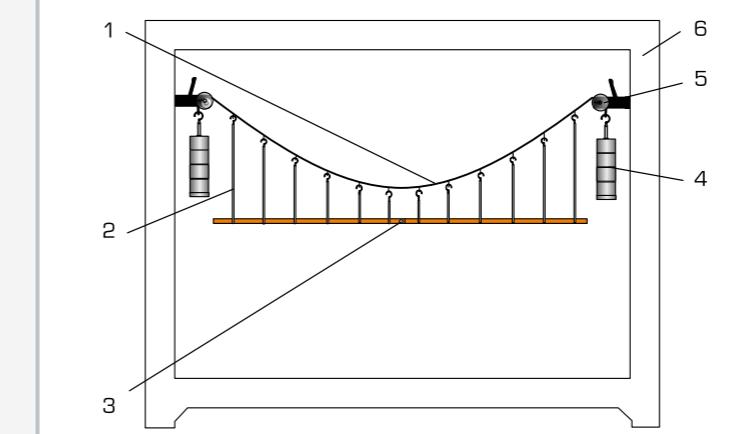
Le tablier agit comme une charge linéaire sur les câbles porteurs et peut être chargé de poids supplémentaires.

Deux tabliers de différente rigidité sont disponibles: un tablier rigide et un tablier élastique. Le tablier rigide est équipé d'une articulation au centre. L'articulation permet d'observer les moments internes dans le tablier qui apparaissent lorsque la charge est inégale et fait plier ce dernier.

Le montage expérimental sans tablier permet de traiter des câbles suspendus librement. Pour étudier des câbles à poids propre différent, des charges ponctuelles additionnel sont directement appliquées aux câbles porteurs.

Les forces de traction dans les câbles porteurs sont déterminées à l'aide des poids. La courbure maximale est mesurée à l'aide d'une règle graduée. La règle graduée est fixée à une traverse.

Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégée dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté dans le bâti SE 112.



1 câble porteur, 2 suspente, 3 tablier, 4 poids, 5 poulie de renvoi avec fixation, 6 bâti SE 112

#### Spécification

- [1] étude d'un pont suspendu dans différentes conditions de charge
- [2] pont suspendu composé de 2 câbles porteurs, tablier et 2 poulies de renvoi comme des pylônes
- [3] câbles porteurs avec courbure parabolique
- [4] suspentes (câbles porteurs verticaux) sous forme d'étriers en U avec longueurs graduées
- [5] le tablier [charge linéaire] peut être, en outre, chargé de poids
- [6] 2 tabliers comme option: tablier rigide (en deux parties avec articulation centrale) et tablier élastique
- [7] montage expérimental "câble suspendu": câbles porteurs sans tablier, chargés seulement avec des charges ponctuelles
- [8] 4 suspentes pour mesurer la force portante du câble dans les deux câbles porteurs
- [9] système de rangement pour les pièces
- [10] montage expérimental dans le bâti SE 112

#### Caractéristiques techniques

##### Pont suspendu

- portée: env. 1050mm
- courbure du câble porteur: env. 325mm
- nombre de câbles porteurs: 2
- étrier: 12, longueurs graduées

Tablier rigide, en deux parties avec articulation, bois

- poids propre: 5,5N
- LxLxh: 100x70x10mm

Tablier élastique, PVC

- poids propre: 3N
- LxLxh: 100x70x3mm

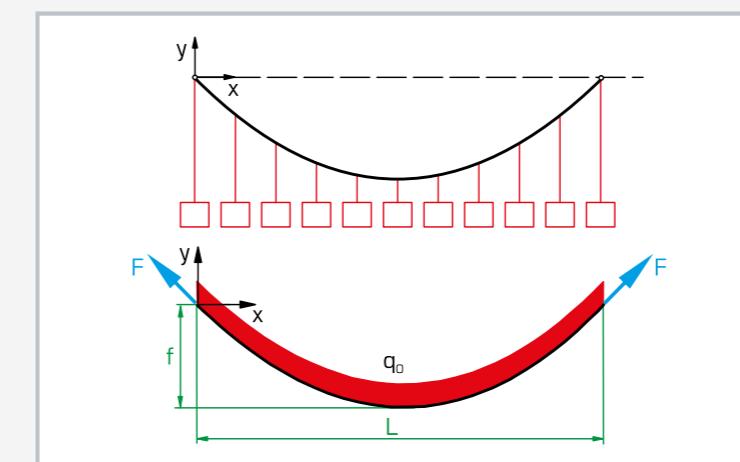
##### Poids

- 16x 1N (suspentes)
- 12x 1N (étriers)
- 24x 1N
- 28x 5N

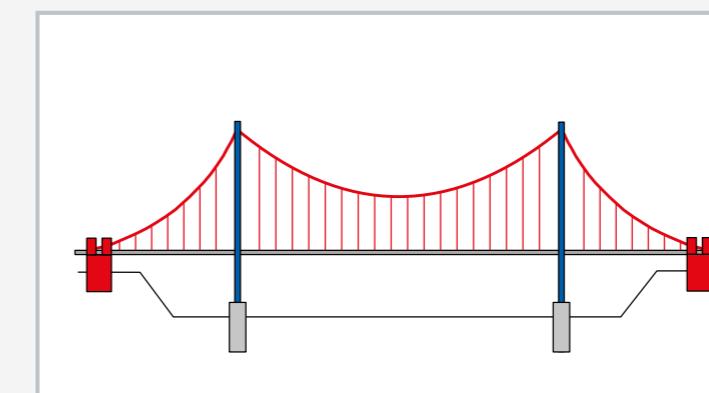
LxLxh: 1170x480x178mm (système de rangement)  
Poids: env. 37kg (total)

#### Liste de livraison

- 2 câbles porteurs
- 1 jeu d'étriers pour les tabliers
- 1 tablier, rigide
- 1 tablier, élastique
- 2 poulies de renvoi avec fixation
- 1 traverse avec éléments de serrage
- 1 règle graduée
- 1 jeu de poids
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique



Modèle de substitution d'un pont suspendu: "câble suspendu avec charge linéaire constante" avec diagramme du corps libre (en dessous); F force portante du câble,  $q_0$  charge linéaire; f courbure maximale, L portée



Forces au niveau d'un pont suspendu: rouge: forces de traction (agissent dans les câbles porteurs, les suspentes et les ancrages des câbles porteurs), bleu: forces de compression (agissent dans les pylônes)

## SE 110.12

### Lignes d'influence au niveau de la poutre cantilever



L'illustration montre le SE 110.12 dans le bâti SE 112.

#### Description

- poutre articulée avec deux bras et une poutre de suspension comme exemple d'un pont type
- affichage direct des réactions d'appui
- lignes d'influences pour différentes conditions de charge

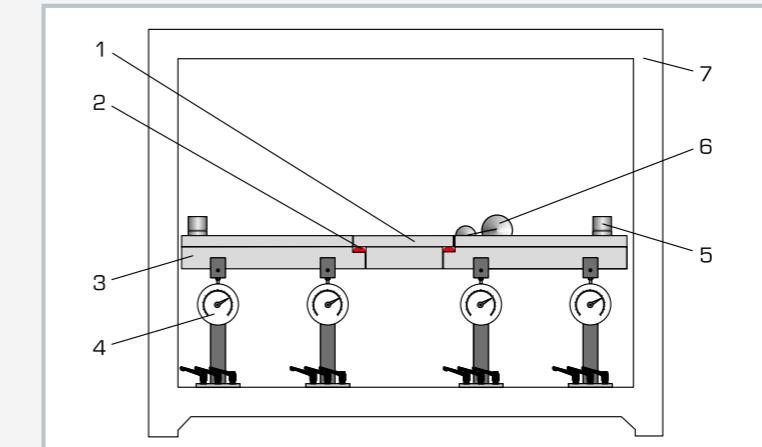
De nombreux ponts sont réalisés sous la forme de poutres cantilever. Les ponts sont soumis à des charges mobiles. Dès lors, il est important de prendre en compte ces charges mobiles lors de la conception. Pour cela, on détermine ce que l'on appelle des lignes d'influence. Les lignes d'influence décrivent des réactions statiques sur une charge mobile, par ex. des réactions internes de la poutre ou des réactions d'appui. Les lignes d'influence sont calculées via la méthode des sections et des conditions d'équilibre de la statique, tout comme la courbe des moments de flexion pour une charge statique.

Une poutre cantilever est une poutre articulée. Dans le cas du SE 110.12, elle dispose de deux bras et une poutre de suspension est également utilisée. Deux appuis soutiennent à chaque fois un bras. La poutre de suspension est montée de manière articulée sur les deux éléments en porte-à-faux des bras.

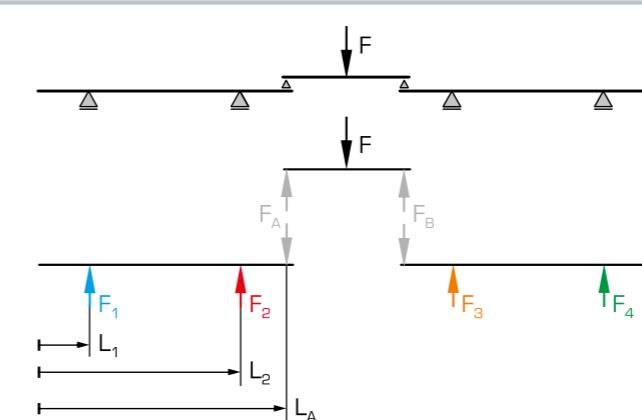
#### Contenu didactique/essais

- De cette manière, l'ensemble de la poutre est isostatique.
- Les appuis des bras sont équipés de dynamomètres à cadran qui affichent les réactions d'appui.
- Differentes charges et une charge mobile sont mis à disposition pour le chargement de la poutre. Dès lors, la poutre peut être soumise à des charges ponctuelles ou linéaires ou à une charge mobile. Les dynamomètres à cadran indiquent directement l'effet d'une charge mobile sur les réactions d'appui. Les appuis sont coulissants.
- Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégées dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté dans le bâti SE 112.

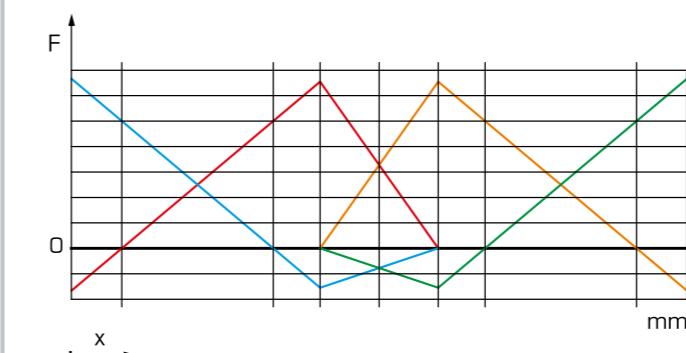
- apprentissage concernant une poutre cantilever
- application de la méthode des sections et des conditions d'équilibre de la statique afin de calculer les réactions d'appui pour
  - ▶ charge ponctuelle
  - ▶ charge linéaire
  - ▶ charge mobile
- détermination des réactions internes soumises à une charge statique
  - ▶ courbe des efforts tranchants
  - ▶ courbe des moments de flexion
- détermination des lignes d'influence soumises à une charge mobile
- comparaison des réactions d'appui calculées et mesurées pour la charge statique et la charge mobile



1 poutre de suspension, 2 appui articulé, 3 bras, 4 appui avec dynamomètre à cadran, 5 poids, 6 charge mobile, 7 bâti SE 112



Haut: montage expérimental simplifié (poutre cantilever),  
bas: diagramme du corps libre: F force appliquée,  $F_A + F_B$  réactions des appuis articulés,  
 $F_1$  à  $F_4$  réactions des appuis avec dynamomètre à cadran,  
 $L_1, L_2, L_3$  positions des appuis



Lignes d'influence pour une charge ponctuelle mobile (voir aussi diagramme du corps libre):  
bleu: appui 1, rouge: appui 2, orange: appui 3, vert: appui 4

#### Spécification

- [1] étude des lignes d'influence dans la poutre cantilever isostatique avec chargement différent
- [2] poutre cantilever composée de 2 bras et 1 poutre de suspension
- [3] poutre de suspension montée de manière articulée sur les bras
- [4] chargement de la poutre avec charge mobile ou différentes charges
- [5] 4 appuis coulissants avec dynamomètre à cadran
- [6] système de rangement pour les pièces
- [7] montage expérimental dans le bâti SE 112

#### Caractéristiques techniques

##### Poutre

- longueur totale: 1220mm
- longueur du bras: 503mm
- longueur de la poutre de suspension: 250mm

Dynamomètre à cadran: de  $\pm 50\text{N}$

##### Poids

- 24x 5N
- 12x 1N
- charge mobile: 10+20N

LxLxh: 1170x480x178mm (système de rangement)  
Poids: env. 40kg (total)

#### Liste de livraison

- 1 poutre cantilever [2 bras + 1 poutre de suspension]
- 4 appuis avec dynamomètre à cadran
- 1 charge mobile
- 1 jeu de poids
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

## SE 110.17

### Arc à trois articulations



L'illustration montre le SE 110.17 dans le bâti SE 112.

#### Description

- arc isostatique à trois articulations
- arc symétrique ou asymétrique
- différentes conditions de charge: charge ponctuelle, charge linéaire, charge mobile

Les ponts sont souvent construits sous la forme d'arcs à trois articulations. Cette construction convient particulièrement lorsque l'on dispose principalement de matériaux de construction résistants à la compression. Une poussée horizontale se produit dans l'arc au niveau des appuis. Cette poussée s'appelle la poussée de l'arc. Elle permet essentiellement de créer des petits moments de flexion dans l'arc tout comme dans le cas d'une poutre avec deux supports ayant la même portée. Pour cela, une force de compression longitudinale non négligeable agit dans l'arc.

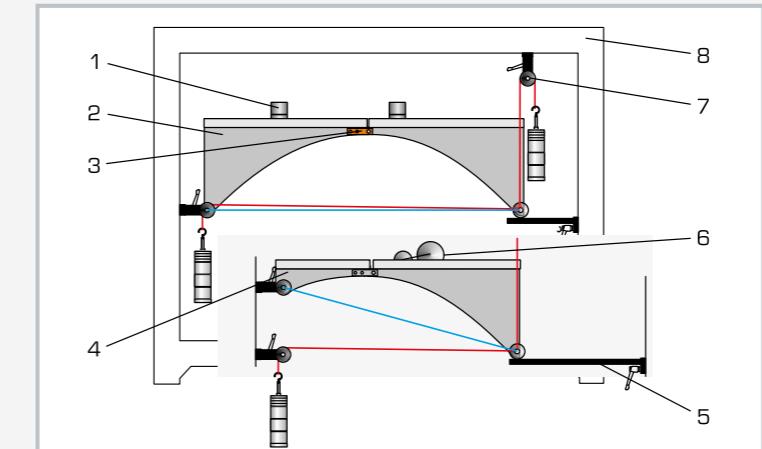
Un arc à trois articulations comporte une poutre courbe montée sur deux paliers de butée et contenant ce que l'on appelle une articulation à la clé le plus souvent située au sommet. Les articulations au niveau des deux paliers de butée absorbent des forces verticales et horizontales et sont appelées articulations aux naissances. Leur ligne de jonction est la ligne des naissances.

#### Contenu didactique/essais

- apprentissage concernant des arcs à trois articulations (asymétrique et symétrique)
- application de la méthode des sections et des conditions d'équilibre de la statique afin de calculer les réactions d'appui pour
  - ▶ charge ponctuelle, charge linéaire, charge mobile
- étude de l'influence de la charge sur la poussée horizontale dans les appuis
- détermination des lignes d'influence pour les appuis soumis à une charge mobile
- comparaison des réactions d'appui calculées et mesurées pour la charge statique et la charge mobile

Le système est isostatique en raison de l'articulation à la clé. Le SE 110.17 comporte trois arcs partiels, deux longs et un court, reliés de manière articulée. L'ensemble peut former un arc à trois articulations symétrique ou asymétrique. L'arc à étudier peut être chargé d'une charge ponctuelle, linéaire ou mobile. Des poids compensent les réactions d'appui d'une articulation aux naissances et permettent d'effectuer une comparaison entre les valeurs calculées et les valeurs réellement mesurées.

Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégées dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté dans le bâti SE 112.



1 poids, 2 arc partiel long, 3 articulation à la clé, 4 arc partiel court, 5 appui, 6 charge mobile, 7 poulie de renvoi avec fixation, 8 bâti SE 112; rouge: câble, bleu: ligne des naissances

#### Spécification

- [1] étude de 2 arcs isostatiques à trois articulations
- [2] arc articulé avec 3 articulations: 1 articulation à la clé, 2 articulations aux naissances au niveau des points d'appui
- [3] 3 arcs partiels: 2x longs (forment ensemble l'arc symétrique), 1x court (avec 1x long: arcs asymétriques)
- [4] chargement de l'arc à l'aide d'une charge ponctuelle, d'une charge linéaire (des charges) ou d'une charge mobile
- [5] charges pour compenser les réactions d'appui d'une articulation aux naissances
- [6] système de rangement pour les pièces
- [7] montage expérimental dans le bâti SE 112

#### Caractéristiques techniques

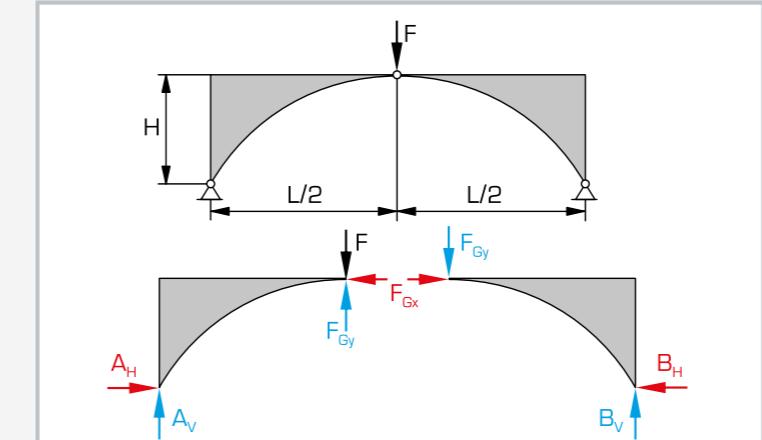
##### Arcs en aluminium

- 2x longs: 480mm, longueur totale de l'arc: 960mm
- 1x court: 230mm, longueur totale de l'arc: 710mm
- hauteur de l'arc: 250mm

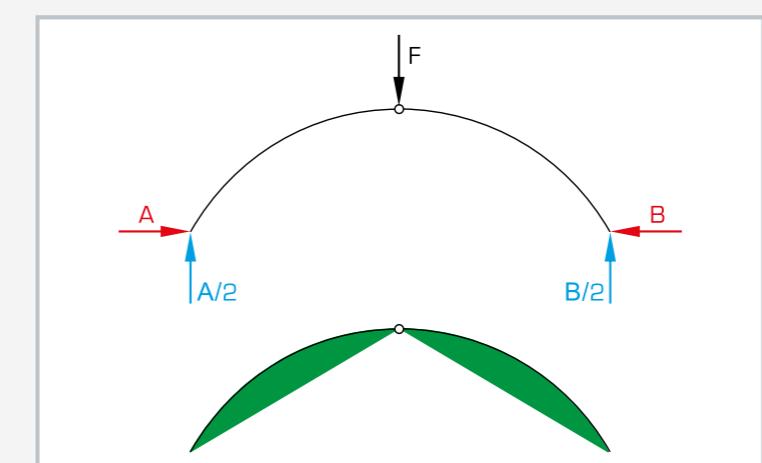
##### Poids

- 4x 1N (suspentes)
- 36x 1N
- 16x 5N
- charge mobile: 10N+20N

LxLxh: 1170x480x178mm (système de rangement)  
Poids: env. 56kg (total)



Haut: arc à trois articulations chargé symétriquement,  
Bas: diagramme du corps libre de l'arc chargé



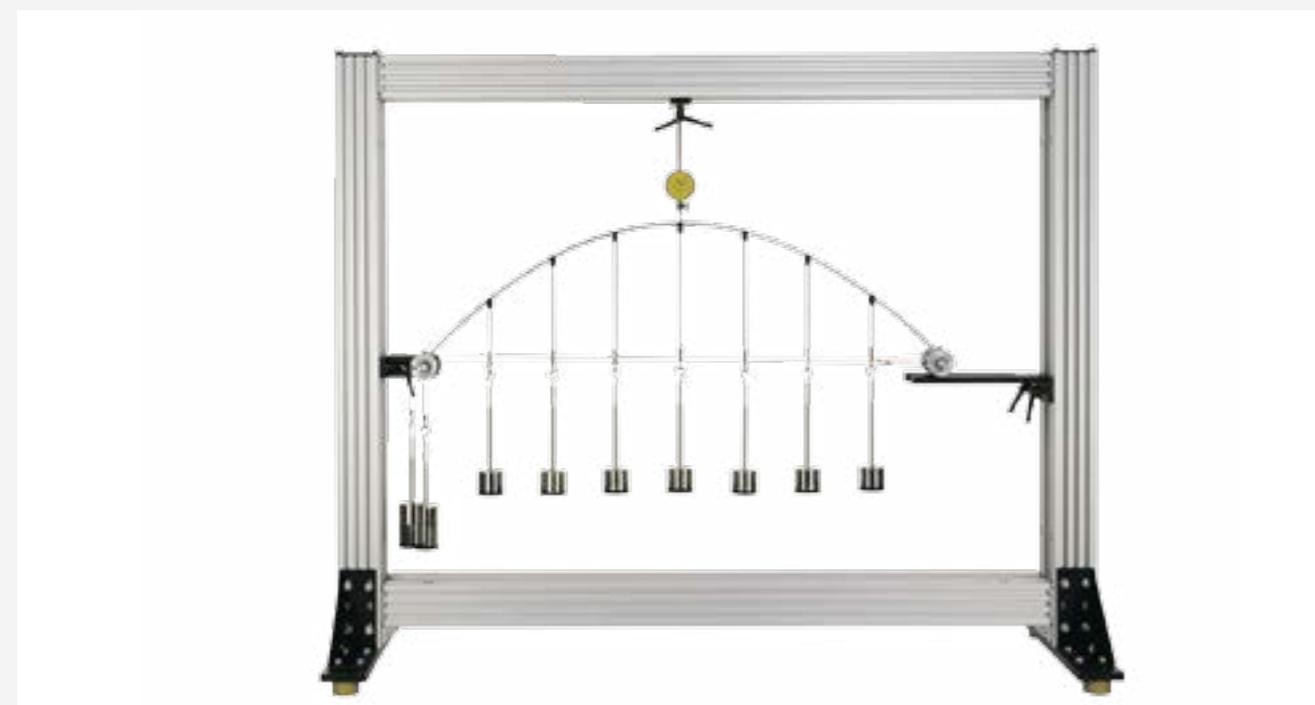
Courbe théorique des moments de flexion dans l'arc chargé symétriquement: haut: diagramme du corps libre avec forces calculées, bas: courbe qualitative des moments de flexion en vert

#### Liste de livraison

- 3 parties d'arc
- 1 charge mobile
- 2 appuis
- 1 jeu de poids avec poulies de renvoi
- 2 systèmes de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

## SE 110.16

### Arc parabolique



L'illustration montre le SE 110.16 dans un bâti semblable au SE 112.

#### Description

- **arcs paraboliques isostatiques ou hyperstatiques soumis à une charge**
- **déformations de l'arc soumis à une charge**
- **réactions d'appui de l'arc**

Les arcs paraboliques sont des éléments recherchés dans la technique de construction. Ils peuvent notamment être utilisés comme ponts ou comme poutres. Normalement, ces ponts sont hyperstatiques. La particularité de l'arc parabolique est que seules les forces normales et seuls les moments de flexion apparaissent dans l'arc, mais pas les efforts tranchants. C'est le cas lorsque l'arc est soumis à une charge linéaire uniforme et que les deux extrémités sont fixées dans des paliers fixes. De cette manière, il est possible de construire des arcs en pierres posées de manière libre. Il s'agit d'une technique de construction qui existe depuis de nombreux siècles. Les charges agissent à l'intérieur de l'arc principalement en tant que force de compression dans le sens de la force normale à chaque point de l'arc.

Le SE 110.16 comporte un arc parabolique préformé. Il peut être soumis à des charges ponctuelles ou linéaires.

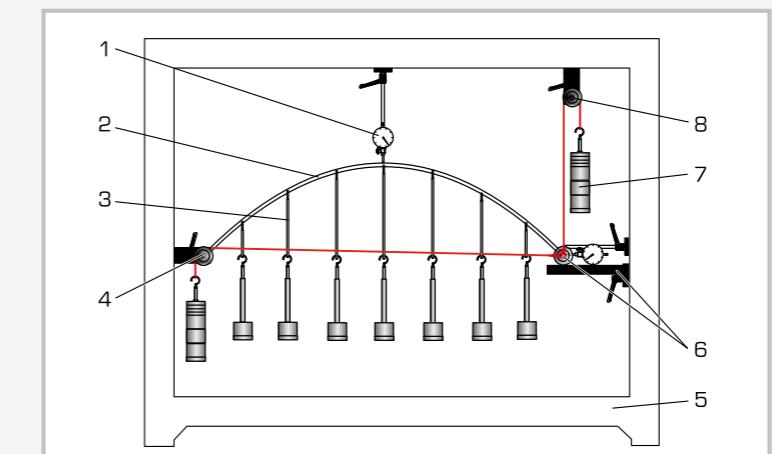
#### Contenu didactique/essais

- principes mécaniques de l'arc parabolique
- différences entre l'arc isostatique et l'arc hyperstatique
- mesure des déformations de l'arc soumis à une charge
- mesure des réactions d'appui au niveau de l'arc hyperstatique soumis à une charge
- calcul des réactions d'appui
- influence de la charge sur les efforts d'appui et la déformation de l'arc
  - charge ponctuelle
  - charge linéaire
  - tablier avec des charges

Les comparateurs à cadran saisissent le fléchissement de l'arc soumis à une charge et le déplacement horizontal du palier libre. Aussi longtemps que le palier libre reste mobile, l'arc est isostatique. Cependant, il est nettement déformé lorsqu'il est soumis à une charge.

Dès que le palier libre devient immobile, l'arc n'est plus isostatique et ne présente plus qu'une légère déformation.

Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégées dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté dans le bâti SE 112.



1 comparateur à cadran, 2 arc, 3 étrier, 4 palier fixe, 5 bâti SE 112, 6 palier libre avec plaque de palier, 7 poids, 8 poulie de renvoi, en rouge: câble; pas représenté: tablier élastique

#### Spécification

- [1] étude d'un arc parabolique, au choix isostatique (1 palier fixe, 1 palier libre) ou hyperstatique (2 paliers fixes)
- [2] chargement de l'arc avec une charge linéaire à l'aide de 7 charges répartis de manière uniforme ou de charges ponctuelles ou d'un tablier suspendu avec des charges
- [3] 2 comparateurs à cadran saisissent la déformation de l'arc soumis à une charge
- [4] poids pour compenser les réactions d'appui d'un palier fixe
- [5] tablier avec 1 jeu d'étriers qu'on peut suspendre dans l'arc; étriers avec longueurs graduées
- [6] système de rangement pour les pièces
- [7] montage expérimental dans le bâti SE 112

#### Caractéristiques techniques

Arc parabolique préformé en acier

- longueur: 1000mm
- hauteur: 280mm
- section: 20x6mm

Tablier de PVC

- poids propre: env. 2,6N
- LxLxh: 900x70x3mm

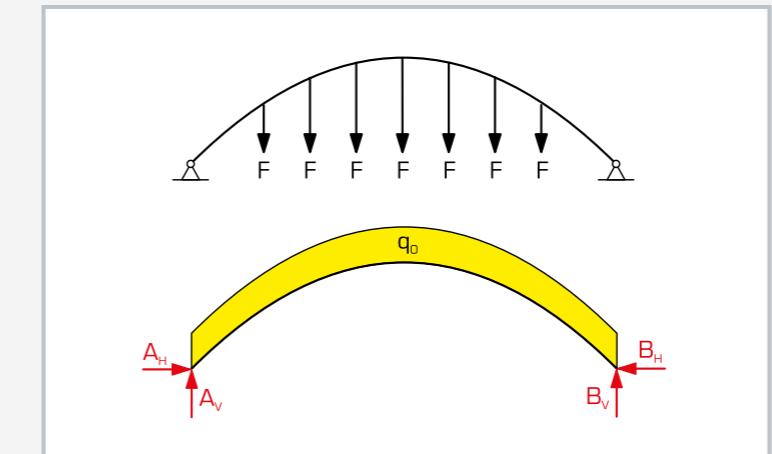
Comparateur à cadran

- plage de mesure: 0...25mm
- graduation: 0,01mm

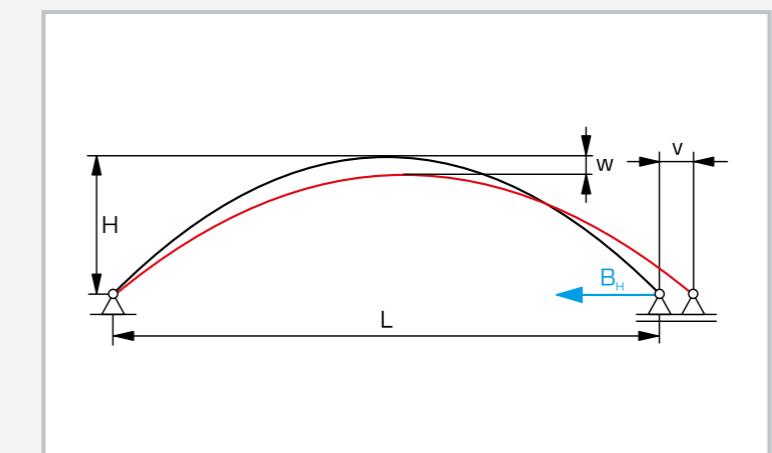
Poids

- 11x 1N (7+4 suspentes)
- 7x 1N (étriers)
- 36x 1N
- 19x 5N

LxLxh: 1170x480x178mm (système de rangement)  
Poids: env. 38kg (total)



Haut: forces au niveau de l'arc parabolique hyperstatique, bas: diagramme du corps libre avec charge linéaire  $q_0$  en jaune (produite à partir des charges ponctuelles  $F$  réparties de manière uniforme) et réactions d'appui  $F_A + F_B$  en rouge



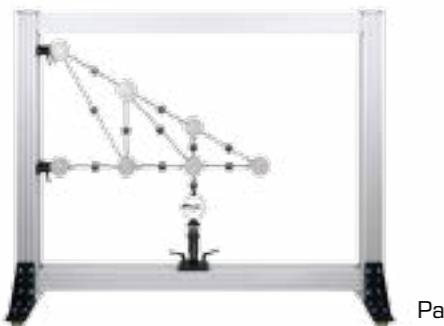
Déformation de l'arc isostatique soumis à une charge linéaire: L longueur, H hauteur, w fléchissement, v déplacement horizontal au niveau du palier libre

#### Liste de livraison

- 1 arc avec 7 étriers + 7 suspentes
- 1 tablier avec des étriers
- 1 jeu de poids
- 2 poulies de renvoi avec fixation
- 1 appui
- 2 comparateurs à cadran
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

## FL152: acquisition et évaluation assistées par ordinateur des signaux des jauge de contrainte

**SE 110.21**  
Forces dans différents treillis plans



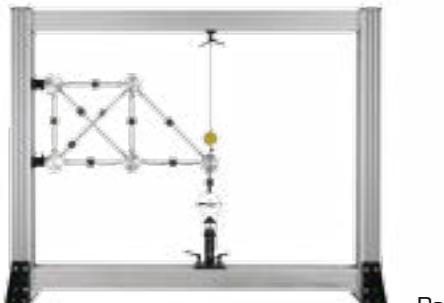
Page 38

**FL 120**  
Analyse des contraintes au niveau d'un diaphragme



Page 130

**SE 110.22**  
Forces dans un treillis hyperstatique



Page 40

**FL 130**  
Analyse des contraintes au niveau d'un réservoir à paroi mince



Page 132

**SE 130**  
Forces dans un treillis type Howe



Page 42

**FL 140**  
Analyse des contraintes au niveau d'un réservoir à paroi épaisse



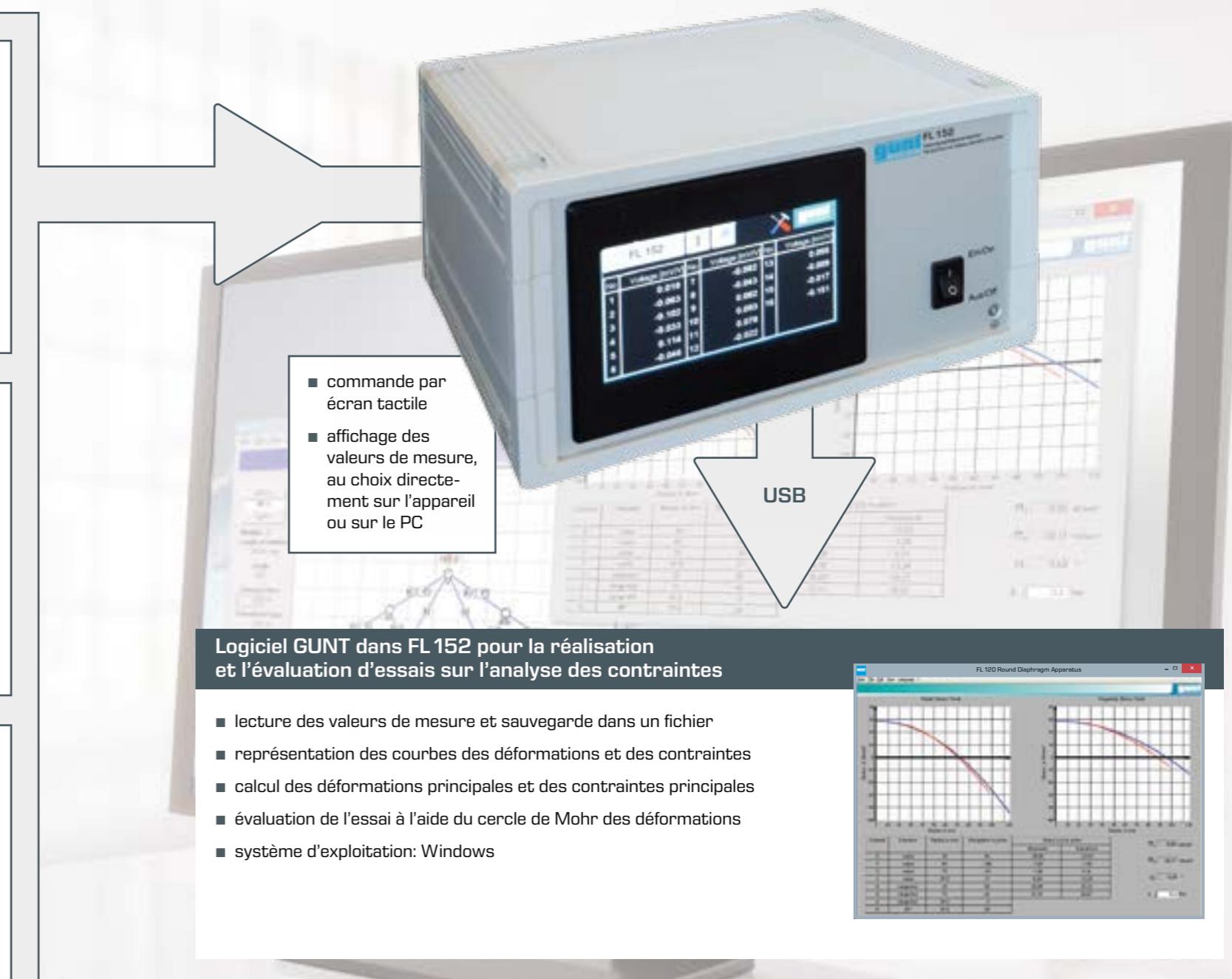
Page 134

L'appareil FL 152 sert à amplifier les signaux de mesure lorsque l'on enregistre des forces ou des contraintes (et donc des déformations) à l'aide de jauge de contrainte sur nos appareils d'essai. Ces signaux sont traités et exploités au sein d'un logiciel GUNT.

L'appareil dispose de 16 voies d'entrée permettant de traiter les signaux de mesure analogiques envoyés par les jauge de contrainte.

Le FL 152 peut soit être utilisé en tant qu'appareil autonome, soit être relié à un PC par l'intermédiaire d'une interface USB.

Ce logiciel GUNT a été conçu pour accompagner de manière didactique l'apprentissage dans le domaine de l'analyse des contraintes et de l'analyse des treillis.



## FL 152

### Amplificateur de mesure multivoie



#### Description

- **16 voies d'entrée pour traiter les signaux de mesure analogiques des jauge de contrainte, raccordement simple via un connecteur d'entrées multiples**
- **logiciel intégré pour l'évaluation des essais d'analyse des contraintes (FL 120, FL 130, FL 140) et des essais de forces dans les treillis (SE 130, SE 110.21, SE 110.22)**

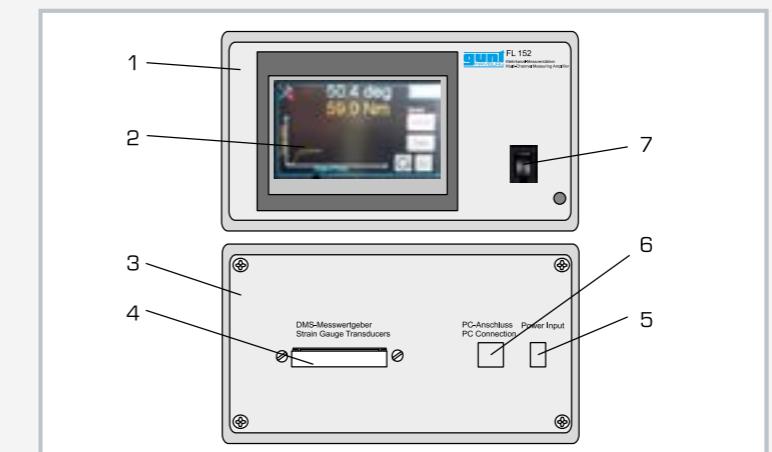
Les contraintes présentes dans les composants sont déterminées dans l'analyse des contraintes expérimentales en mesurant les déformations. Dans l'industrie, les déformations sont souvent enregistrées à l'aide de jauge de contrainte. Les jauge de contrainte ne fournissent que de petits signaux de mesure analogiques, ces signaux doivent être amplifiés par des amplificateurs de mesure. Ils sont ensuite convertis en impulsions numériques et affichés comme valeurs de mesure. Les valeurs de mesure peuvent être évaluées et traitées avec le PC.

#### Contenu didactique/essais

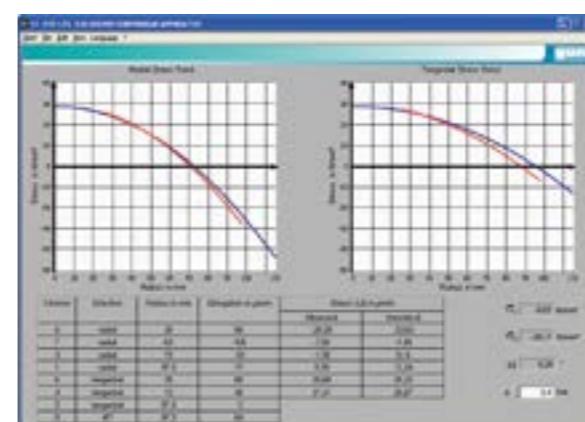
- amplification des signaux à partir des points de mesure pour jauge de contrainte
- traitement des valeurs de mesure sur le PC
- évaluation des essais d'analyse des contraintes concernant: FL 120, FL 130, FL 140
- interprétation des essais de forces dans les treillis concernant: SE 130, SE 110.21, SE 110.22

Le FL 152 est un amplificateur de mesure multivoie qui alimente les circuits à pont pour jauge de contrainte et permet de traiter les signaux de mesure reçus. L'amplificateur de mesure contient 16 voies d'entrée. Les points de mesure pour jauge de contrainte sont raccordés via un connecteur multiple 68 pôles.

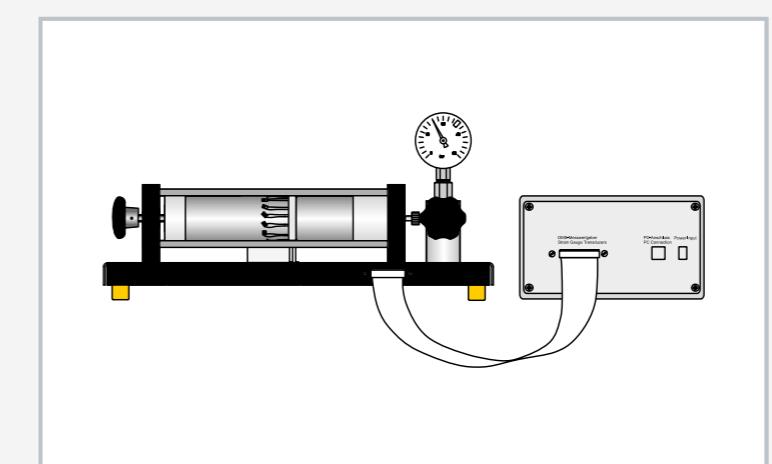
L'utilisation de l'amplificateur de mesure multivoie s'effectue à l'aide d'un écran tactile ou à l'ordinateur à l'aide du logiciel fourni. La liaison au PC est assurée par une connexion USB. Les valeurs de mesure peuvent être lues et enregistrées sur le PC (p. ex. avec MS Excel).



1 vue avant, 2 écran tactile, 3 vue arrière de l'appareil, 4 raccordement des points de mesure pour jauge de contrainte, 5 alimentation électrique, 6 interface USB, 7 commutateur principal



Logiciel d'application pour les analyses des contraintes par exemple avec le FL 120 (analyse des contraintes au niveau d'un diaphragme)



Exemple d'application: FL 152 associé au FL 130 (analyse des contraintes au niveau du réservoir à paroi mince)

#### Spécification

- [1] amplificateur de mesure multivoie servant à traiter les signaux des jauge de contrainte
- [2] raccordement des jauge de contrainte en pont intégral ou en demi- pont
- [3] raccordement des jauge de contrainte via un connecteur d'entrée 68 pôles
- [4] tarage automatique des valeurs de mesure
- [5] traitement des valeurs de mesure directement dans l'amplificateur de mesure ou sur le PC à l'aide du logiciel fourni
- [6] logiciel intégré pour appareils d'essai concernant d'analyse des contraintes (FL 120, FL 130, FL 140) et des essais de forces dans les treillis (SE 130, SE 110.21, SE 110.22)
- [7] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

#### Caractéristiques techniques

##### Amplificateur

- nombre de voies d'entrée: 16

Raccordement des jauge de contrainte en pont intégral ou en demi- pont

- résistance: min. 350 Ohm/jauge de contrainte
- tension d'alimentation des jauge de contrainte:  $\pm 5\text{VCC}$

Tension d'entrée: max.  $\pm 32\text{mV}$

230V, 50Hz, 1 phase  
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option  
LxLxh: 230x200x120mm  
Poids: env. 2kg

#### Nécessaire pour le fonctionnement

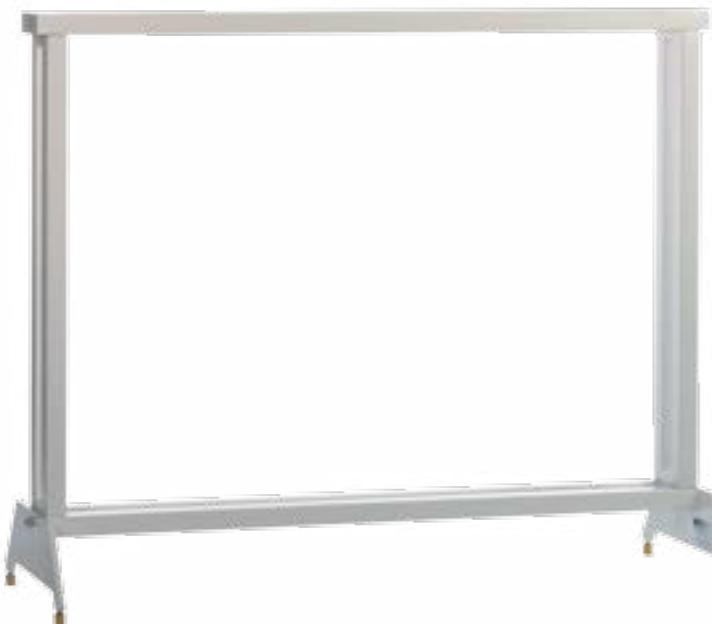
PC avec Windows recommandé

#### Liste de livraison

- 1 amplificateur de mesure multivoie
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 notice

## SE 112

### Bâti de montage



#### Spécification

- [1] bâti de montage pour accueillir les montages expérimentaux relatifs à la statique, la résistance des matériaux et la dynamique
- [2] double bâti stable, profilé en acier, soudé
- [3] fixation précise et facile de toutes les pièces de montage par raccord de serrage sur mesure
- [4] a monter de manière stable sur des tables de laboratoire ou sur des établis
- [5] livraison du bâti en pièces détachées

#### Caractéristiques techniques

Bâti de montage en profilés en acier

- ouverture du bâti lhx: 1250x900mm
- largeur des rainures du profilé: 40mm

Lxlhx: 1400x400x1130mm (monté)  
Lxlhx: 1400x400x200mm (non monté)  
Poids: env. 32kg

#### Liste de livraison

- 1 bâti de montage en pièces détachées
- 1 jeu de vis avec clé pour vis à six pans creux
- 1 mode d'emploi

#### Description

■ **bâti pour les montages expérimentaux relatifs à la statique, la résistance des matériaux et la dynamique**

Le bâti de montage SE 112 permet d'effectuer des montages expérimentaux clairs et simples en rapport avec les domaines de la statique, de la résistance des matériaux et de la dynamique.

## Systèmes de rangement de GUNT aident à organiser leur laboratoire



**TM 115**

Forces dans le bras de grue



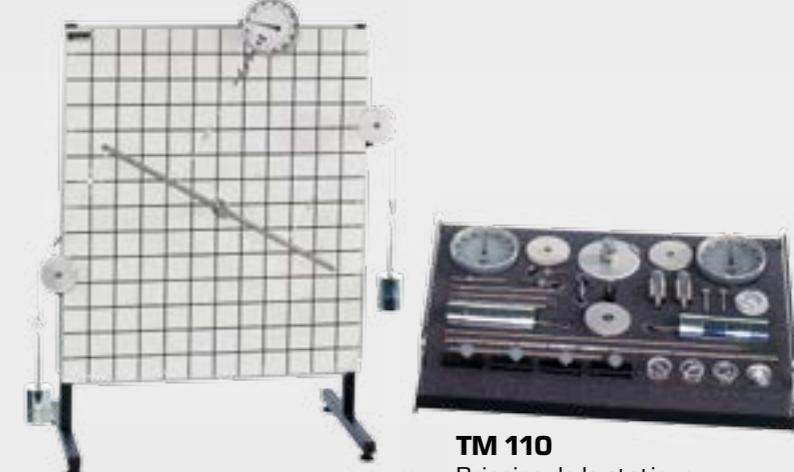
**WP 960**

Poutre sur 2 supports: courbes des efforts tranchants et des moments de flexion



**SE 110.21**

Forces dans différents treillis plans



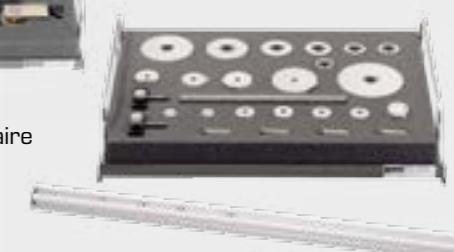
**TM 110**

Principe de la statique



**TM 110.02**

Jeu complémentaire poules



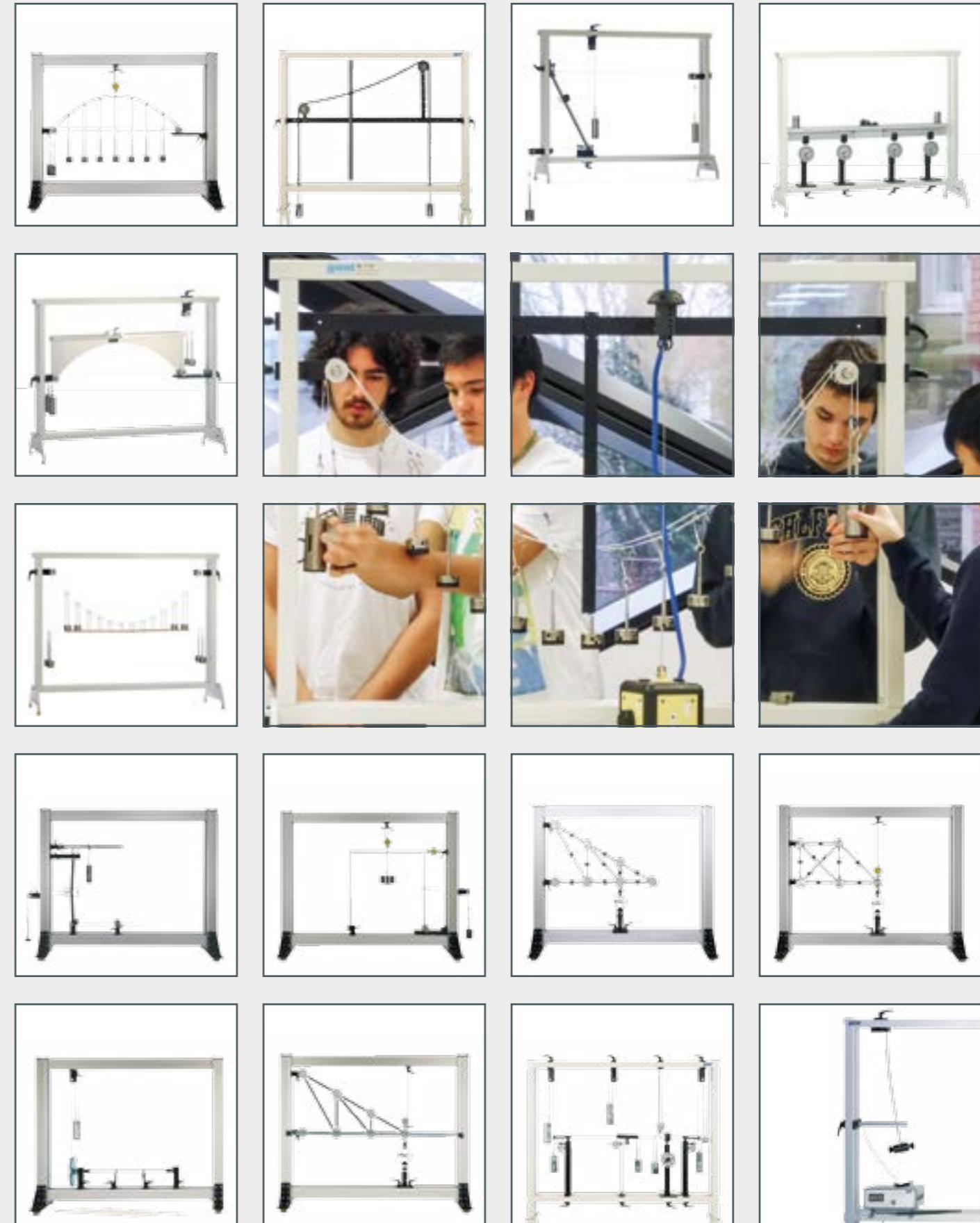
**TM 110.03**

Jeu complémentaire roues dentées

## Cours: mécanique appliquée

GUNT-Structure Line:

# Un cours de mécanique appliquée

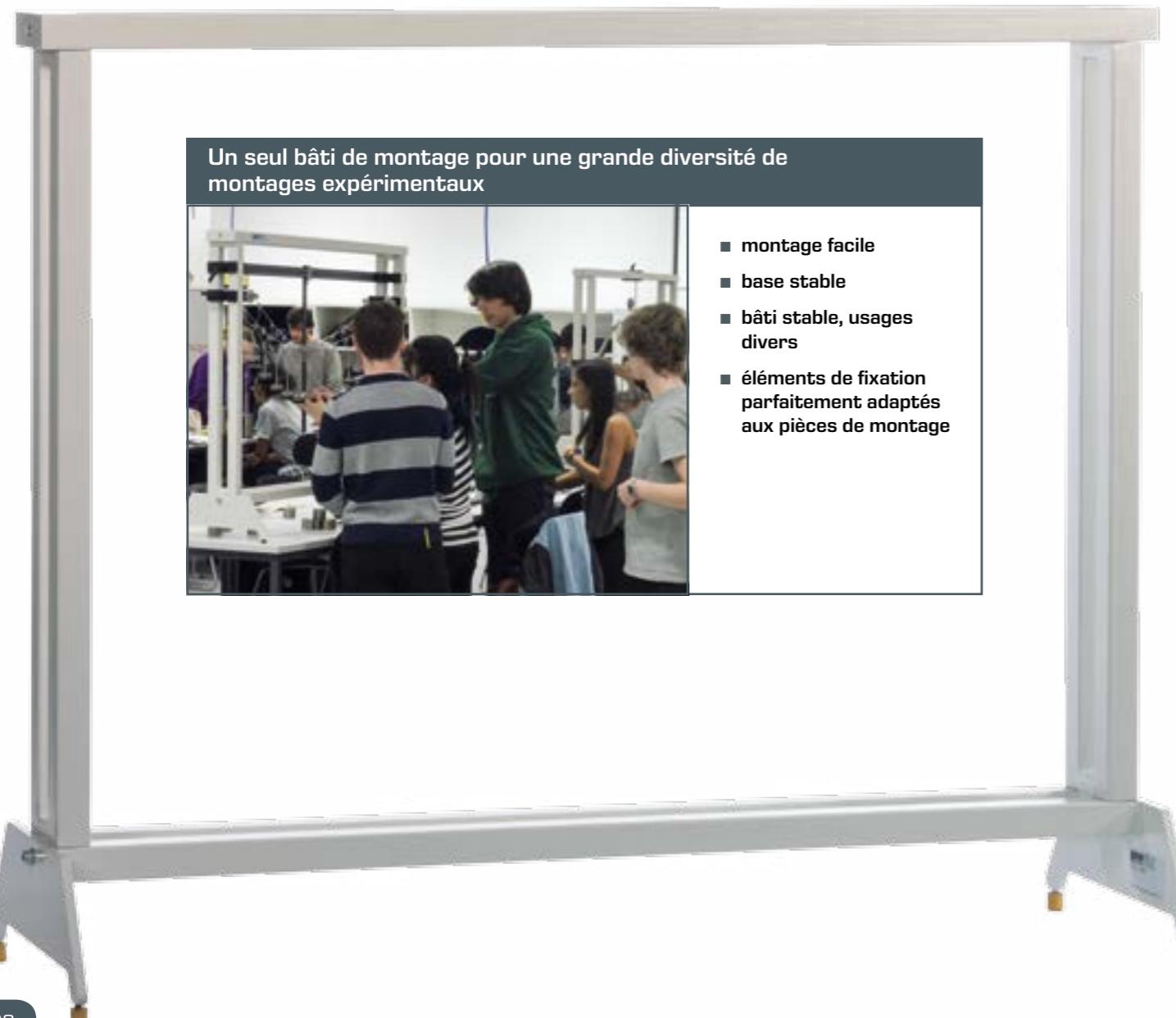


# Cours: mécanique appliquée

Chez GUNT, le terme "Structure" désigne les structures et ouvrages. Le terme "Line" désigne chez GUNT une série d'appareils. La GUNT-Structure Line est une série d'appareils développée spécialement par GUNT pour accompagner, avec des exercices pratiques, l'apprentissage des principes de base de la mécanique.

## La GUNT-Structure Line offre les avantages suivants:

- organisation judicieuse des thématiques des essais
- spectre d'essais étendu: un bâti est combiné avec différentes pièces de montage
- transport facile et stockage compact des pièces de montage grâce à des systèmes de rangement empilables
- réalisation ordonnée des essais grâce au rangement bien conçu des différentes pièces dans des protections en mousse



Un seul bâti de montage pour une grande diversité de montages expérimentaux



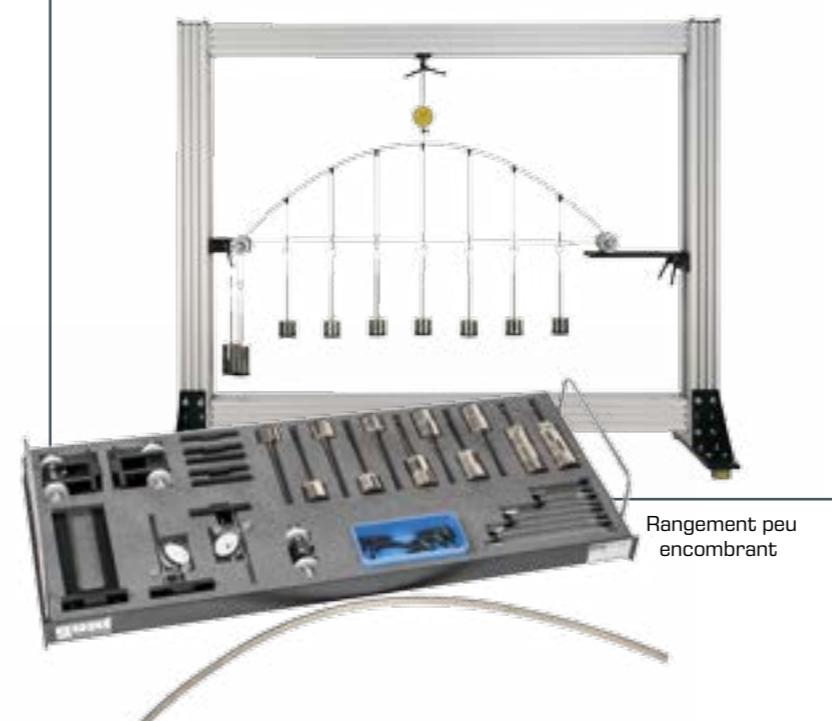
- montage facile
- base stable
- bâti stable, usages divers
- éléments de fixation parfaitement adaptés aux pièces de montage

La série d'appareils offre une grande diversité de possibilités pour se familiariser avec les thématiques classiques des conditions d'équilibre, des forces et déformations ou de la stabilité et du flambement, et permettre une compréhension approfondie de ces sujets.

## Essais de statique

### SE 110.16

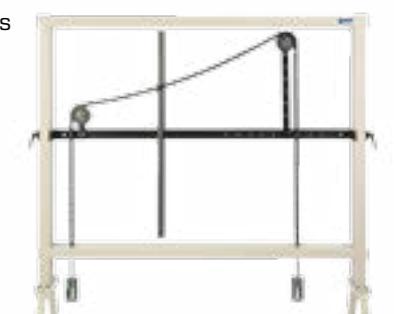
Arc parabolique



Rangement peu encombrant

### SE 110.50

Câble soumis au poids propre



### SE 110.21

Forces dans différents treillis plans



## Essais de résistance des matériaux

### SE 110.44

Déformation d'un treillis



### SE 110.19

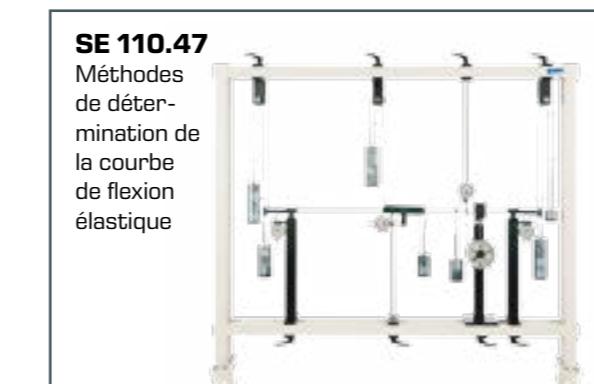
Étude de problèmes de stabilité simples



Rangement peu encombrant

### SE 110.47

Méthodes de détermination de la courbe de flexion élastique



## Concept d'apprentissage de la GUNT-Structure Line

La GUNT-Structure Line permet la construction d'un laboratoire complet sur les principes de base de la mécanique. Elle permet de reproduire et visualiser de manière explicite, par le biais d'expériences en petits groupes, les contenus plutôt abstraits des cours magistraux. Cela facilite de manière durable l'apprentissage, et permet, au-delà des compétences spécialisées, de développer la compétence sociale des membres du groupe.

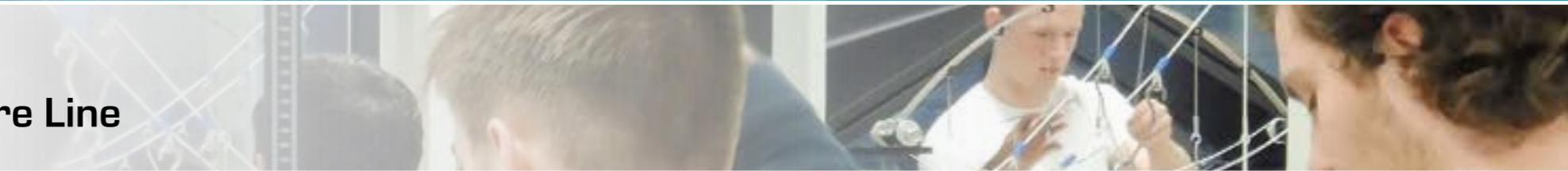


**Les expériences manuelles développent les capacités suivantes:**

- planification des séries d'essais
- construction des essais
- développement de la capacité d'abstraction
- développement du travail manuel et de l'habileté
- développement de l'efficacité du travail en équipe

**En quoi l'expérimentation manuelle développe-t-elle les aptitudes?**

- le dessin de montage abstrait doit être transposé en un montage expérimental réel. Cela requiert de l'imagination, du discernement et de l'habileté. On apprend comment des notions abstraites, telles que le serrage ou l'appui articulé, se matérialisent d'un point de vue technique. Cela permet aussi de bien percevoir les limites de l'idéalisation.
- les notions de stabilité et d'équilibre d'un système sont, par exemple, bien mises en évidence lorsque l'on ajoute les charges à la main.
- la charge des montages expérimentaux est presque exclusivement constituée de poids, ce qui permet aux étudiants de développer une sensibilité pour les masses et les forces.
- la mesure des déformations à l'aide de comparateurs à cadran permet de connaître immédiatement la charge. Cela permet de faire l'expérience du jeu et du frottement qui sont pratiquement toujours présents sur les systèmes réels, ainsi que des hystérésis qui en découlent.



### Montage expérimental mécanique

Le bâti, les pièces de montage et les éléments de liaison sont assemblés pour former un montage expérimental fonctionnel. On expérimente les points d'application des charges, leurs effets sur les structures ou les éléments de construction, ainsi que l'utilisation d'appuis fixes et d'appuis libres.

Cela permet d'avoir une vision concrète et compréhensible du fonctionnement et des processus des systèmes de structure, et de garantir un apprentissage durable par l'expérience.



### Documentation didactique sous format papier



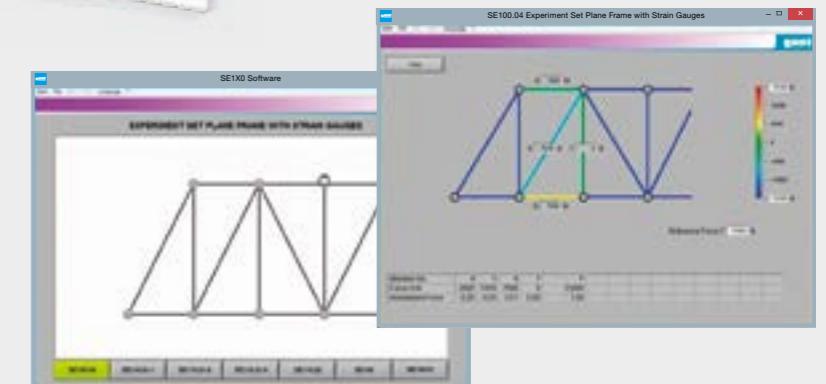
Une partie sur les principes de base avec la théorie correspondante et des instructions d'essai se référant au modèle permettent de préparer l'essai de manière intensive. Des résultats d'essai à titre d'exemple permettent de bien évaluer ses propres résultats.

Notre documentation didactique vous sera très utile dans la préparation de votre cours, la réalisation de l'essai puis son analyse.

### Logiciel GUNT spécifique pour chaque appareil

Le logiciel permet de faire le lien entre le modèle mécanique et la documentation didactique sous format papier.

Le logiciel permet de simuler et configurer des treillis. De même, des valeurs de mesure concrètes permettent d'illustrer le comportement des systèmes de treillis, et les efforts dans la barre sont représentés graphiquement (SE110.21, SE 110.22).



# Contenu de la GUNT-Structure Line

## Un spectre d'essais étendu avec des possibilités très variées

Cette série couvre des thématiques telles que les conditions d'équilibre, les forces et les déformations ou la stabilité et le flambement.

Les appareils d'essai correspondent, en eux-mêmes, à une unité d'apprentissage, mais les contenus didactiques des différents appareils d'une thématique se complètent entre eux de manière judicieuse.

Pour réaliser un montage expérimental complet, on monte les différentes pièces d'un appareil d'essai donné sur le bâti de montage SE 112.

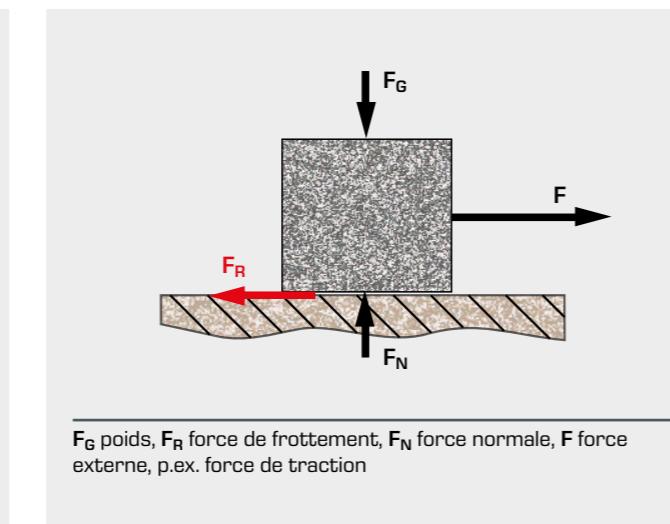
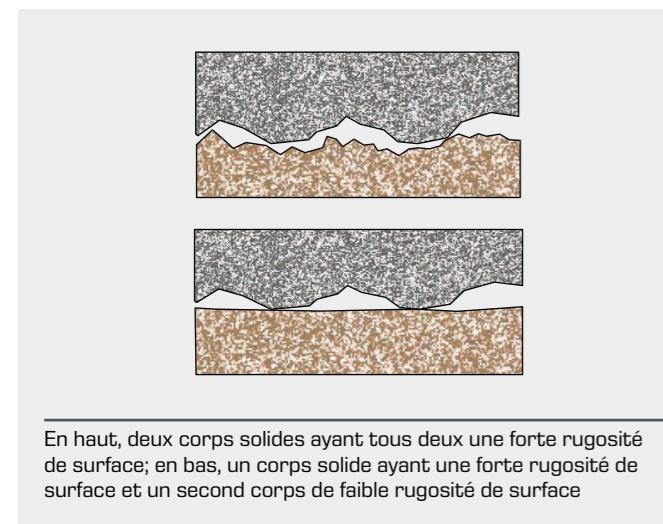


Conditions d'équilibre	Ponts, poutres, arcs	Forces et déformations dans un treillis	Déformations élastiques et permanentes	Stabilité et flambement
<b>SE 110.50</b> <b>Câble soumis au poids propre</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ détermination de la ligne de chaînette d'un câble en suspension libre</li> <li>■ mesure de la flèche</li> <li>■ comparaison des valeurs mesurées avec les valeurs calculées</li> </ul> <b>SE 110.53</b> <b>Équilibre dans un système plan isostatique</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ conceptualisation expérimentale du principe important de la "coupe" en statique</li> <li>■ calcul des réactions d'appui</li> <li>■ application de la 1<sup>re</sup> et de la 2<sup>re</sup> conditions d'équilibre de la statique</li> </ul>	<b>SE 110.12</b> <b>Lignes d'influence au niveau de la poutre cantilever</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ application de la méthode des sections et des conditions d'équilibre de la statique pour le calcul des réactions d'appui</li> <li>■ détermination des réactions internes sous l'effet d'une charge statique</li> </ul> <b>SE 110.16</b> <b>Arc parabolique</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ principes de base mécaniques de l'arc parabolique</li> <li>■ différences entre l'arc statiquement déterminé et l'arc hyperstatique</li> <li>■ influence de la charge sur les réactions d'appui et la déformation d'un arc</li> </ul> <b>SE 110.17</b> <b>Arc à trois articulations</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ étude de l'influence de la charge sur la poussée horizontale dans les appuis</li> <li>■ détermination des lignes d'influence pour les appuis soumis à une charge mobile</li> </ul> <b>SE 110.18</b> <b>Forces au niveau d'un pont suspendu</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ calcul de la force portante du câble</li> <li>■ observation de l'effet des moments internes dans le tablier lorsque la charge est inégale</li> </ul>	<b>SE 110.21</b> <b>Forces dans différents treillis plans</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ dépendance des efforts dans la barre à la force externe</li> <li>■ comparaison des résultats de mesure avec des méthodes de mesure mathématiques: méthode des noeuds, méthode des sections de Ritter</li> </ul> <b>SE 110.22</b> <b>Forces dans un treillis hyperstatique</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ distribution des forces dans un treillis plan en fonction de l'utilisation ou non d'une barre en plus</li> <li>■ dépendance des efforts dans la barre à la force externe</li> </ul> <b>SE 110.44</b> <b>Déformation d'un treillis</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ principe du travail virtuel (calcul), analogie de Mohr (méthode de Mohr concernant le diagramme des moments; approche graphique)</li> <li>■ application du principe de superposition de la mécanique</li> </ul>	<b>SE 110.14</b> <b>Kit d'expérience poutre continue</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ courbe de flexion élastique avec différentes conditions de charge / d'appui</li> <li>■ démonstration de l'équation de Maxwell-Betti</li> </ul> <b>SE 110.47</b> <b>Méthodes de détermination de la courbe de flexion élastique</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ principe du travail virtuel (calcul), analogie de Mohr (méthode de Mohr concernant le diagramme des moments; approche graphique)</li> <li>■ application du principe de superposition de la mécanique</li> </ul> <b>SE 110.20</b> <b>Déformation des bâtis</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ relation entre charge et déformation sur un bâti</li> <li>■ théorie de l'élasticité de 1<sup>er</sup> ordre pour les systèmes statiquement déterminés et les systèmes hyperstatiques</li> </ul> <b>SE 110.29</b> <b>Torsion de barres</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ module de cisaillement et moment d'inertie géométrique polaire</li> <li>■ angle de torsion en fonction de la longueur de serrage / du moment de torsion</li> <li>■ influence de la rigidité de torsion sur la torsion</li> </ul>	<b>SE 110.19</b> <b>Étude de problèmes de stabilité simples</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ détermination de l'effort de flambement</li> <li>■ étude du comportement de flambement sous l'influence d'efforts tranchants supplémentaires ou d'une déformation préalable</li> </ul> <b>SE 110.57</b> <b>Flambement de barres</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ étude du comportement de flambement sous l'influence de différents appuis, serrages, coupes transversales, matériaux ou d'une charge axiale supplémentaire</li> <li>■ vérification de la théorie d'Euler: flambement sur des barres élastiques</li> <li>■ calcul de l'effort de flambement attendu en utilisant la formule d'Euler</li> <li>■ interprétation graphique de la déviation et de la force</li> </ul> <b>Vibrations sur une poutre en flexion</b>
				<b>SE 110.58</b> <b>Kit d'expérience oscillation libre</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ vibration libre sur une poutre en flexion verticale et horizontale</li> <li>■ détermination des fréquences propres selon Rayleigh</li> <li>■ influence de la longueur de serrage et de la masse sur la fréquence propre</li> </ul>

## Connaissances de base

# Adhérence et frottement

Tandis que pour l'étude des corps rigides en statique, on observe des **corps idéalisés** non influencés par les forces de frottement, dans le domaine de l'adhérence et du frottement, on étudie des **corps solides réels**. Le frottement apparaît sur tous les corps fixes qui sont en contact les uns avec les autres, et qui sont déplacés les uns contre les autres. Les forces qui apparaissent sont dues entre autres à la rugosité de surface qui provoque un engrènement des surfaces.



Selon la **loi de Coulomb sur le frottement**, la force de frottement est proportionnelle à la force normale.

Le facteur de proportionnalité  $\mu$  dépend de la paire de matériaux des corps et est appelé coefficient de frottement.

$$F_R = \mu \cdot F_N$$

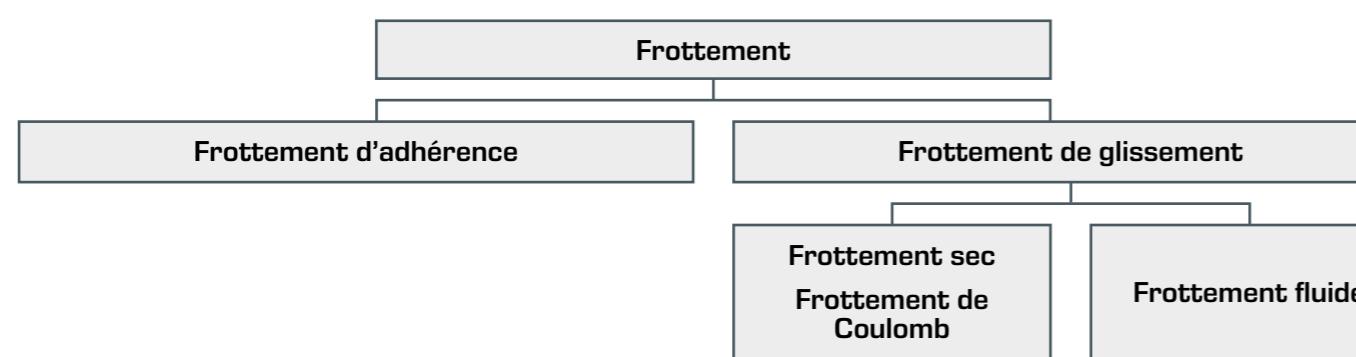
## Valeurs typiques du coefficient de frottement $\mu$

Paire de matériaux	Coefficient de frottement $\mu$
Acier sur acier	0,1 bis 0,4
Acier sur téflon	0,04
Aluminium sur aluminium	1,1 bis 1,7
Bois sur bois	0,3

## Types de frottement

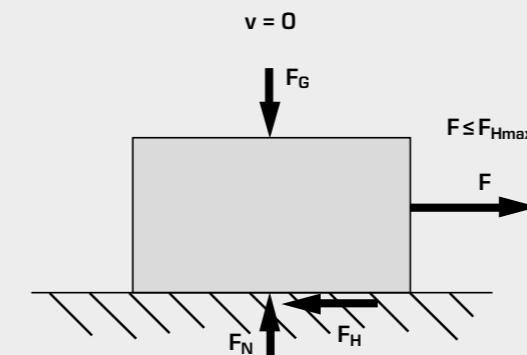
On distingue deux types de frottement: Le **frottement d'adhérence**, pour lequel il n'y a aucun mouvement des corps entre eux, et le **frottement de glissement**, pour lequel les surfaces

se déplacent les unes par rapport aux autres. La rugosité des surfaces est décrite par le coefficient de frottement  $\mu_s$  pour l'adhérence et  $\mu_k$  pour le glissement.



## Frottement d'adhérence

On est en présence d'un **frottement d'adhérence** lorsque des forces s'exercent sur les deux corps mais qu'aucun mouvement relatif ne s'est engagé entre les deux corps. C'est pourquoi on parle également de la force d'adhérence qu'il faut surmonter pour pouvoir déplacer un corps. La force d'adhérence est une force de réaction; sur les systèmes statiquement déterminés, on peut la déterminer à partir des conditions d'équilibre.



Le corps adhère à son support

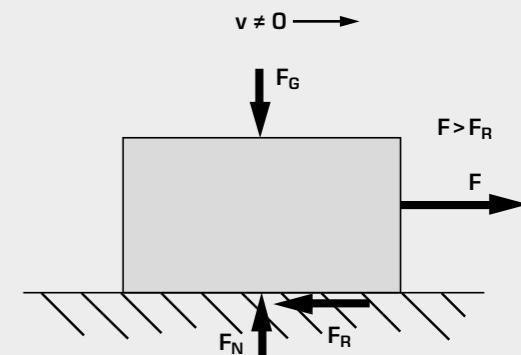
$F_G$  poids,  $F_H$  force d'adhérence,  $F_N$  force normale,  $F$  force externe,  $v$  vitesse

$$F \leq F_{Hmax} \quad F_{Hmax} = \mu_s \cdot F_N$$

$F_{Hmax}$  force d'adhérence maximale,  $\mu_s$  coefficient de frottement d'adhérence,  $F_N$  force normale,  $F$  force externe

## Frottement de glissement

On est en présence d'un **frottement de glissement** lorsqu'un corps se déplace le long d'un autre, et donc se frotte littéralement à lui. Sa valeur est d'autant plus élevée que les surfaces qui glissent l'une sur l'autre sont rugueuses et que la compression de l'une contre l'autre est forte. La force de glissement est une force physique et est proportionnelle à la force normale  $F_N$ .



Le corps glisse sur son support

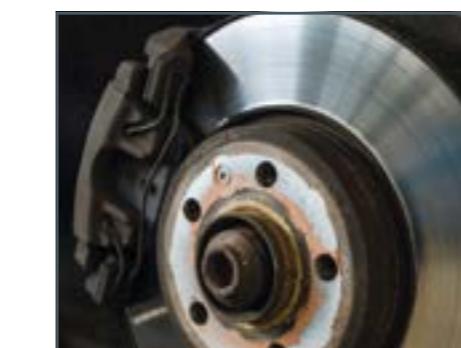
$F_G$  poids,  $F_R$  force de glissement,  $F_N$  force normale,  $F$  force externe,  $v$  vitesse

$$F > F_R \quad F_R = \mu_k \cdot F_N$$

$F_R$  force de glissement,  $\mu_k$  coefficient de frottement de glissement,  $F_N$  force normale,  $F$  force externe

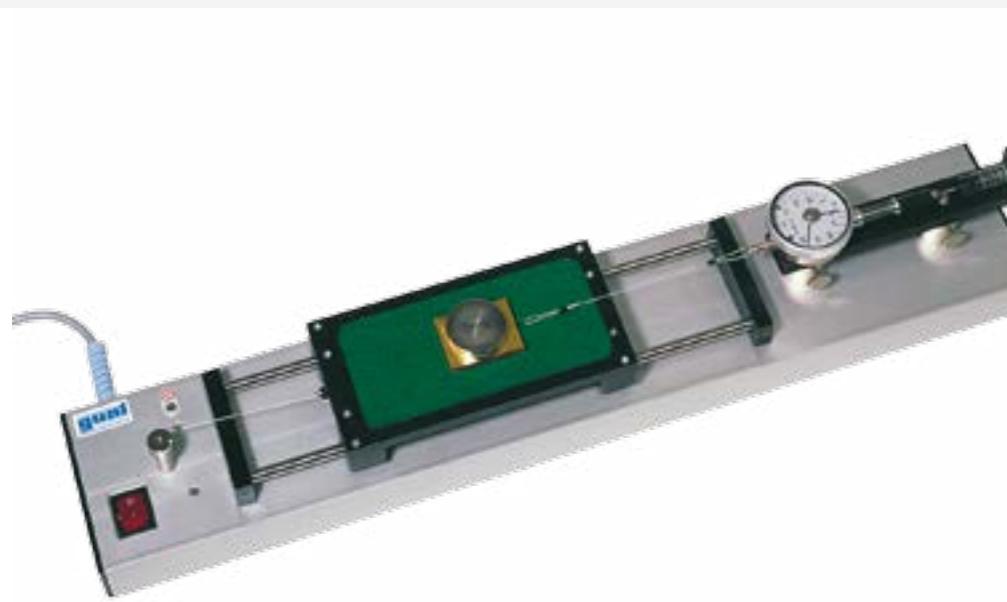
La constante de proportionnalité est appelée coefficient de frottement d'adhérence  $\mu_s$ . Il dépend du matériau et des caractéristiques de surface des différents corps. Un corps commence à glisser dès lors que la force appliquée dépasse la force d'adhérence maximale.

Pour le calcul du frottement, on sait que: le coefficient de frottement de glissement  $\mu_k$  est en règle générale inférieur au coefficient de frottement d'adhérence  $\mu_s$ .



## TM 210

### Frottement entre des corps solides



L'illustration montre un appareil similaire.

#### Description

- principe du frottement mécanique
- corps de frottement fixe, support de frottement déplacé de manière uniforme
- dynamomètre à cadran avec vérin à amortissement pneumatique

Les apparitions de frottement jouent un rôle essentiel en mécanique. Le frottement statique doit suffire à fixer des pièces entre elles, par ex. freins de stationnement, filetage irréversible ou liaisons par friction. Le frottement dynamique doit être le plus petit possible, par ex. pour les paliers, les rails de guidage ou les outils de façonnage. C'est pourquoi, ce thème est traité en détail en mécanique appliquée et des essais clairs permettent d'approfondir la compréhension de ce thème.

L'appareil TM 210 offre un large éventail d'essais en rapport avec le frottement statique et le frottement dynamique entre des corps solides qui sont en contact mutuel et se déplacent les uns par rapport aux autres. Différentes influences sur le frottement peuvent être étudiées, par ex. la nature de la surface et la combinaison de matériaux.

L'amortissement pneumatique est réglable. Lorsqu'il ne fonctionne pas, des effets slip-stick peuvent être observés.

Toutes les pièces sont protégées et disposées de manière pratique dans un système de rangement.

#### Contenu didactique/essais

- différence entre le frottement statique et le frottement dynamique
- forces de frottement en fonction de
  - ▶ la force normale
  - ▶ la vitesse de glissement (vitesse relative des organes de frottement)
  - ▶ de la combinaison de matériaux
  - ▶ de la nature de la surface des organes de frottement
  - ▶ de la taille de la surface de contact
- effet slip-stick (alternance périodique d'adhérence et de glissement)
- détermination des coefficients de frottement

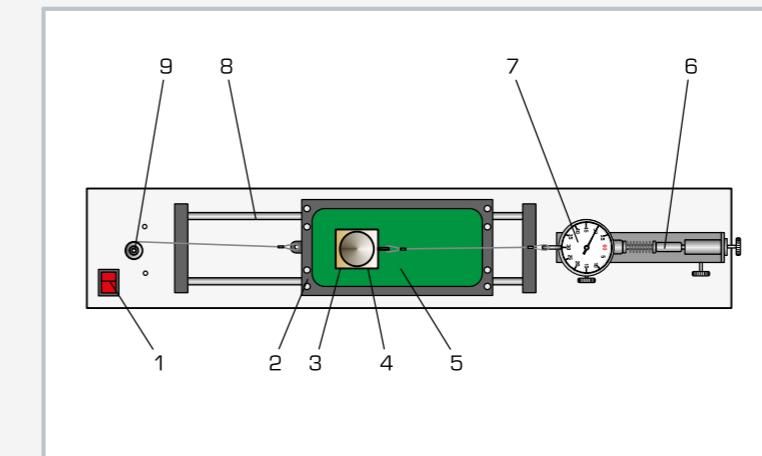
Un support de frottement glisse en dessous du corps de frottement à l'arrêt. Le support de frottement se situe dans un chariot qui est tiré par un moteur avec une vitesse uniforme.

Le corps de frottement est relié à un dispositif de mesure des forces réglable en hauteur. Cela permet de garantir que les lignes d'action de la force de frottement et de la force de traction sont parallèles. Le dispositif de mesure des forces se compose essentiellement d'un dynamomètre à cadran équipé d'un amortisseur pneumatique afin de compenser largement les effets slip-stick et d'afficher une force de frottement moyenne (sans valeurs maximales).

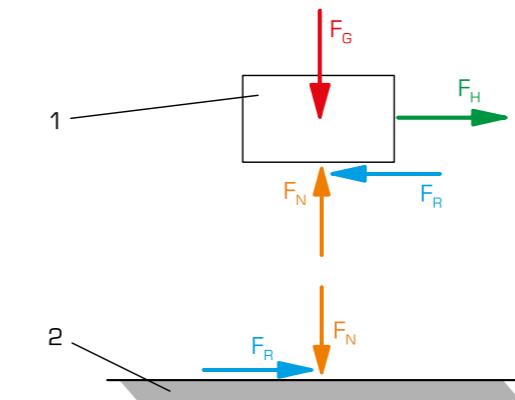
Trois supports de frottement et deux corps de frottement au choix. Il est possible de changer la force normale à l'aide de poids supplémentaires. Les essais peuvent être effectués avec deux vitesses constantes.

L'amortissement pneumatique est réglable. Lorsqu'il ne fonctionne pas, des effets slip-stick peuvent être observés.

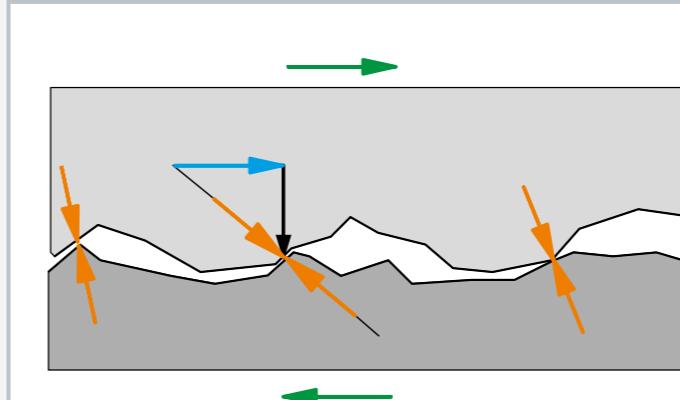
Toutes les pièces sont protégées et disposées de manière pratique dans un système de rangement.



1 interrupteur de réseau, 2 chariot, 3 corps de frottement, 4 poids supplémentaire, 5 support de frottement, 6 vérin à amortissement pneumatique, 7 dynamomètre à cadran, 8 guidage, 9 moteur d' entraînement avec tambour à câbles



Forces créées avec le frottement dynamique: 1 corps de frottement, 2 supports de frottement;  $F_G$ : poids,  $F_H$ : force de traction,  $F_R$ : force de frottement,  $F_N$ : force normale



Surface irrégulière entre 2 corps qui glissent l'un contre l'autre:  
orange: force normale perpendiculaire à la surface de contact des deux corps, bleu: énième partie de la force de frottement, vert: sens de déplacement relatif entre les corps, noir: résultante de force normale et de force de frottement

#### Spécification

- [1] frottement mécanique entre 2 corps solides
- [2] corps de frottement stationnaire, support de frottement dans un chariot mobile
- [3] 2 corps de frottement avec chacun 2 surfaces différentes
- [4] 3 supports de frottement avec au total 4 surfaces différentes
- [5] entraînement du chariot via une poulie à câble et un moteur
- [6] 2 vitesses d' entraînement par un tambour à câbles gradué
- [7] dispositif de mesure des forces: dynamomètre et amortisseur pneumatique réglable
- [8] dispositif de mesure des forces réglable en hauteur
- [9] évolution des lignes d'action de la force de frottement et de la force de traction toujours parallèle
- [10] amortisseur pneumatique réglable - avec amortissement: mesure de l'une des forces de frottement centrales exemptes de défauts, sans amortissement: effets slip-stick mesurables
- [11] système de rangement pour les pièces

#### Caractéristiques techniques

##### Support de frottement

- LxLxh: env. 175x80x6mm
- aluminium
- PVC / feutre
- verre

##### Corps de frottement

- LxL: env. 50x40mm
- force de poids propre: env. 1N
- lisse / rugueux (Al), h=20mm
- laiton / feutre, h=5mm

##### Entraînement

- moteur synchrone
- vitesse de rotation:  $100\text{min}^{-1}$
- vitesses d' entraînement: 23,5cm/min, 47cm/min

##### Dynamomètre à cadran avec amortisseur

- plage de mesure: 0...2N, graduation: 0,05N

##### Poids:

- 230V, 50Hz, 1 phase
- 230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
- UL/CSA en option

LxLxh: 720x480x178mm (système de rangement)

Poids: env. 10kg (système de rangement)

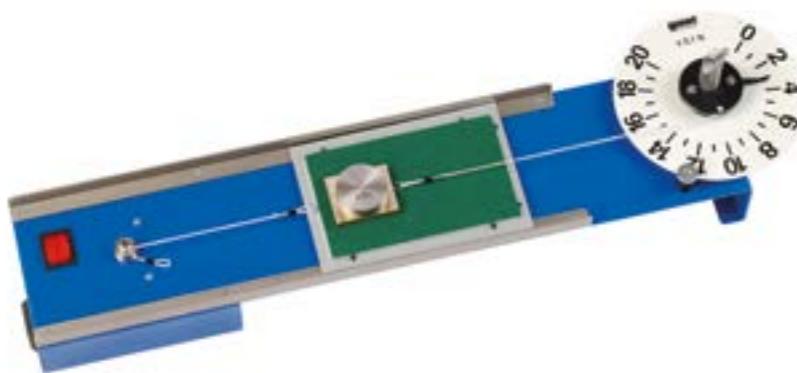
Poids: env. 7kg (appareil d'essai)

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de poids
- 2 corps de frottement
- 3 supports de frottement
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

## TM 200

### Principes du frottement mécanique



#### Description

##### ■ corps de frottement fixe, support de frottement déplacé de manière uniforme

L'appareil permet d'effectuer des essais de base sur le frottement d'adhérence et le frottement de glissement. Deux corps solides sont déplacés l'un par rapport à l'autre de manière uniforme. On mesure les forces de frottement qui apparaissent. Le corps de frottement observé est relié à un dynamomètre à cadran. Il reste au repos.

Le support de frottement est entraîné par un moteur et glisse en dessous du corps de frottement. Deux vitesses de glissement peuvent être sélectionnées. Pour modifier la force normale, on utilise des poids supplémentaires.

Les pièces sont disposées de manière claire, et protégées dans un système de rangement.

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de poids
- 2 corps de frottement
- 2 supports de frottement
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

#### Contenu didactique/essais

- différence entre le frottement d'adhérence et le frottement de glissement
- forces de frottement en fonction de
  - ▶ la force normale, la paire de matériaux, la taille de la surface de contact
  - ▶ la vitesse de glissement (vitesse relative des partenaires de frottement)
  - ▶ les caractéristiques de surface des partenaires de frottement
- déterm. des coefficients de frottement

#### Spécification

- [1] principes du frottement mécanique
- [2] corps de frottement stationnaire, dynamomètre à cadran stationnaire, support de frottement entraîné par moteur
- [3] 2 corps de frottement avec chacun 2 surfaces différentes
- [4] 2 supports de frottement avec au total 3 surfaces différentes
- [5] 2 vitesses d'entraînement du tambour de câbles
- [6] dynamomètre à cadran protégé contre les surcharges, avec cadran parfaitement lisible

#### Caractéristiques techniques

- Supports de frottement  
 ■ Al / feutre, PVC  
 Corps de frottement  
 ■ lisse / rugueux [Al], laiton / feutre  
 Entraînement avec moteur synchrone  
 ■ vitesses d'entraînement: 23,5cm/min; 47cm/min  
 Dynamomètre à cadran  
 ■ plage de mesure: 0...2N; grad.: 0,1N  
 Poids: 8x 0,5N

- 230V, 50Hz, 1 phase  
 230V, 60Hz, 1 phase  
 120V, 60Hz, 1 phase; UL/CSA en option  
 LxLxh: 720x480x178mm (système de rangement)  
 Poids: env. 10kg (système de rangement)  
 Poids: env. 4kg (appareil d'essai)

## TM 225

### Frottement sur un plan incliné



#### Description

##### ■ frottement entre des corps solides sur un plan incliné ■ principes du frottement mécanique

Les essais de frottement sur un plan incliné aident les élèves à comprendre les fondements du frottement mécanique.

Les principaux éléments du TM 225 sont une surface de glissement (le plan incliné) dont l'angle d'inclinaison est réglable et deux corps de frottement. On fait glisser un corps de frottement sur différentes sortes d'adhérence.

Dans un cas, le plan est incliné avec précaution jusqu'à ce que le corps de frottement commence à glisser vers le bas et que la force descendante est plus grande que la force de frottement statique.

Dans le deuxième essai, une charge agite comme force de traction sur le corps de frottement. La charge est augmentée progressivement jusqu'à ce que le corps de frottement commence à glisser avec un mouvement uniforme.

#### Contenu didactique/essais

- détermination des coefficients de frottement de différentes combinaisons de matériaux
- transition adhérence – glissement
- équilibre statique des forces au niveau du plan incliné
- détermination de l'angle d'inclinaison à partir duquel le glissement se produit (calcul et vérification au cours de l'essai)

#### Spécification

- [1] essais relatifs au frottement sur le plan incliné
- [2] plan incliné avec revêtement en plastique, articulation de pivotement avec graduation angulaire et poulie de renvoi montée sur roulement à billes
- [3] angle du plan réglable
- [4] 2 corps de frottement
- [5] jeu de poids gradués

#### Caractéristiques techniques

- Corps de frottement  
 ■ LxLxh: chacun 80x60x44mm  
 ■ force de poids propre: chacune 10N  
 ■ 1x acier / polypropylène  
 ■ 1x aluminium / laiton

- Plan incliné  
 ■ longueur: 1000mm  
 ■ plage angulaire réglable:  $\pm 45^\circ$

#### Poids

- 1x 1N (suspente), 4x 0,1N, 1x 0,5N,  
 4x 1N, 1x 5N

- LxLxh: 1130x300x800mm  
 Poids: env. 35kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de poids
- 2 corps de frottement
- 1 documentation didactique

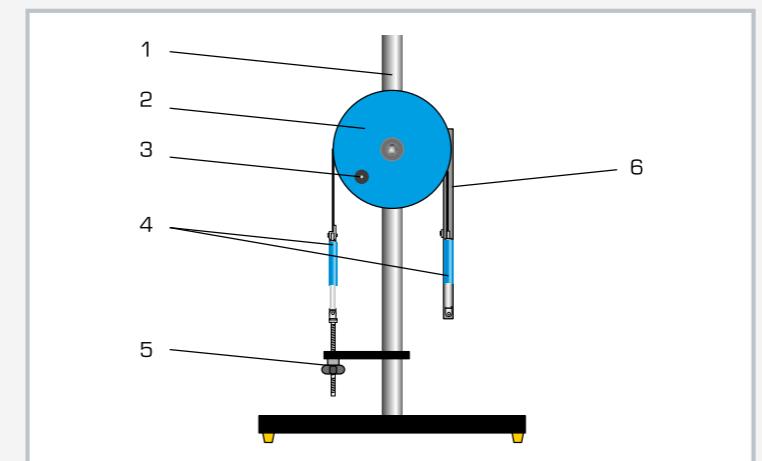
## TM 220

### Entraînement par courroie et frottement de courroie

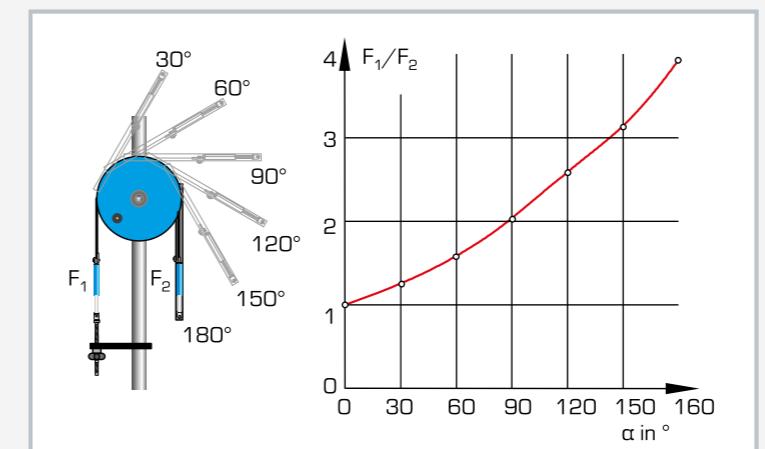


#### Contenu didactique/essais

- influence de l'angle d'enroulement, coefficient de frottement et force de câble (formule d'Eytelwein de frottement d'un câble)
- comparaison courroie plate - courroie trapézoïdale
- conséquences d'une gorge pour courroies trapézoïdales inadaptée



1 colonne de support, 2 poulie de courroies, 3 manivelle, 4 balance à ressort, 5 ajustage de la pré-tension de la courroie, 6 support de courroies pivotable



Ajustage par pas de l'angle d'enroulement de 30° à 180°.  
Le diagramme représente le rapport des forces  $F_1 / F_2$  en fonction de l'angle d'enroulement  $\alpha$ .

#### Description

- fonctionnement d'un entraînement par courroie
- frottement de différentes formes de courroies sur une poulie de courroies en métal

Les entraînements par courroie sont des éléments de machine et appartiennent, parmi les éléments de transmission et de transformation, à la catégorie des entraînements par traction. Leur rôle est de transmettre le couple et la vitesse de rotation entre des organes de direction tels que les roues ou les poulies. La transmission du mouvement s'effectue par l'intermédiaire de mécanismes de traction qui ne peuvent absorber que les forces de traction. Les courroies dentées et les chaînes transmettent les mouvements de manière mécanique.

Les mécanismes de traction tels que câbles, courroies plates et courroies

trapézoïdales, permettent au contraire une transmission par adhérence.

La transmission de la force périphérique entre la courroie et la poulie se fait au niveau d'un entraînement par courroie, selon le principe du frottement de câble. Le frottement de câble est dû à des forces de frottement d'adhérence tangentielles aux endroits où le câble est en contact avec la roue ou la poulie. Pour calculer le frottement de câble ou de courroie, on utilise la formule d'Eytelwein (frottement d'un câble).

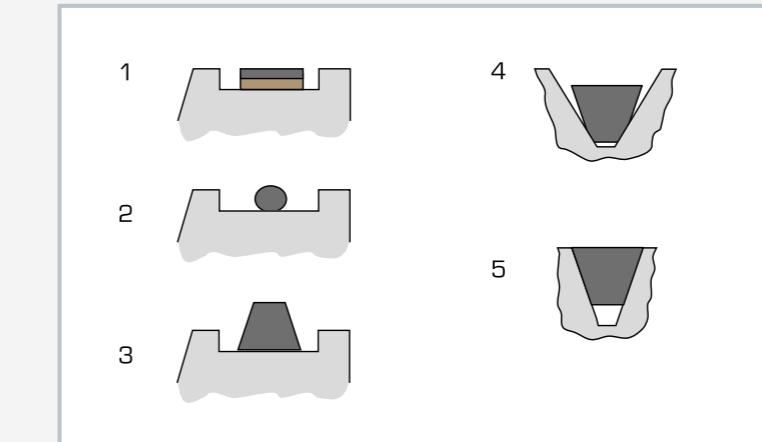
L'appareil d'essai TM 220 permet l'étude expérimentale des entraînements par courroie et du frottement de courroie. L'élément central de l'appareil est une poulie en fonte dont la périphérie présente des gorges pour courroies trapézoïdales et courroies plates.

La poulie est montée sur un roulement à

billes, et entraînée par une manivelle. Sa masse d'inertie favorise la régularité de la rotation. Les courroies frottent sur la poulie avec un angle d'enroulement compris entre 30° et 180°. L'angle d'enroulement peut être réglé par pas de 15°.

Deux balances à ressort mesurent les forces de traction aux extrémités des courroies. La pré-tension des courroies peut être ajustée avec précision à l'aide d'une tige filetée. Deux courroies plates constituées de matériaux différents, une courroie trapézoïdale et un câble sont compris dans la liste de livraison. Lors des essais, différentes formes et différents matériaux de courroie sont comparés, et l'influence de l'angle d'enroulement est étudiée.

Il est possible par ailleurs, sur la courroie trapézoïdale, d'étudier l'influence de la forme de la gorge sur le coefficient de frottement.



Comparaison de différentes formes de courroies:  
1 courroie plate, 2 câble, 3 courroie trapézoïdale, 4 position défavorable de la courroie dans la gorge, 5 position optimale de la courroie dans la gorge

#### Spécification

- [1] fonctionnement d'un entraînement par courroie
- [2] frottement de courroie et comparaison de différents matériaux et formes de courroies
- [3] poulie de courroies sur roulement à billes avec 3 gorges pour courroies différentes
- [4] 2 courroies plates en matériaux différents, une courroie trapézoïdale et 1 câble
- [5] angle d'enroulement des courroies 30° ... 180°, graduation 15°
- [6] mesure de la force avec 2 balances à ressort

#### Caractéristiques techniques

##### Courroies plates

- 1x cuir/polyamide, 15x2,2mm, Extremultus LT10
- 1x polyamide, 15x0,6mm, Extremultus TT2

##### Courroie trapézoïdale

- ISO 4184
- profil: SPZ
- 9,7x8,0mm, caoutchouc/tissu

##### Câble

- chanvre, Ø=3mm

##### Poulie de courroies

- Ø=300mm
- matériau: fonte grise

Dynamomètre: 100N ±1N

LxLxH: 700x350x1100mm

Poids: env. 47kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 2 courroies plates
- 1 câble
- 1 courroie trapézoïdale
- 2 dynamomètres
- 1 documentation didactique

# Mécanique appliquée – résistance des matériaux



## Introduction

**Aperçu**  
Résistance des matériaux

078

## Déformations élastiques

<b>Connaissances de base</b>	080
Déformations élastiques	
<b>SE 110.14</b>	082
Courbe de flexion élastique d'une poutre	
<b>WP 950</b>	084
Déformation de poutres droites	
<b>SE 110.47</b>	086
Méthodes de détermination de la courbe de flexion élastique	
<b>SE 110.29</b>	088
Torsion de barres	
<b>WP 100</b>	090
Déformation de barres soumises à une flexion ou à une torsion	
<b>SE 110.20</b>	092
Déformation des bâtis	
<b>FL 170</b>	094
Déformation des poutres à axe courbe	
<b>SE 110.44</b>	096
Déformation d'un treillis	
<b>TM 262</b>	098
Pression de Hertz	
<b>TM 400</b>	100
Loi de Hooke	

## Accessoires

<b>SE 112</b>	101
Bâti de montage	

## Flambement et stabilité

<b>Connaissances de base</b>	102
Problème de stabilité: le flambement	
<b>SE 110.19</b>	104
Étude de problèmes de stabilité simples	
<b>SE 110.57</b>	106
Flambement de barres	
<b>WP 121</b>	108
Démonstration des cas de flambement d'Eulér	
<b>WP 120</b>	110
Flambement de barres	
<b>Aperçu</b>	112
Accessoires pour WP 120	

## Sollicitations combinées

<b>FL 160</b>	114
Flexion gauche	
<b>WP 130</b>	116
Démonstration des hypothèses des contraintes	

## Analyse de contraintes expérimentelle

<b>Aperçu</b> Analyse de contraintes expérimentelle: jauge de contrainte et photoélasticité	118
<b>FL 101</b>	120
Kit d'application pour jauge de contrainte	
<b>FL 100</b>	122
Système didactique pour jauge de contrainte	
<b>FL 102</b>	124
Détermination du facteur k par les jauge de contrainte	
<b>Aperçu</b> FL 152: acquisition et évaluation assistées par ordinateur des signaux des jauge de contrainte	126
<b>FL 152</b>	128
Amplificateur de mesure multivoie	
<b>FL 120</b>	130
Analyse des contraintes au niveau d'un diaphragme	
<b>FL 130</b>	132
Analyse des contraintes au niveau d'un réservoir à paroi mince	
<b>FL 140</b>	134
Analyse des contraintes au niveau d'un réservoir à paroi épaisse	
<b>FL 200</b>	136
Essais photoélastiques à l'aide d'un polariscope par transmission	
<b>FL 210</b>	138
Démonstration photoélastique	
<b>Aperçu</b> FL 200 et FL 210: représentation des courbes des contraintes dans des modèles d'éléments de construction	140

# Résistance des matériaux

La résistance des matériaux suppose la maîtrise du principe de la statique. En statique, l'idéalisat ion d'un corps réel en corps rigide permet de déterminer les forces externes et internes s'exerçant sur les structures porteuses uniquement à l'aide des conditions d'équilibre. Dans la pratique ultérieure du travail d'ingénieur, pour pouvoir calculer et prévoir avec exactitude le comportement mécanique d'un composant, c'est-à-dire sa solidité, sa rigidité, sa stabilité, sa résistance à la fatigue et sa déformabilité, les conditions d'équilibre ne suffisent pas. Des

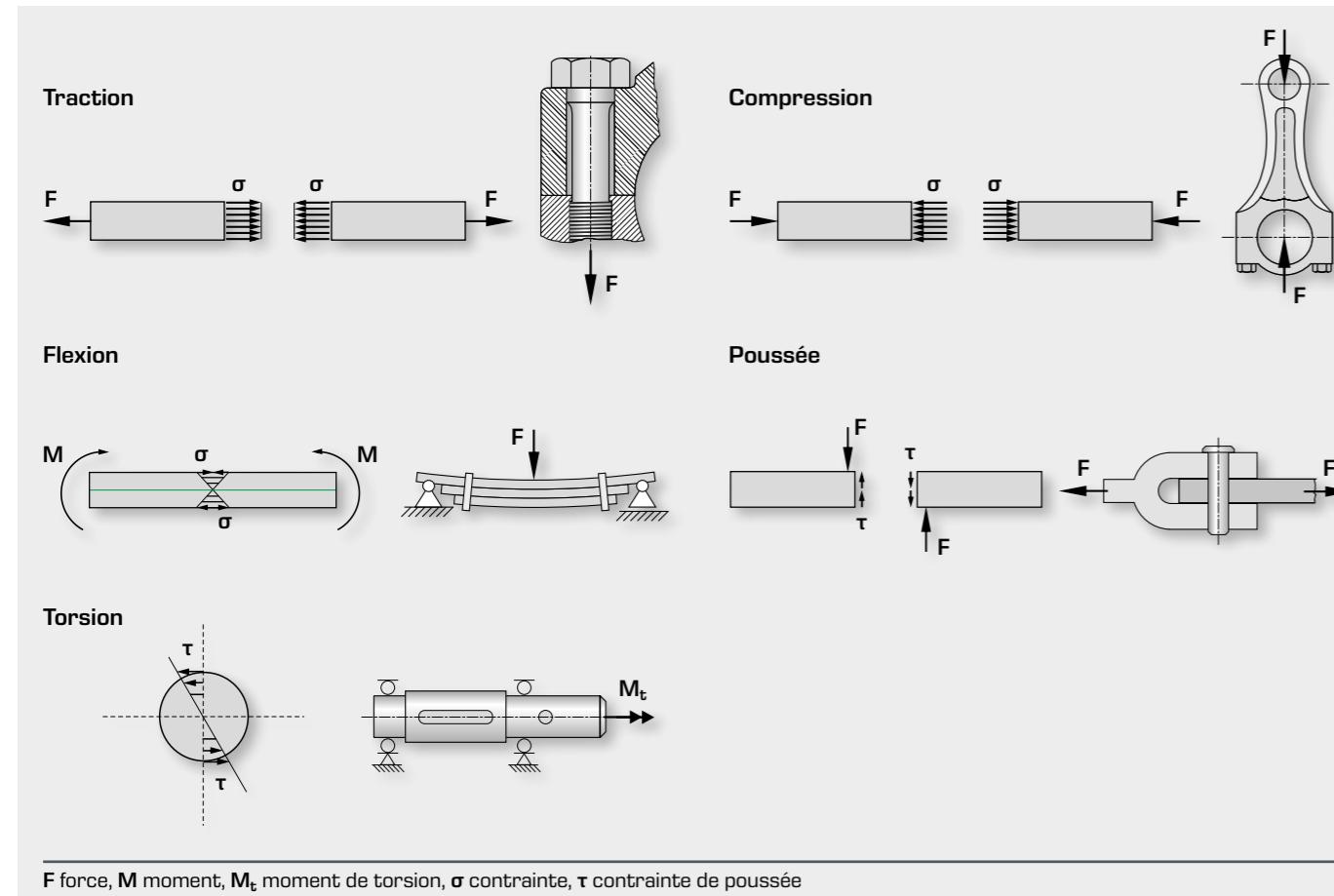
connaissances sur la déformabilité des corps matériels sont alors requises, indépendamment du matériau.

La résistance des matériaux étudie les effets des forces sur les corps déformables. Des paramètres dépendant des matériaux sont également observés. L'introduction à la résistance des matériaux clarifie donc les notions de contrainte et de déformation, et enseigne la loi de Hooke, qui sera ensuite appliquée aux problèmes de traction, de compression, de torsion et de flexion.

## Termes fondamentaux de la résistance des matériaux

### Types de sollicitations

Les composants peuvent être soumis à différents types de sollicitations: sollicitations de traction, de compression, de poussée et de cisaillement, de torsion, de flambement et sollicitation composée.



### Contraintes mécaniques

Aussitôt que des charges, des moments ou des forces s'exercent de l'extérieur sur un composant, des flux de forces apparaissent à l'intérieur de ce dernier. La répartition de ces différentes

charges est qualifiée de contrainte mécanique. La contrainte mécanique est par conséquent une force qui se rapporte à la surface. On distingue alors deux cas:

Action de la force perpendiculaire à la surface de coupe, contrainte normale  $\sigma$

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Action de la force parallèle à la surface de coupe, contrainte de cisaillement  $\tau$

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$F$  force,  $A$  surface de coupe,  $\sigma$  contrainte,  $\tau$  contrainte de cisaillement

### Déformation élastique, loi d'élasticité

Sous l'action de forces, les pièces de machine et les composants se déforment de manière élastique. Tant que la charge est insuffisante, la déformation reste exclusivement élastique. La loi

d'élasticité décrit la déformation élastique des corps solides lorsque cette déformation est proportionnelle à la force exercée.

### Méthodes énergétiques

Dans les méthodes énergétiques, les considérations géométriques jouent un rôle secondaire. Au lieu des conditions d'équilibre utilisées jusqu'alors, on détermine ici le travail généré par les forces externes lors de la déformation d'un système, la forme de cette énergie et l'endroit où ce travail est stocké.

Les méthodes énergétiques en résistance des matériaux reposent sur l'équation de conservation de l'énergie, et utilisent le principe selon lequel toute énergie transférée depuis l'extérieur à un corps ou à un système est transformée en énergie interne sous la forme par exemple d'une déformation, d'une modification de la vitesse ou de chaleur.

Pour le calcul général de systèmes et l'étude de stabilité de structures élastiques, on utilise différentes méthodes énergétiques: p.ex. le principe des déplacements virtuels; le principe des forces virtuelles, les théorèmes de Maxwell-Betti ou le théorème de Castigliano.

Le point de départ de toutes les méthodes énergétiques est le **principe du travail virtuel**. Ce dernier exprime une condition d'équilibre; il est formulé de la façon suivante: Lorsqu'un système mécanique est soumis à l'action de forces externes et internes en équilibre, la somme de tout le travail virtuel généré par des forces externes et internes et n'importe quels déplacements virtuels est égale à zéro.

### Principe du travail virtuel

$$\delta W = F \cdot \delta x = 0; \delta W = M \cdot \delta \varphi = 0$$

$$\delta W = \sum \delta W = \sum F \cdot \delta x = 0$$

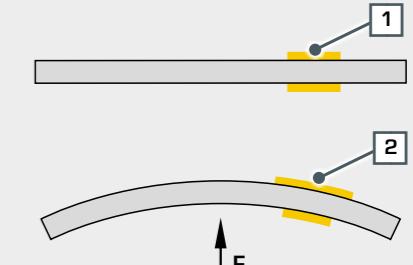
$$\delta W = \sum \delta W = \sum M \cdot \delta \varphi = 0$$

$\delta W$  travail virtuel,  
 $\delta x$  déplacement virtuel,  
 $\delta \varphi$  angle de torsion virtuel,  
 $M$  moment,  $F$  force

### Analyse expérimentale des contraintes pour la démonstration des contraintes

#### Jauge de contrainte

L'analyse expérimentale des contraintes se sert de la contrainte mécanique présente dans un composant soumis à une charge pour étudier la sollicitation du matériau. Une méthode de détermination expérimentale de la contrainte mécanique se base sur la relation entre la contrainte et la déformation qui dépend d'elle. Cette déformation, ou allongement, se produit également à la surface des composants, ce qui permet de la mesurer. Le principe de la mesure de la déformation est une branche importante de l'analyse des contraintes.

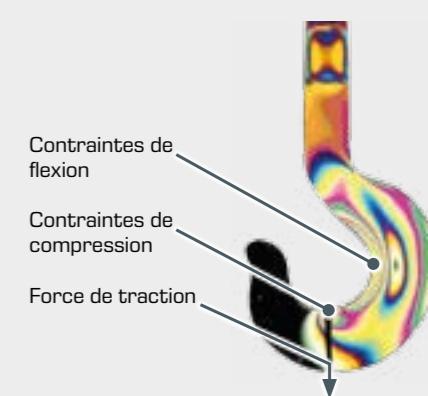


$F$  force, 1 jauge de contrainte avec composant non soumis à une charge, 2 jauge de contrainte avec composant soumis à une charge

#### Photoélasticimétrie (polariscope de lumière transmise)

La photoélasticimétrie est une méthode optique de détermination expérimentale de la répartition des contraintes dans des corps de remplacement transparents et en général plats. La photoélasticimétrie offre une image complète du champ de contraintes. Elle permet ainsi de visualiser de manière claire les zones ayant une concentration de contraintes élevée avec la déformation qui en résulte, ainsi que les zones où les contraintes sont plus faibles.

La photoélasticimétrie est une méthode éprouvée de vérification d'observations de contraintes réalisées de manière analytique et numérique (p.ex.: MEF). Elle est utilisée aussi bien pour effectuer des mesures quantitatives, que pour démontrer des états de contrainte complexes.



## Connaissances de base

## Déformations élastiques

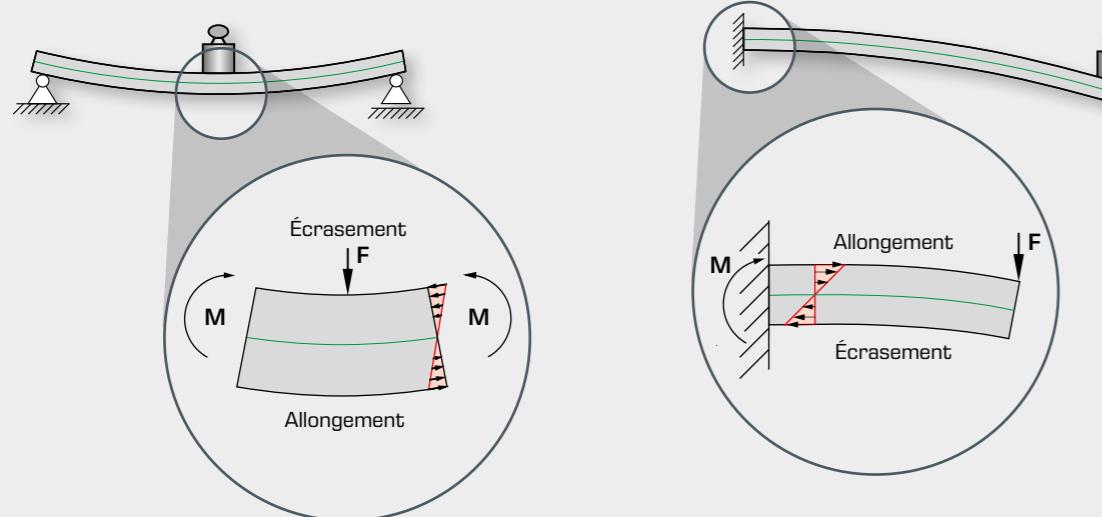
L'application de forces externes sollicite les composants de différentes manières. La sollicitation provoque l'apparition de contraintes dans les composants. La grille du matériau est déformée (p.ex. comprimée, étendue, etc.) sous l'action des forces. Cette sollicitation entraîne des déformations du volume

ou de la forme. Au contraire de la déformation plastique, la déformation élastique implique le retour de tous les atomes à leur état d'origine une fois que les forces n'agissent plus. Différentes sollicitations entraînent des déformations typiques des composants.

## Déformation des poutres

Le fléchissement et la force portante des poutres ont une grande importance dans la pratique, dans la construction de bâtiments, de ponts, de machines ou de véhicules. Le fléchisse-

ment dépend des dimensions, des caractéristiques du matériau et avant tout du type d'appui des poutres à leurs extrémités.

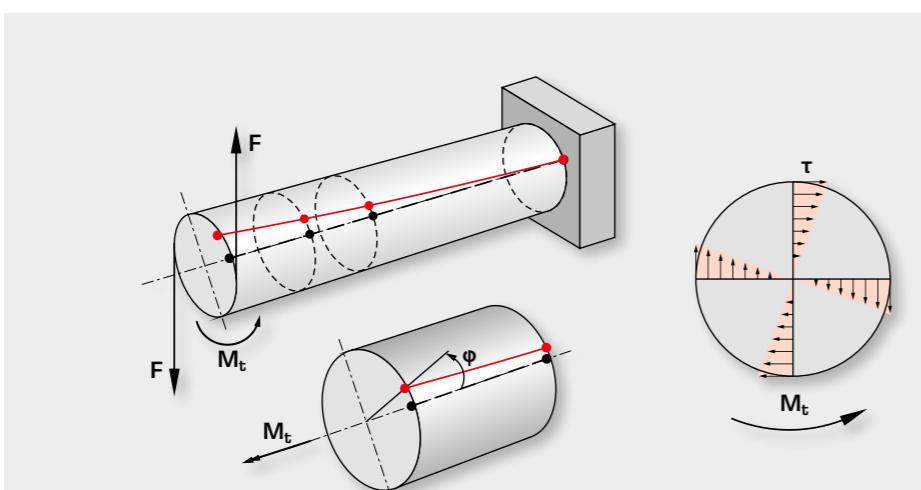


Une sollicitation en traction entraîne un allongement des fibres de bordure; une sollicitation en compression entraîne un écrasement des fibres de bordure; la fibre neutre (en vert) passe par le centre géométrique et n'est ni allongée, ni écrasée.

M moment, F force

## Déformation de barres suite à un moment de torsion

En cas de sollicitation par un moment de torsion, les barres se tordent autour de leur axe. La déformation de torsion est aussi décrite par son angle de torsion  $\phi$ . Selon la loi de Hooke, l'angle de torsion  $\phi$  est proportionnel au moment de torsion extérieur.



La sollicitation en torsion entraîne une déformation de la barre.

$M_t$  moment de torsion, F force,  $\phi$  angle de torsion,  $\tau$  contrainte de cisaillement

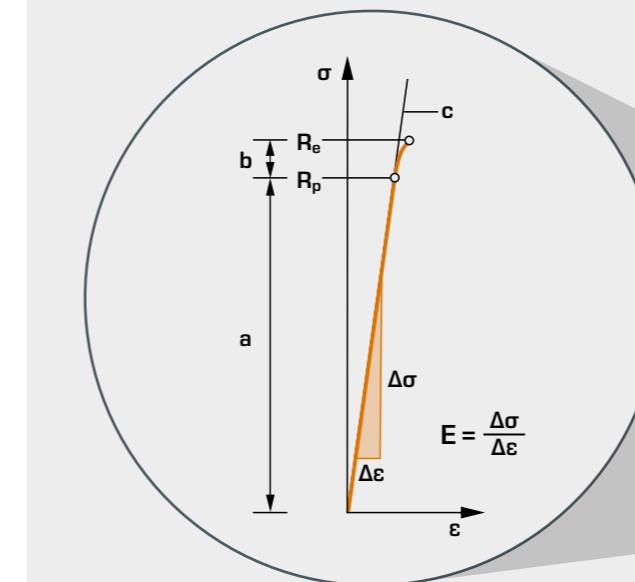
## Détermination du comportement élastique

Il existe une proportionnalité directe entre la force exercée et la déformation. Pour déterminer l'allongement ou la déformation élastique, on a donc besoin, en plus de la contrainte, de la valeur caractéristique du matériau. Cette valeur caractéristique du matériau, appelée aussi module d'élasticité, décrit le rapport entre contrainte et allongement lors de la déformation d'un corps solide ayant un comportement élastique linéaire. Il est possible de calculer le module d'élasticité à partir des valeurs

de mesure de l'essai de traction ou de le déterminer graphiquement à partir du diagramme contrainte-déformation (cf. chapitre 6, essai des matériaux).

En résistance des matériaux, on considère la zone élastique linéaire, étant donné que la déformation du matériau dans cette zone est réversible. Pour le dimensionnement de structures porteuses ou d'ouvrages, il est recommandé de ne pas dépasser la zone élastique linéaire.

## Zone élastique du diagramme contrainte-déformation



La zone élastique est composée d'une partie élastique linéaire **a** dans laquelle l'allongement est proportionnel à la contrainte et est réversible, et d'une partie élastique non linéaire **b** dans laquelle l'allongement **n'est pas** proportionnel à la contrainte mais est néanmoins réversible. Dans la partie plastique, l'allongement n'est pas réversible et la déformation reste, même lorsqu'il n'y a plus de charge exercée.

$\sigma$  contrainte,  $\epsilon$  allongement,  $E$  module d'élasticité,  $R_p$  limite de proportionnalité,  $R_e$  limite d'élasticité,  $R_m$  résistance à la traction, **1** zone élastique, **2** zone plastique, **3** striction jusqu'à la rupture, **a** partie élastique linéaire, **b** partie élastique non linéaire, **c** droite de Hooke

Le calcul des déformations sous l'effet d'une charge est décrit par la loi d'élasticité de Hooke

$$\sigma = E \cdot \epsilon = \frac{F}{A}$$

$\sigma$  contrainte,  $E$  module d'élasticité,  $\epsilon$  allongement,  $F$  force,  $A$  surface

## Module d'élasticité de différents matériaux

Matériau	$E$ in $N/mm^2$
Acier	$2,1 \cdot 10^5$
Aluminium	$0,7 \cdot 10^5$
Béton	$0,3 \cdot 10^5$
Bois dans le sens de la fibre	$0,7 \dots 1,6 \cdot 10^4$
Fonte de fer	$1,0 \cdot 10^5$
Cuivre	$1,2 \cdot 10^5$
Laiton	$1,0 \cdot 10^5$

## SE 110.14

### Courbe de flexion élastique d'une poutre



L'illustration montre le SE 110.14 dans le bâti SE 112.

#### Description

##### ■ poutre en différents matériaux: acier, laiton et aluminium

Les poutres sont des éléments de construction importants des machines et des bâtiments, susceptibles de se déformer lorsqu'elles sont soumises à une charge. Sur les poutres, la charge est appliquée dans la direction perpendiculaire à l'axe et entraîne leur fléchissement. Pour déterminer le fléchissement de poutres dans la zone où le comportement du matériau est élastique linéaire, on utilise la courbe de flexion élastique également appelée ligne élastique. En utilisant les coefficients d'influence et la loi de transposition de Maxwell-Betti, on peut calculer le fléchissement de la poutre à n'importe quel endroit de la poutre.

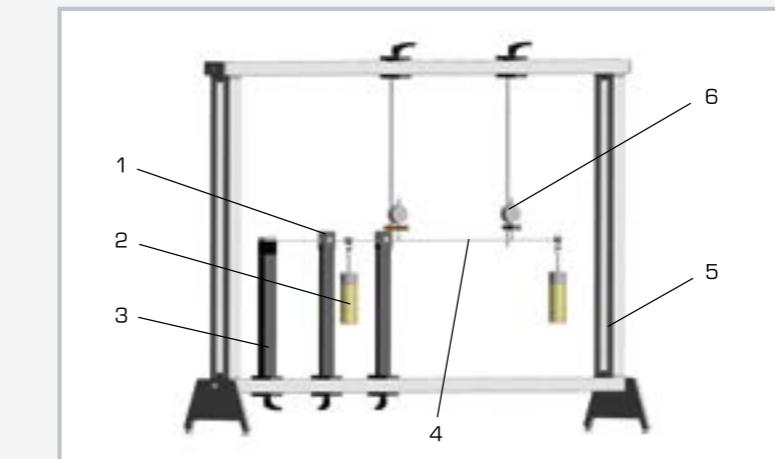
Le SE 110.14 permet de déterminer la déformation d'une poutre en flexion. On étudie pour cela une poutre avec des charges différentes, des conditions d'appui différentes et une surdétermination statique. La courbe de flexion élastique est déterminée par des calculs et vérifiée de manière expérimentale.

#### Contenu didactique/essais

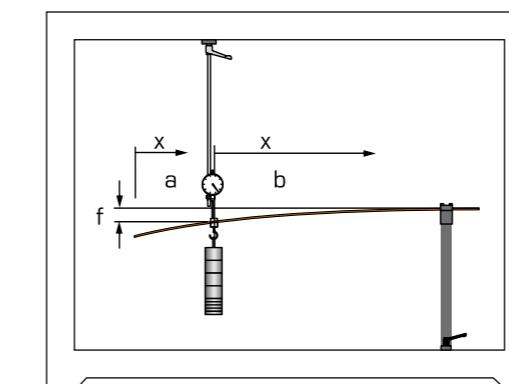
- courbe de flexion élastique avec différentes charges
- courbe de flexion élastique avec différentes conditions d'appui
- démonstration de l'équation de Maxwell-Betti
- courbe de flexion et forces d'appui pour des systèmes hyperstatiques

Le montage expérimental comprend trois poutres composées de matériaux différents. Deux appuis articulés et un appui fixe avec dispositif de serrage sont à disposition. Les comparateurs à cadran enregistrent les déformations conséquentes de la poutre.

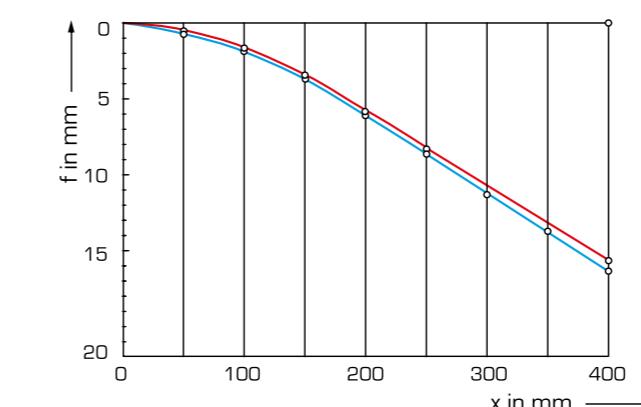
Les pièces de l'essai sont disposées de manière claire, et bien protégées dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est réalisé dans le bâti SE 112.



1 appui articulé, 2 poids, 3 appui fixe avec dispositif de serrage, 4 poutre, 5 bâti SE 112, 6 comparateur à cadran



Flexion sur la poutre en porte-à-faux: f abaissement de l'extrémité de la poutre, x écart, a zone sans charge avec courbe de flexion élastique linéaire, b zone avec charge



Courbe de flexion élastique de la poutre en porte-à-faux: f abaissement, x écart; en rouge: valeurs calculées, en bleu: valeurs mesurées

#### Spécification

- [1] détermination de la courbe de flexion élastique
- [2] poutres en différents matériaux: acier, laiton, aluminium
- [3] 2 appuis articulés
- [4] 1 appui fixe avec dispositif de serrage
- [5] comparateurs à cadran pour l'enregistrement des déformations de la poutre
- [6] système de rangement pour les pièces
- [7] montage de l'essai dans le bâti SE 112

#### Caractéristiques techniques

##### Poutre

- acier, Lxlxh: 1000x20x3mm
- laiton, Lxlxh: 1000x20x6mm
- aluminium, Lxlxh: 1000x20x6mm

##### Poids

- 2x 1N (suspente)
- 10x 1N
- 6x 5N

##### Plages de mesure

- déplacement: 0...20mm
- graduation: 0,01mm

Lxlxh: 1170x480x178mm (système de rangement)  
Poids: env. 42kg (total)

#### Liste de livraison

- 3 poutres
- 2 appuis articulés
- 1 appui fixe avec dispositif de serrage
- 2 comparateurs à cadran avec support
- 1 jeu de poids
- 1 système de rangement avec protection en mousse
- 1 documentation didactique

## WP 950

### Déformation de poutres droites



#### Description

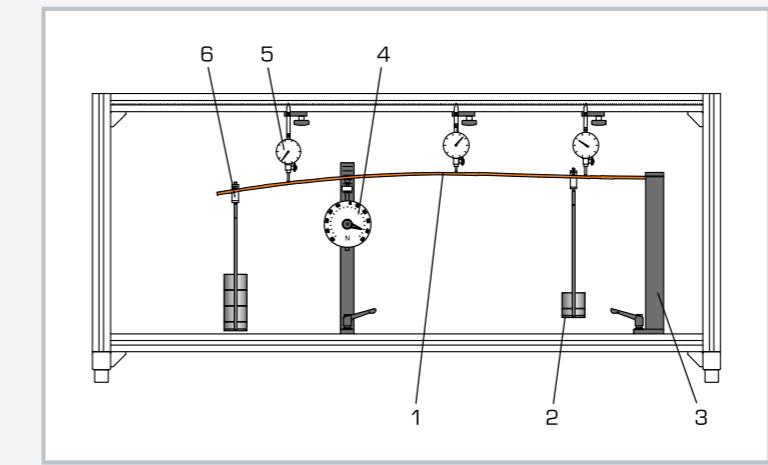
- déformation d'une poutre sur deux appuis ou plus soumise à des charges ponctuelles (p. ex. poutre à travée unique)
- déformation d'une poutre en porte-à-faux soumise à des charges ponctuelles
- systèmes isostatiques ou hyperstatiques

Les poutres sont des éléments de la construction de machine et du bâtiment. Une poutre est un composant en forme de barre pour lequel les dimensions de section sont sensiblement inférieures à la longueur et qui est chargée en longueur et transversalement par rapport à son axe longitudinal. La charge appliquée transversalement par rapport à l'axe longitudinal génère une déformation de la poutre, appelée flexion. De par ses dimensions, la poutre est considérée comme un modèle unidimensionnel.

La résistance des matériaux permet de traiter les contraintes et les déformations consécutives aux charges exercées sur un composant. L'utilisation de la poutre droite permet de dispenser de manière appropriée les bases de la résistance des matériaux.

#### Contenu didactique/essais

- étude de la flexion pour les poutres droites isostatiques et hyperstatiques
  - ▶ poutre en porte-à-faux
  - ▶ poutres à travée unique, à 2 travées ou à 3 travées
  - ▶ établissement de l'équation différentielle de la courbe de flexion élastique
- flexion au niveau de la poutre en porte-à-faux
  - ▶ mesure de la dénivellation au niveau du point d'application des forces
- flexion au niveau de la poutre à 2 travées sur les 3 appuis
  - ▶ mesure des réactions d'appui
  - ▶ mesure des déformations
- influence du matériau (module d'élasticité) et de la section transversale de la poutre (géométrie) sur la courbe de flexion élastique
- coefficients d'influence et théorème de Maxwell-Betti
- application du principe du travail virtuel sur une poutre isostatique et hyperstatique
- détermination des lignes d'influence
  - ▶ par calcul
  - ▶ qualitativement via la méthode des forces (Müller-Breslau)



1 poutre, 2 poids, 3 appui avec encastrement, 4 appui avec dynamomètre à cadran, 5 comparateur à cadran, 6 crochet mobile

#### Spécification

- [1] courbes de flexion élastique des poutres isostatiques et hyperstatiques avec différentes conditions d'encastrement
- [2] 3 poutres en acier avec différentes sections
- [3] 1 poutre en laiton et en aluminium
- [4] 3 appuis articulés réglables en hauteur avec dynamomètre à cadran
- [5] 1 appui avec encastrement
- [6] possibilité de tarage des dynamomètres
- [7] 3 comparateurs à cadran servant à enregistrer les déformations
- [8] poids avec crochets mobiles
- [9] bâti profilé en aluminium anodisé servant à accueillir les montages expérimentaux
- [10] système de rangement pour les pièces

#### Caractéristiques techniques

##### Poutre

- longueur: 1000mm
- sections: 3x20mm [acier], 4x20mm [acier], 6x20mm [acier, laiton, aluminium]

Ouverture du bâti: 1320x480mm

##### Poids

- 4x 2,5N (suspenstes)
- 4x 2,5N
- 16x 5N

##### Plages de mesure

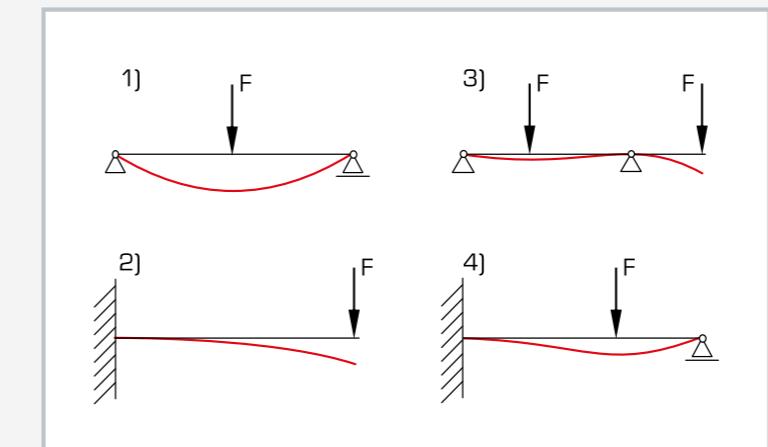
- force: ±50N, graduation: 1N
- déplacement: 0...20mm, graduation: 0,01mm

LxLxh: 1400x400x630mm

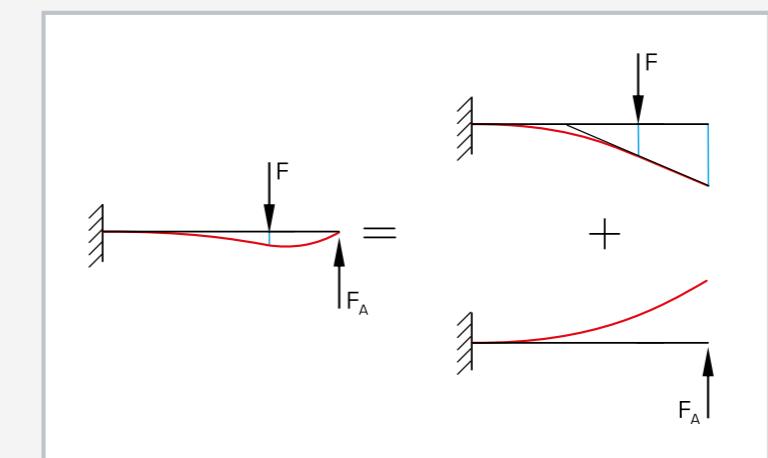
Poids: env. 37kg

LxLxh: 1170x480x178mm (système de rangement)

Poids: env. 12kg (système de rangement)



Courbes de flexion élastique pour les cas isostatiques (gauche) et hyperstatiques (droite):  
1 poutre à travée unique avec palier de butée et palier libre, 2 poutre encastrée, 3 poutre avec 2 paliers de butée, 4 poutre encastrée avec appui



Principe de superposition: la courbe de flexion élastique globale de la poutre hyperstatique (gauche) est formée par la somme des déformations de la force extérieure et de la force d'appui (droite)

#### Liste de livraison

- |   |  |
|---|--|
| 1 | bâti   |
| 5 | poutres  |
| 4 | appuis   |
| 1 | jeu de poids                                   |
| 3 | comparateurs à cadran                          |
| 1 | système de rangement avec mousse de protection |
| 1 | documentation didactique                       |

## SE 110.47

### Méthodes de détermination de la courbe de flexion élastique



L'illustration montre le SE 110.47 dans un bâti semblable au SE 112.

#### Description

- comparaison des différentes méthodes de détermination de la courbe de flexion élastique: travail virtuel, analogie de Mohr
- systèmes isostatiques et hyperstatiques
- conditions de charge possibles: charge ponctuelle ou moment de flexion

Les poutres sont des éléments importants de la construction mécanique et du bâtiment pouvant se déformer lorsqu'ils sont soumis à une charge. Avec une poutre simple, il est possible de prédir ces déformations à l'aide de différentes méthodes, p. ex. selon le principe du travail virtuel.

La poutre étudiée dans le SE 110.47 peut être montée de différentes manières. Deux appuis avec dispositif d'encastrement et un appui articulé avec dynamomètre à cadran sont disponibles afin de réaliser des systèmes isostatiques ou hyperstatiques. Les deux appuis avec dispositif d'encastrement sont pourvus de comparateurs à cadran et peuvent également être utilisés comme appuis articulés.

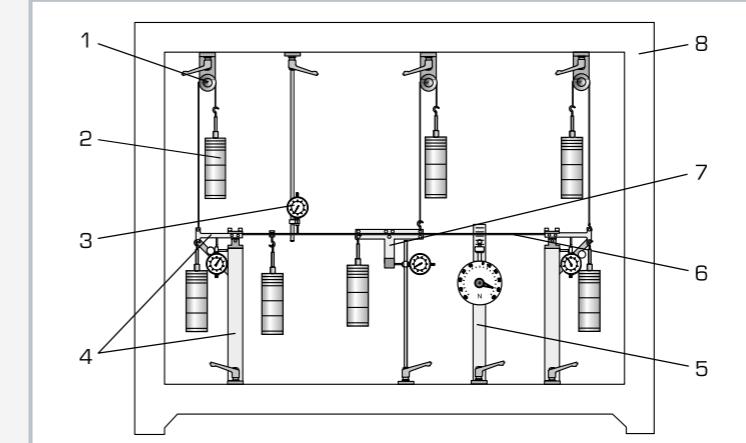
#### Contenu didactique/essais

- courbes de flexion élastique pour poutres isostatiques ou hyperstatiques soumises à une charge
- détermination de la courbe de flexion élastique d'une poutre à l'aide des méthodes suivantes
  - principe du travail virtuel (calcul)
  - analogie de Mohr (méthode de Mohr concernant le diagramme des moments; approche graphique)
- application du principe de superposition de la mécanique
- détermination des éléments suivants
  - fléchissement maximal de la poutre
  - inclinaison de la poutre
- comparaison entre les valeurs calculées et mesurées pour l'angle d'inclinaison et le fléchissement

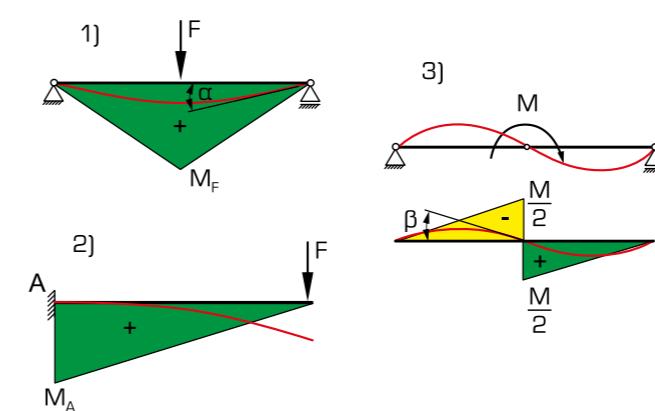
Ces comparateurs à cadran servent à déterminer l'angle d'inclinaison de la poutre sur l'appui. Un 3<sup>ème</sup> comparateur à cadran enregistre le fléchissement de la poutre à l'endroit défini. De plus, un dispositif génère un moment de flexion à un endroit défini de la poutre. Un quatrième comparateur à cadran enregistre l'angle d'inclinaison du dispositif.

La poutre est chargée de poids (charge ponctuelle et couple de forces pour générer le moment de flexion). Le couple d'encastrement sur les appuis peut être déterminé à l'aide de poids.

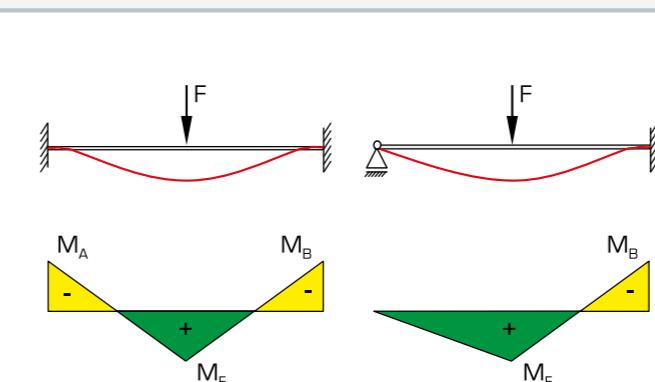
Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégées dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté dans le bâti SE 112.



1 poulie de renvoi avec fixation, 2 poids, 3 comparateur à cadran, 4 appui avec dispositif d'encastrement et comparateur à cadran, 5 appui avec dynamomètre à cadran, 6 poutre, 7 dispositif de génération du moment de flexion, 8 bâti SE 112



Courbe des moments de flexion (verte / jaune) et courbe de flexion élastique (rouge) pour les poutres isostatiques: 1 poutre à travée unique avec charge ponctuelle centrale, 2 poutre en porte-à-faux avec charge ponctuelle, 3 poutre à travée unique avec moment de flexion comme charge;  
 $M_A$  moment de flexion sur l'appui A,  $M_F$  moment résultant de la force F, M moment de flexion,  $\alpha$ ,  $\beta$  angle d'inclinaison



Courbe des moments de flexion (verte / jaune) et courbe de flexion élastique (rouge) pour les poutres hyperstatiques avec charge ponctuelle centrale

#### Spécification

- [1] comparaison des différentes méthodes de détermination de la courbe de flexion élastique
- [2] poutre isostatique ou hyperstatique
- [3] 2 appuis avec dispositif d'encastrement, comme appui articulé avec mesure d'inclinaison ou encastrement
- [4] 1 appui articulé avec dynamomètre à cadran
- [5] dispositif de génération d'un moment de flexion
- [6] comparateur à cadran avec génération du moment pour mesurer l'angle d'inclinaison
- [7] comparateur à cadran servant à enregistrer les déformations de la poutre
- [8] poids pour le chargement de la poutre à l'aide de charges ponctuelles ou moment
- [9] poids pour la détermination des moments d'encastrement sur les appuis avec dispositif d'encastrement
- [10] système de rangement pour les pièces
- [11] montage expérimental dans le bâti SE 112

#### Caractéristiques techniques

##### Poutre

- longueur: 1000mm
- section: 20x4mm
- matériau: acier

##### Poids

- 7x 1N (suspenstes)
- 28x 1N
- 21x 5N

##### Plages de mesure

- force:  $\pm 50\text{N}$ , graduation: 1N
- déplacement: 0...20mm, graduation: 0,01mm

Lxlxh: 1170x480x178mm (système de rangement)  
Poids: env. 42kg (total)

#### Liste de livraison

- 3 poutres
- 2 appuis avec dispositif d'encastrement
- 1 appui avec dynamomètre à cadran
- 1 dispositif de génération du moment de flexion
- 1 jeu de poids
- 3 poulies de renvoi avec fixation
- 3 câbles
- 2 comparateurs à cadran avec support
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

## SE 110.29

### Torsion de barres



L'illustration montre le SE 110.29 dans un bâti semblable au SE 112.

#### Description

- **torsion élastique d'une barre soumise à un moment de torsion**
- **barre ronde, tube, tube fendu en longueur et tube rectangulaire comme barres d'essai**
- **affichage de l'angle de torsion à deux endroits de la barre**

La torsion apparaît avant tout au niveau des axes et des arbres d'entraînement des véhicules et des machines. Les sections de l'arbre sont poussées l'une contre l'autre autour de l'axe longitudinal en raison des couples de rotation de l'arbre. Dans un arbre, les cercles conservent leur forme arrondie sous l'effet de la torsion des sections circulaires. Les surfaces de section restent plates, aucun gauchissement n'est constaté.

En cas de faibles torsions, la longueur et le rayon restent inchangés. Les lignes droites situées sur le périmètre extérieur de l'arbre et parallèles à l'axe sont appelées hélices. Des sections non circulaires entraînent généralement un gauchissement.

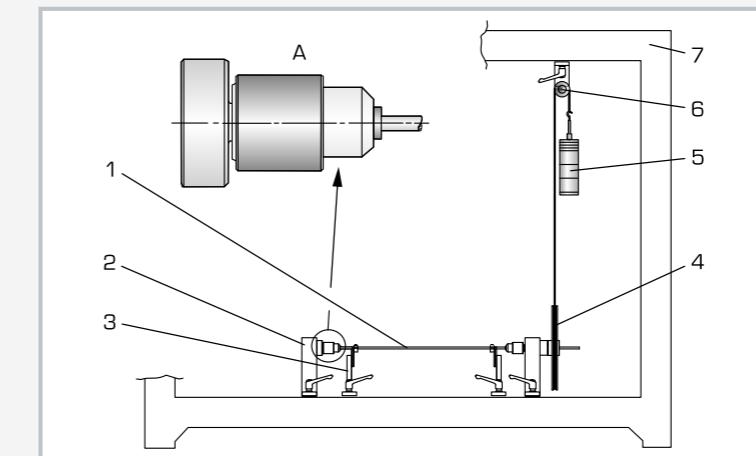
Le SE 110.29 étudie la torsion d'une barre soumise à un moment de torsion. La barre est encastrée dans deux supports coulissants avec mandrin.

#### Contenu didactique/essais

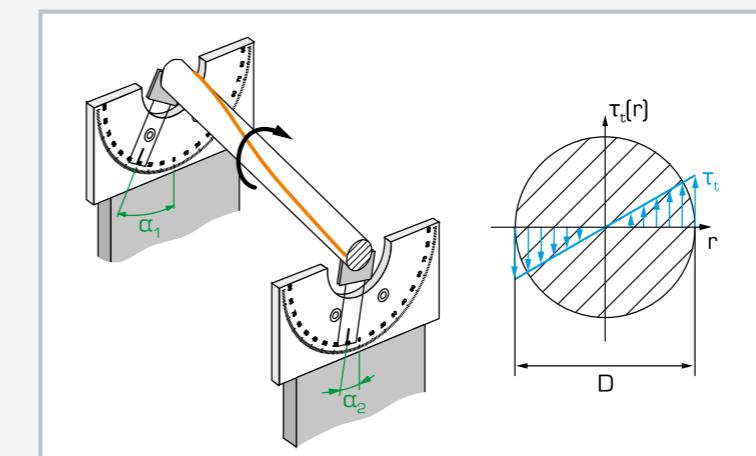
- torsion d'une barre
- module de cisaillement et moment d'inertie polaire
- angle de torsion en fonction de la longueur d'enca斯特rement
- angle de torsion en fonction du moment de torsion
- influence de la rigidité en torsion sur la torsion
  - barre ronde avec section pleine
  - tube
  - tube, fendu en longueur
  - tube rectangulaire
- calcul de l'angle de torsion
- comparaison de l'angle de torsion calculé et mesuré

L'utilisation de la barre ronde permet de dispenser les bases de la torsion élastique. Trois autres barres sont disponibles pour étudier les cas particuliers: deux profils fermés à paroi mince (tube, tube rectangulaire) et un tube fendu en longueur (profil ouvert à paroi mince).

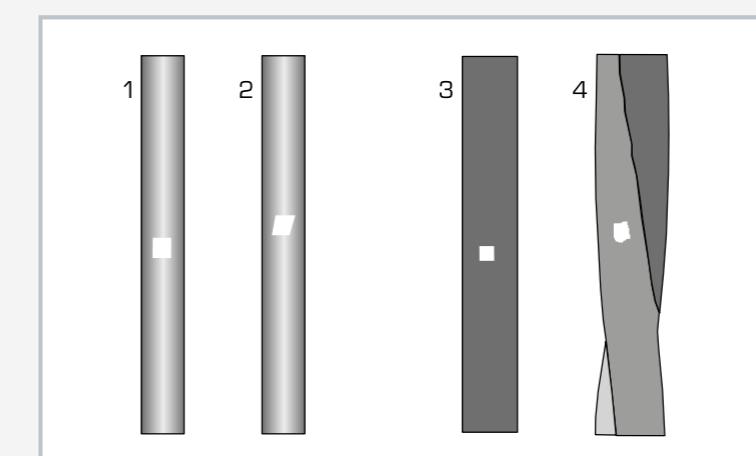
Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégée dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté dans le bâti SE 112.



1 barre, 2 support avec mandrin, 3 indicateur d'angle, 4 disque de déclenchement du moment, 5 poids, 6 poulie de renvoi avec fixation, 7 bâti SE 112, A: mandrin



Torsion d'une barre et mesure des angles  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$ , à droite: contraintes de cisaillement sur la section circulaire



Déformation d'un élément de surface rectangulaire [blanc]: 1 barre ronde déformée, 2 barre ronde tordue, 3 barre rectangulaire non déformée, 4 barre rectangulaire tordue

#### Spécification

- [1] torsion élastique de barres
- [2] 2 supports mobiles avec mandrin pour la fixation des barres, 1 palier de butée et 1 palier libre
- [3] 2 indicateurs d'angle mobiles reliés à la barre
- [4] 4 barres: barre ronde avec section pleine, tube, tube fendu en longueur, tube rectangulaire
- [5] chargement de la barre à l'aide d'un disque de masse, d'une poulie de renvoi et des poids
- [6] système de rangement pour les pièces
- [7] montage expérimental dans le bâti SE 112

#### Caractéristiques techniques

- 4 barres en laiton, L=695mm  
 ■ barre ronde, Ø=6mm  
 ■ tube, tube fendu Ø=6mm, épaisseur de paroi: 1mm, largeur de fente: 0,3mm  
 ■ tube rectangulaire lhx: 6mm, épaisseur de paroi: 1mm

Disque servant au déclenchement de la charge  
 ■ rayon d'action: 110mm

Indicateur d'angle  
 ■ plage de mesure:  $\pm 90^\circ$   
 ■ graduation:  $1^\circ$

Poids  
 ■ 1x 1N (suspente)  
 ■ 4x 1N  
 ■ 3x 5N

Llxh: 1170x480x178mm (système de rangement)  
 Poids: env. 27kg (total)

#### Liste de livraison

- 2 supports avec mandrin
- 2 indicateurs d'angle
- 4 barres
- 1 poulie de renvoi avec fixation
- 1 câble
- 1 jeu de poids
- 2 clés pour vis à six pans creux
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

## WP 100

### Déformation de barres soumises à une flexion ou à une torsion



#### Description

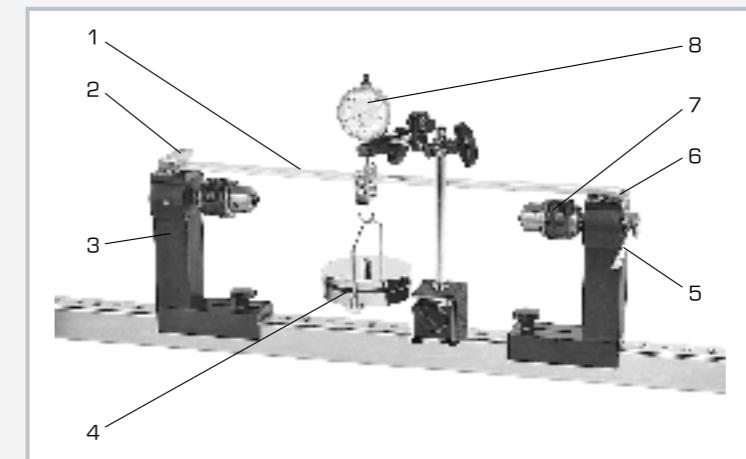
- déformation élastique de poutres isostatiques et hyperstatiques soumises à une charge de flexion
- torsion élastique de barres rondes soumises à un moment de torsion
- influence du matériau, de la section et de la longueur d'encastrement sur les déformations

La flexion et la torsion constituent des charges typiques pour les composants. Les contraintes et déformations qui en résultent peuvent entraîner une défaillance du composant. Différents facteurs jouent ici un rôle, p. ex. le matériau, la section, la longueur d'encastrement et le type d'appui.

Le WP 100 étudie l'influence de ces facteurs sur la déformation d'une barre soumise à une charge de flexion ou à un moment de torsion. Un jeu de barres d'essai est assemblé afin de pouvoir comparer directement les résultats de mesure. La barre étudiée est fixée sur deux supports mobiles et chargée des poids. Les déformations qui en résultent sont enregistrées par un comparateur à cadran.

#### Contenu didactique/essais

- essais de flexion
  - ▶ détermination du module d'élasticité
  - ▶ systèmes isostatiques (poutre sur 2 supports; poutre en porte-à-faux)
  - ▶ systèmes hyperstatiques (poutre à double encastrement)
  - ▶ déformation d'une poutre en fonction de matériau géométrie (largeur du profil, hauteur du profil, longueur type et espacement de l'appui)
  - ▶ établissement des rapports proportionnels pour la déformation
- essais de torsion
  - ▶ détermination du module de cisaillement de différents matériaux
  - ▶ angle de torsion en fonction de longueur d'encastrement, diamètre de la barre
  - ▶ établissement des rapports proportionnels pour l'angle de torsion



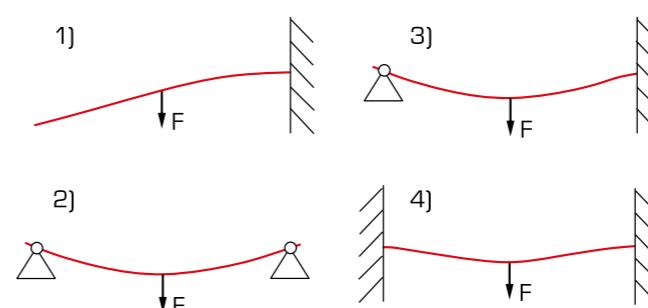
1 poutre, 2 encastrement pour essai de flexion, 3 support, 4 poids, 5 dispositif de déclenchement du moment de torsion lors de l'essai de torsion, 6 appui pour l'essai de flexion, 7 mandrin pour l'essai de torsion, 8 comparateur à cadran

#### Spécification

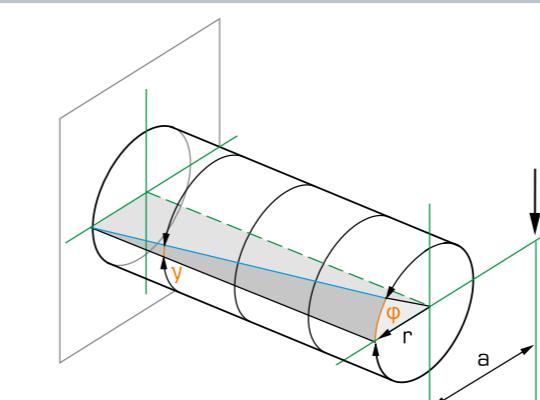
- [1] déformation élastique de barres en cas de flexion ou de torsion
- [2] essais de flexion avec systèmes isostatiques et hyperstatiques
- [3] essais de torsion avec système isostatique
- [4] appuis pour l'essai de flexion permettant un montage par encastrement ou palier libre
- [5] 2 supports mobiles avec mandrin pour les essais de torsion et appuis pour les essais de flexion
- [6] poids pour générer les moments de flexion ou de torsion
- [7] comparateur à cadran avec support
- [8] système de rangement pour les pièces

#### Caractéristiques techniques

- 17 barres pour les essais de flexion
- matériau: aluminium, acier, laiton, Cu
  - hauteur pour LxL 510x20mm: H=3...10mm (alu.)
  - largeur pour Lxh 510x5mm: B=10...30mm (alu.)
  - longueur pour lh 20x4mm: L=210...510mm (alu.)
  - LxLxh: 20x4x510mm (aluminium, acier, laiton, Cu)
  - LxLxh: 10x10x510mm (aluminium)



Flexion sur le système isostatique (gauche) et sur le système hyperstatique (droite):  
1 poutre en porte-à-faux, 2 poutre sur 2 supports, 3 poutre à demi-encastrement, 4 poutre à double encastrement



Torsion sur la barre ronde: F force appliquée, a bras de levier, r rayon, y angle de glissement, φ angle de torsion

#### Poids

- 1x 1N (suspenso)
- 1x 1N, 1x 4N, 1x 5N, 1x 9N

LxLxh: 1000x250x200mm

Poids: env. 18kg

LxLxh: 1170x480x207mm (système de rangement)

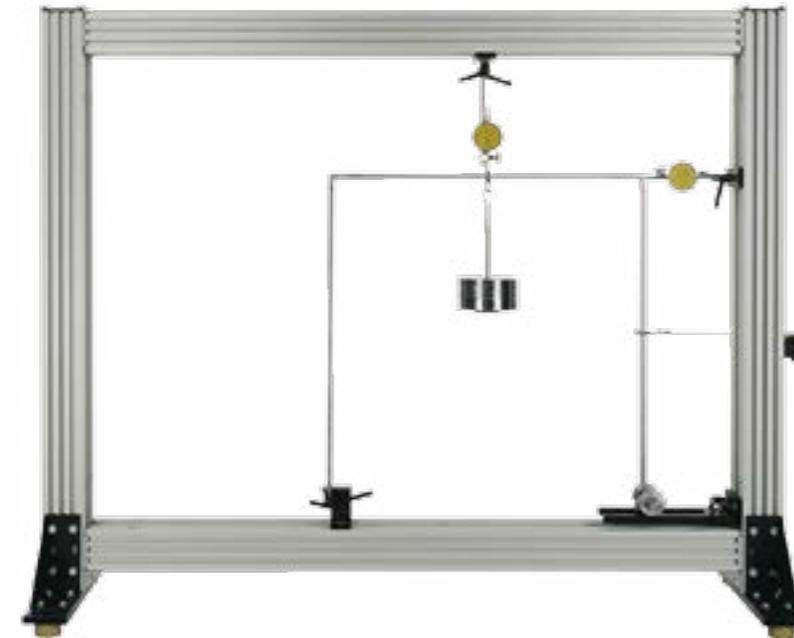
Poids: env. 12kg (système de rangement)

#### Liste de livraison

- 1 bâti
- 2 supports
- 1 dispositif de génération du moment de torsion
- 17 barres pour essai de flexion
- 22 barres de torsion
- 1 comparateur à cadran avec support, 1 ruban gradué
- 1 jeu de poids
- 2 clés pour vis à six pans creux
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

## SE 110.20

### Déformation des bâtis



L'illustration montre le SE 110.20 dans un bâti semblable au SE 112.

#### Description

- **déformation élastique d'un bâti isostatique ou hyperstatique soumis à une charge ponctuelle**
- **bâti en U et en S**
- **principe du travail virtuel pour le calcul de la déformation et de la réaction d'appui avec un système hyperstatique**

Un bâti est une poutre inclinée aux angles rigides à la flexion formant un gabarit d'espace libre. Cela signifie qu'il fait face à une portée tout en formant une hauteur.

Le SE 110.20 comprend un bâti en U type, utilisé p. ex. dans la construction de halls. Une extrémité est encastrée, l'autre extrémité pouvant être montée de manière libre. Si l'extrémité non encastrée reste libre, le bâti isostatique est étudié. Un palier libre au niveau de l'extrémité non encastrée génère un bâti hyperstatique. Le bâti est chargé des poids. Les points d'application de la charge peuvent être déplacés. Les déformations du bâti soumis à une charge sont enregistrées par deux comparateurs à cadran.

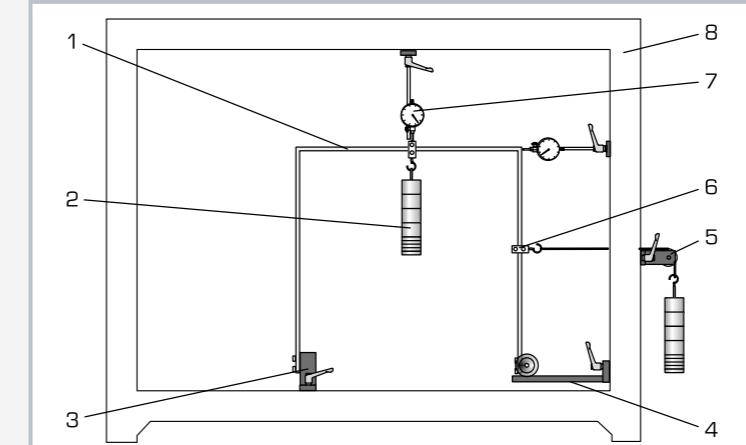
#### Contenu didactique/essais

- rapport entre la charge et la déformation sur le bâti
- différences entre le bâti isostatique et le bâti hyperstatique
- apprentissage de la théorie de l'élasticité du 1<sup>er</sup> ordre pour les systèmes isostatiques et hyperstatiques
- application du principe de superposition de la mécanique
- application du principe de travail virtuel aux bâtis isostatiques et hyperstatiques
  - détermination d'une déformation à l'aide du principe des forces virtuelles
  - détermination d'une charge à l'aide du principe du déplacement virtuel
- comparaison des déformations calculées et mesurées

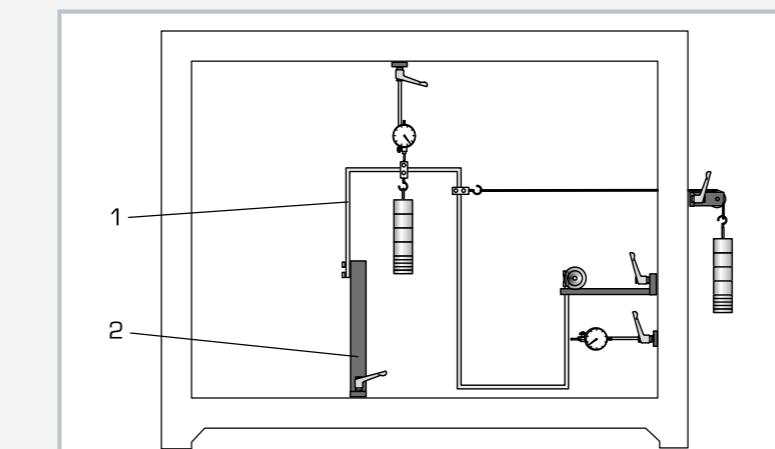
L'application de différentes méthodes (théorie de l'élasticité du 1<sup>er</sup> ordre, principe de superposition de la mécanique et principe du travail virtuel) permet de déterminer les courbes du moment de flexion élastique pour les bâtis isostatiques et hyperstatiques. Ces courbes et une table d'intégrales permettent d'établir l'équation différentielle de la courbe de flexion élastique. Les déplacements et la force d'appui au niveau du palier libre sont calculés à partir de la courbe de flexion élastique et de ses dérivées.

Un deuxième bâti en S permet de démontrer que les différentes méthodes peuvent être appliquées sur tout type de bâti.

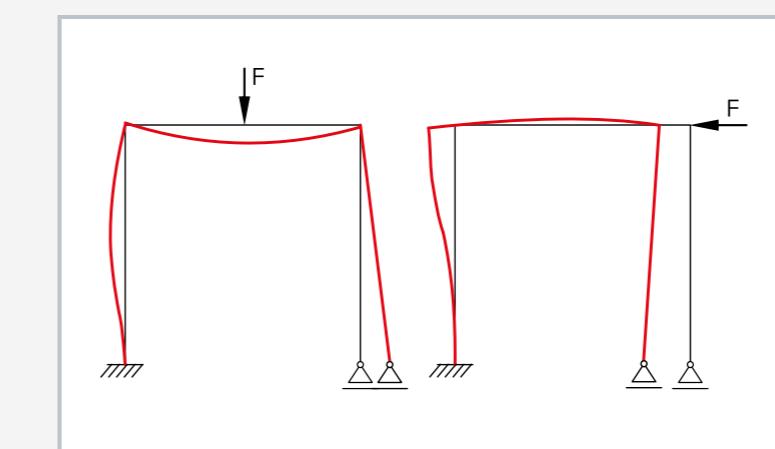
Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégées dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté dans le bâti SE 112.



1 bâti en U, 2 poids, 3 colonne d'enca斯特rement courte, 4 palier libre, 5 poulie de renvoi avec fixation, 6 crochet mobile, 7 comparateur à cadran, 8 bâti SE 112



1 bâti en S, 2 colonne d'enca斯特rement longue



Exemples de déformations du bâti hyperstatique soumis à une charge:  
rouge: bâti déformé, noir: bâti non soumis à une charge

#### Spécification

- [1] étude de la déformation des bâtis en acier soumis à une charge
- [2] 1 bâti en U et 1 bâti en S
- [3] possibilité d'appui isostatique ou hyperstatique
- [4] 1 colonne d'enca斯特rement longue et 1 colonne d'enca斯特rement courte
- [5] palier libre coulissant pour appui hyperstatique
- [6] poids avec crochets mobiles pour les points d'application de la charge souhaitée
- [7] les comparateurs à cadran saisissent la déformation du bâti étudié soumis à une charge
- [8] système de rangement pour les pièces
- [9] montage expérimental dans le bâti SE 112

#### Caractéristiques techniques

Bâti en acier

- section: 600mm
- section: 20x10mm
- en U: 600x600mm
- en S: 600x600mm

Comparateurs à cadran

- plage de mesure: 0...20mm
- graduation: 0,01mm

Poids

- 2x 1N (suspentes)
- 8x 1N
- 6x 5N

Lxhx: 1170x480x178mm (système de rangement)

Poids: env. 34kg [total]

#### Liste de livraison

- 2 bâtis (1 en U, 1 en S)
- 2 colonnes d'enca斯特rement (1 longue, 1 courte)
- 1 appui
- 1 jeu de poids avec crochets mobiles
- 1 poulie de renvoi avec fixation
- 1 câble
- 2 comparateurs à cadran avec support
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

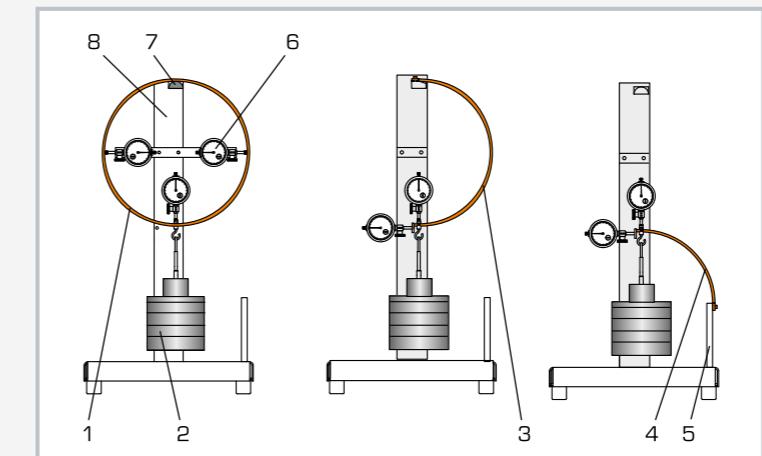
## FL 170

### Déformation des poutres à axe courbe



#### Contenu didactique/essais

- comportement à la flexion d'une poutre à axe courbe
  - poutre circulaire
  - poutre en demi-cercle
  - poutre en quart de cercle
- application du principe des forces virtuelles (méthode des forces) pour le calcul de la déformation
- moment d'inertie
- comparaison des déformations calculées et mesurées



1 poutre circulaire, 2 poids, 3 poutre en demi-cercle, 4 poutre en quart de cercle, 5 support, 6 comparateur à cadran, 7 appui, 8 colonne

#### Spécification

- [1] déformation élastique des poutres à axe courbe soumises à une charge
- [2] 3 poutres différentes possédant la même section: poutre circulaire, poutre en demi-cercle, poutre en quart de cercle
- [3] support de fixation de la poutre en quart de cercle
- [4] colonne avec appui pour la fixation de la poutre circulaire ou en demi-cercle
- [5] 3 comparateurs à cadran servant à enregistrer la déformation dans le sens horizontal et vertical
- [6] système de rangement pour les pièces

#### Caractéristiques techniques

##### Poutre à axe courbe

- rayon: env. 150mm
- section lhx: 20x5mm
- matériau: acier galvanisé

##### Comparateurs à cadran

- plage de mesure: 0...20mm
- graduation: 0,01mm

##### Poids

- 1x 1N (suspendue)
- 2x 2N
- 1x 5N
- 1x 10N
- 4x 20N

LxLxH: 400x300x650mm

Poids: env. 21kg

LxLxH: 1170x480x178mm (système de rangement)

#### Description

- déformation élastique de poutres à axe courbe
- poutre circulaire, en demi-cercle et en quart de cercle

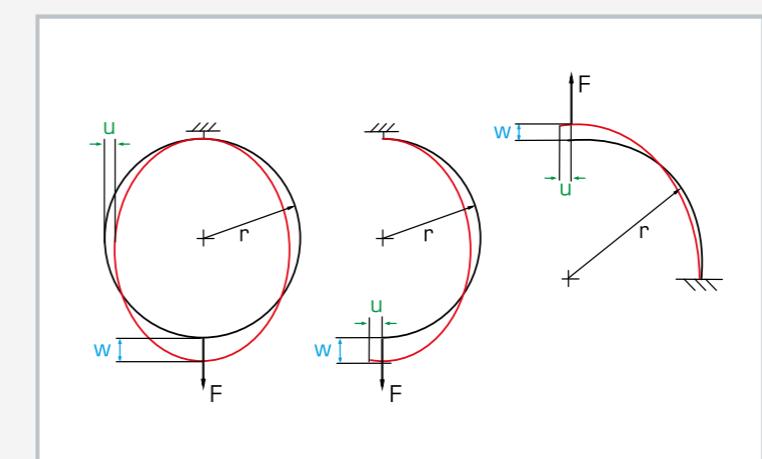
Dans le domaine du bâtiment, on opère une distinction entre les poutres et les arcs. L'arc est une poutre hyperstatique à axe courbe composée de deux paliers de butée ou d'encastrements. Les appuis d'un arc (p. ex. les arcs à double articulation) absorbent les forces dans le sens vertical et horizontal, et les extrémités de l'arc ne se déplacent pas dans les appuis. L'effet d'arc statique du système est ainsi généré. En construction mécanique, les crochets de suspension ou les maillons de chaîne sont des exemples types d'une poutre courbe.

Le FL 170 comprend trois poutres montées de manière isostatique: une poutre circulaire, une poutre en demi-cercle et une poutre en quart de cercle.

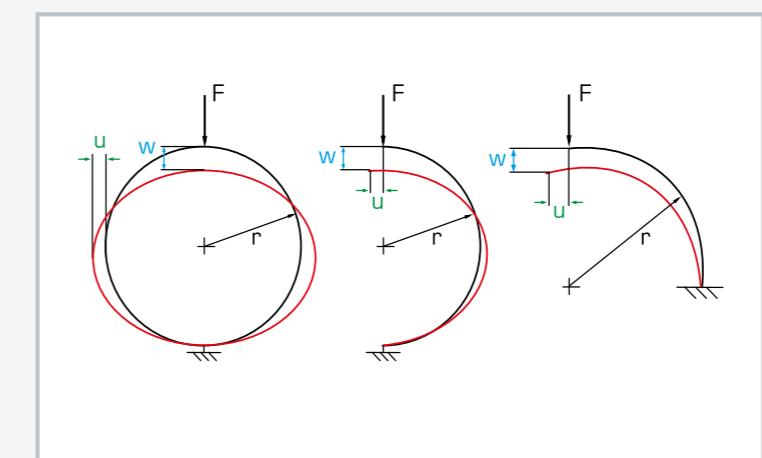
La poutre étudiée est chargée des poids. Des comparateurs à cadran enregistrent ses déformations dans le sens horizontal et vertical.

Les trois poutres possèdent la même section et donc le même moment d'inertie. Il est ainsi possible de comparer directement les résultats d'essais. Les poutres en demi-cercle et les poutres circulaires sont fixées sur un appui de la colonne. La poutre en quart de cercle est encastrée sur un support.

Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégées dans un système de rangement.



Déformations sur les poutres à axe courbe soumises à une contrainte de traction: F force, r rayon, u déplacement horizontal, w déplacement vertical



Déformations sur les poutres à axe courbe soumises à une contrainte de compression: F force, r rayon, u déplacement horizontal, w déplacement vertical

#### Liste de livraison

- |   |  |
|---|--|
| 1 | plaqué de base avec colonne                    |
| 3 | poutres  |
| 3 | comparateurs à cadran                          |
| 1 | jeu de poids                                   |
| 2 | clés pour vis à six pans creux                 |
| 1 | système de rangement avec mousse de protection |
| 1 | documentation didactique                       |

## SE 110.44

### Déformation d'un treillis



L'illustration montre le SE 110.44 dans un bâti semblable au SE 112.

#### Description

- déformation élastique dans un treillis plan
- montage de différents treillis
- application du 1<sup>er</sup> théorème de Castigliano

On observe une déformation élastique d'un composant lorsque celui-ci est soumis à une charge. Ces déformations peuvent être calculées en déterminant p. ex. les courbes de flexion élastique. Les courbes de flexion élastique décrivent la déformation de l'ensemble du composant sous forme d'équation mathématique. En réalité, seules les déformations présentes à des endroits définis du composant sont intéressantes. Ces déformations peuvent être déterminées plus simplement à l'aide des méthodes des énergies. Le 1<sup>er</sup> théorème de Castigliano utilise des méthodes énergétiques pour calculer la déformation d'un point du composant. Le jeu s'applique aux systèmes isostatiques et hyperstatiques.

Dans le SE 110.44, la déformation d'un treillis plan en un point unique est déterminée à l'aide du 1<sup>er</sup> théorème de Castigliano. Le treillis à étudier se compose de barres reliées de manière articulée à l'aide de disques de jonction.

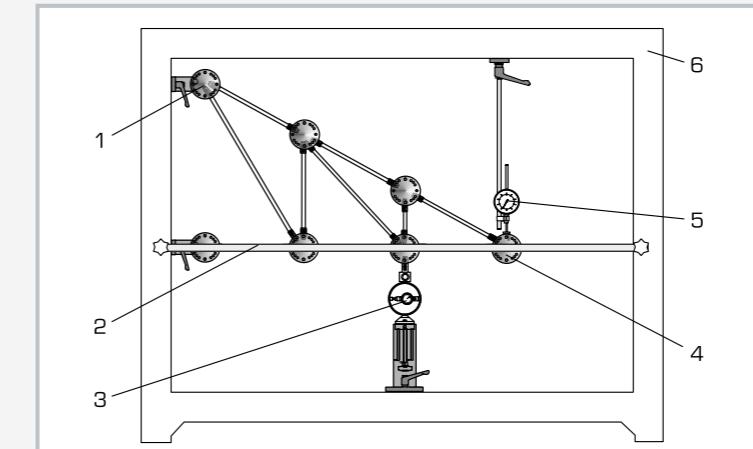
#### Contenu didactique/essais

- déformation élastique d'un treillis soumis à une charge ponctuelle
- calcul des réactions d'appui et des efforts dans la barre
- principe de l'énergie et l'énergie de déformation
- application du 1<sup>er</sup> théorème de Castigliano pour le calcul de la déformation en un point défini
- vérification de la déformation calculée possible selon le principe du travail virtuel
- comparaison des déformations de différents treillis avec une charge identique
- comparaison de la déformation mesurée et calculée

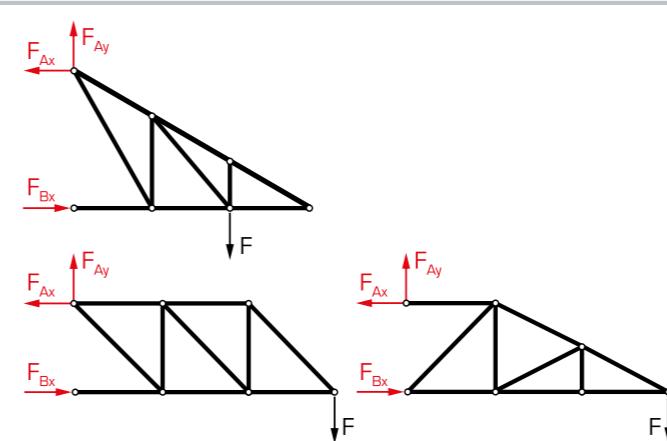
Les treillis peuvent être considérés comme idéaux. Les barres sont pourvues de fermetures encliquetées aux extrémités, leur permettant ainsi de s'encliquer en douceur dans le disque de jonction. Un dispositif de charge placé au niveau du disque de jonction crée une force extérieure.

La gamme de barres comporte des barres de différentes longueurs et permet de monter trois formes de treillis. Les barres sont fabriquées en PVC de manière à pouvoir observer les déformations de manière optimale.

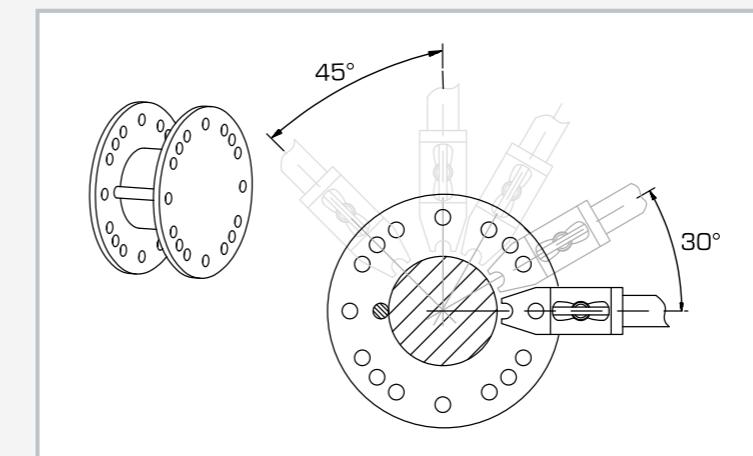
Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégées dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté dans le bâti SE 112.



1 appui avec disque de jonction, 2 traverse pour la stabilité latérale du treillis, 3 dispositif de charge avec dynamomètre à cadran, 4 disque de jonction, 5 comparateur à cadran, 6 bâti SE 112



3 formes de treillis:  
rouge: réactions d'appui, noir: force extérieure



Fixation des barres dans le disque de jonction

#### Spécification

- [1] étude de la déformation de treillis isostatiques
- [2] possibilité de montage de différents treillis
- [3] 2 appuis avec disques de jonction
- [4] dispositif de charge avec dynamomètre à cadran pouvant être monté sur différents disques de jonction
- [5] comparateur à cadran servant à enregistrer la déformation d'un treillis soumis à une charge
- [6] traverse pour la stabilité latérale d'un treillis
- [7] système de rangement pour les pièces
- [8] montage expérimental dans le bâti SE 112

#### Caractéristiques techniques

##### Treillis avec 19 barres en PVC

- hauteur du treillis max. 450mm
- longueur du treillis max. 900mm
- longueurs des barres: 2x 150mm, 5x 259mm, 7x 300mm, 1x 397mm, 3x 424mm, 1x 520mm
- angles entre les barres: 30°, 45°, 60°, 90°
- effort dans la barre maximal: 200N

##### Dispositif de charge

- plage de mesure: ±500N
- graduation: 10N

##### Comparateur à cadran

- plage de mesure: 0...10mm
- graduation: 0,01mm

LxLxH: 1170x480x178mm (système de rangement)  
Poids: env. 26kg (total)

#### Liste de livraison

- 1 jeu de barres
- 5 disques de jonction
- 2 appuis avec disque de jonction
- 1 dispositif de charge
- 1 comparateur à cadran avec support
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

## TM 262

### Pression de Hertz



#### Description

- démonstration de la surface de contact pour la pression hertzienne
- génération de surfaces de contact circulaires et elliptiques
- résultats particulièrement bien visibles grâce à l'alliance du plastique transparent et du caoutchouc silicone

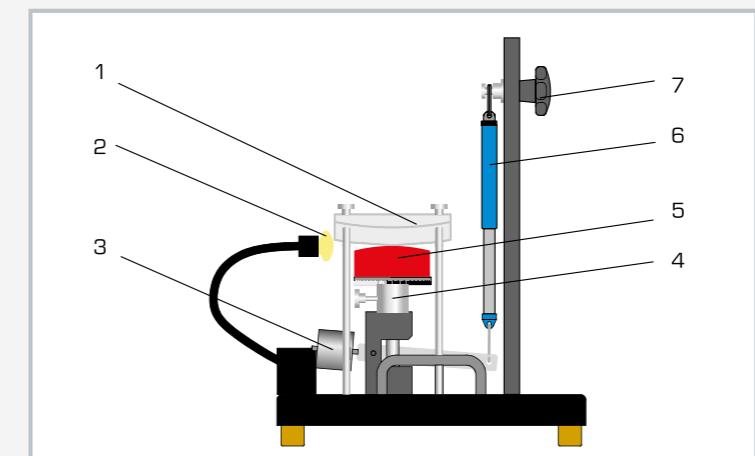
Lorsque l'on presse l'un contre l'autre deux corps ayant une surface bombée, alors ces corps se touchent dans l'idéal uniquement de manière linéaire ou ponctuelle. Dans la réalité, lorsque les deux corps se rapprochent, une surface de contact elliptique se forme au niveau du point de contact suite à la déformation. Les contraintes de compression (pressions) y sont distribuées de manière proportionnelle aux déformations.

Le physicien Heinrich Hertz a développé une théorie permettant de calculer la pression maximale appelée également pression hertzienne. La taille et la forme des surfaces de contact, ainsi que la hauteur et la distribution des contraintes mécaniques en dessous des surfaces de contact, peuvent également être calculées.

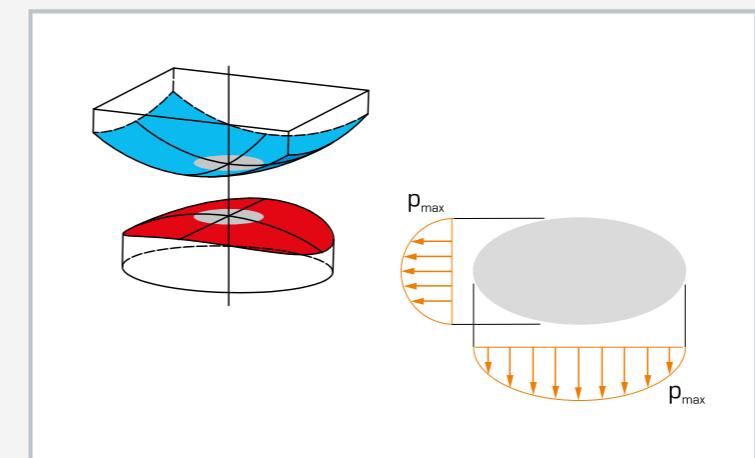
L'appareil d'essai TM 262 démontre, par le biais d'un exemple, la forme de la surface de contact qui se forme pour la pression hertzienne. Un élément de pression en caoutchouc est pressé par le biais d'un levier contre une vitre en plastique transparente.

#### Contenu didactique/essais

- forme de la surface de contact pour le contact ponctuel avec différents rayons de courbure
- forme de la surface de contact comme fonction de la force de contact
- influence d'une composante transversale supplémentaire de la force de contact



1 vitre double convexe en plexiglas, 2 lampe halogène, 3 poids mobile pour l'équilibrage de la masse du dispositif de charge, 4 dispositif de charge, 5 élément de pression en caoutchouc de surface convexe, 6 balance à ressort, 7 dispositif mobile pour la balance à ressort



Surface de contact entre deux corps ayant des surfaces bombées; en gris: surface de contact ayant la forme d'une ellipse; en orange: force de compression (pression)

#### Spécification

- [1] démonstration de la pression hertzienne
- [2] élément de pression en caoutchouc silicone
- [3] plaque de compression en plastique transparent avec trame pour la mesure de la surface de contact
- [4] balance à ressort pour la mesure de la force
- [5] dispositif mobile pour la balance à ressort permettant la génération d'une force de contact ajustable en continu
- [6] éclairage optimal de la surface de contact par une lampe halogène latérale

#### Caractéristiques techniques

##### Balance à ressort

- 0...25N
- graduation: 0,5N

##### Élément de pression

- 60 Shore

##### Lampe halogène

- tension: 12V
- puissance: 20W

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

LxLxH: 400x400x530mm

Poids: env. 16kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 balance à ressort
- 1 lampe halogène
- 1 documentation didactique

## TM 400

### Loi de Hooke



L'illustration montre deux appareils TM 400.

#### Description

##### ■ comportement élastique des ressorts de traction soumis à une charge

La loi de Hooke décrit le comportement élastique des composants dont la déformation est proportionnelle à la charge active. Il s'agit d'un comportement type pour les métaux exposés à de faibles charges.

Le TM 400 met en évidence l'application de la loi de Hooke et illustre la déformation des ressorts de traction soumis à une charge.

#### Contenu didactique/essais

- étude de la proportionnalité de la force active et du débattement
- détermination des flexibilités de ressort
- montage en série de deux ressorts de traction
- étude de l'influence de la flexibilité de ressort sur la fréquence d'un oscillateur pour système masse-ressort

#### Spécification

- [1] essais relatifs à la loi de Hooke et essais d'oscillation sur un système masse-ressort
- [2] montants en métal avec règle graduée intégrée
- [3] 2 ressorts hélicoïdaux comme ressorts de traction
- [4] ressorts de traction montés en série ou individuellement
- [5] charge des ressorts de traction à l'aide des poids
- [6] système de rangement pour les pièces

#### Caractéristiques techniques

##### Ressort hélicoïdal court

- spires: 53
- Ø=18,3mm
- diamètre de fil: Ø=1,0mm

##### Ressort hélicoïdal long

- spires: 109
- Ø=18,3mm
- diamètre de fil: Ø=1,0mm

#### Règle graduée, graduation: 1mm

#### Poids

- 1x 1N [suspente]
- 10x 0,5N

#### Llxh: 250x250x900mm

#### Poids: env. 5kg

#### Llxh: 1170x480x178mm (système de rangement)

#### Poids: env. 12kg (système de rangement)

#### Liste de livraison

- 1 montant
- 2 ressorts hélicoïdaux
- 1 jeu de poids
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

## SE 112

### Bâti de montage



#### Description

##### ■ bâti pour les montages expérimentaux relatifs à la statique, la résistance des matériaux et la dynamique

Le bâti de montage SE 112 permet d'effectuer des montages expérimentaux clairs et simples en rapport avec les domaines de la statique, de la résistance des matériaux et de la dynamique.

Le SE 112 se compose de profilés en acier qui sont vissés à un bâti de montage. Deux pieds latéraux garantissent une position stable. Le montage du bâti à partir de différents éléments s'effectue facilement et rapidement, ce qui requiert peu de manipulations.

#### Spécification

- [1] bâti de montage pour accueillir les montages expérimentaux relatifs à la statique, la résistance des matériaux et la dynamique
- [2] double bâti stable, profilé en acier, soudé
- [3] fixation précise et facile de toutes les pièces de montage par raccord de serrage sur mesure
- [4] a monter de manière stable sur des tables de laboratoire ou sur des établis
- [5] livraison du bâti en pièces détachées

#### Caractéristiques techniques

Bâti de montage en profilés en acier

- ouverture du bâti lxh: 1250x900mm
- largeur des rainures du profilé: 40mm

Llxh: 1400x400x1130mm (monté)  
Llxh: 1400x400x200mm (non monté)  
Poids: env. 32kg

#### Liste de livraison

- 1 bâti de montage en pièces détachées
- 1 jeu de vis avec clé pour vis à six pans creux
- 1 mode d'emploi

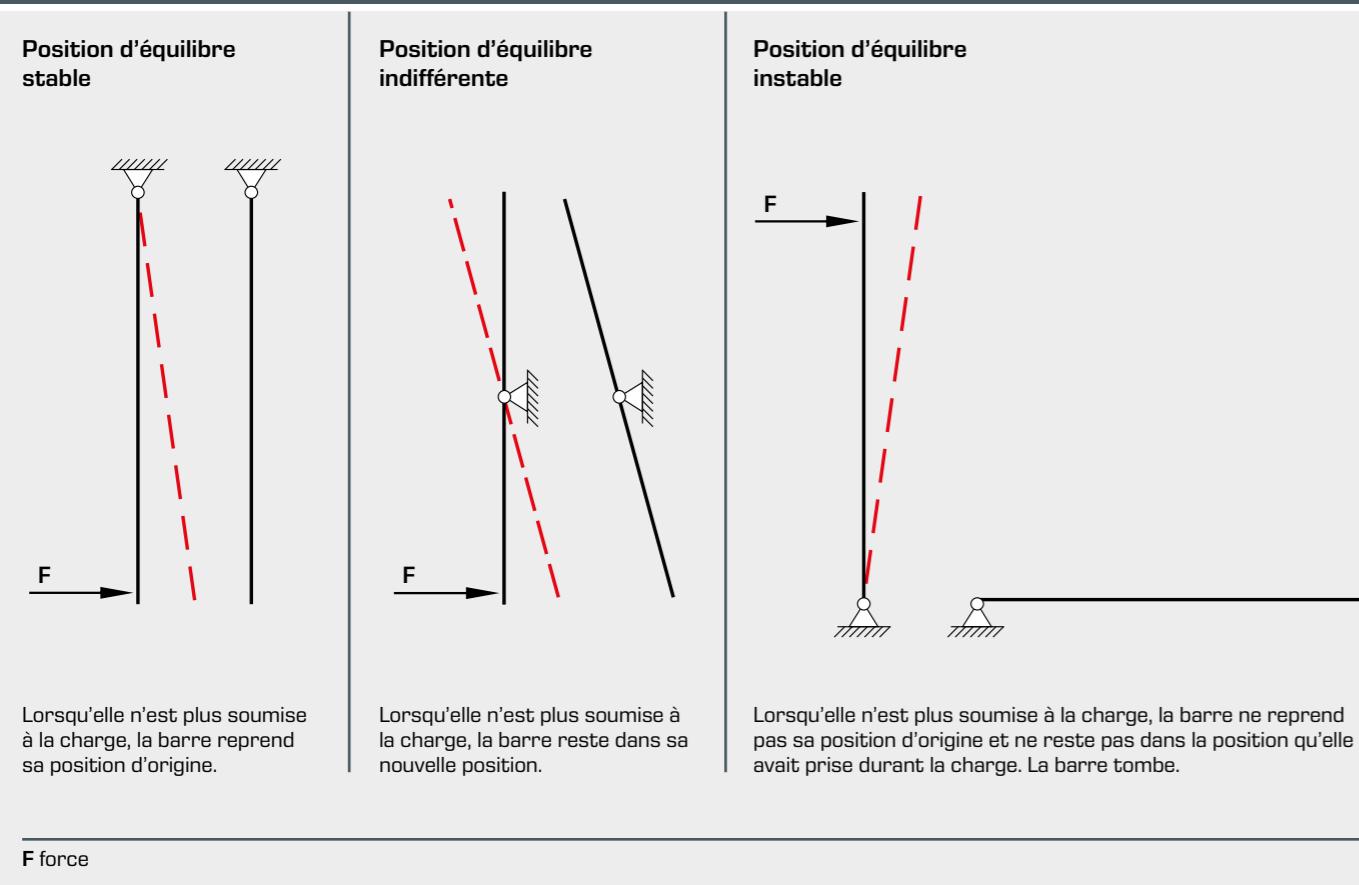
## Connaissances de base

### Problème de stabilité: le flambement

Lorsque l'on soumet des composants longs et étroits tels que barres, poutres, tubulures etc. à une force parallèle à leur axe, ils peuvent se retrouver dans des positions d'équilibre indifférentes ou instables. Lorsque la force  $F$  est inférieure à la force critique  $F_K$ , appelée également effort de flambement, le composant se trouve dans une position d'équilibre stable, et l'on

constate un problème de résistance. Lorsque la force  $F$  atteint la force de flambement  $F_K$  de la barre, cette dernière est déportée sur le côté (flambement) de manière soudaine. Les composants perdent ainsi leur fonctionnalité. Ce flambement est un phénomène en général très soudain et brutal, qui provoque des déformations importantes.

#### Differentes positions d'équilibre



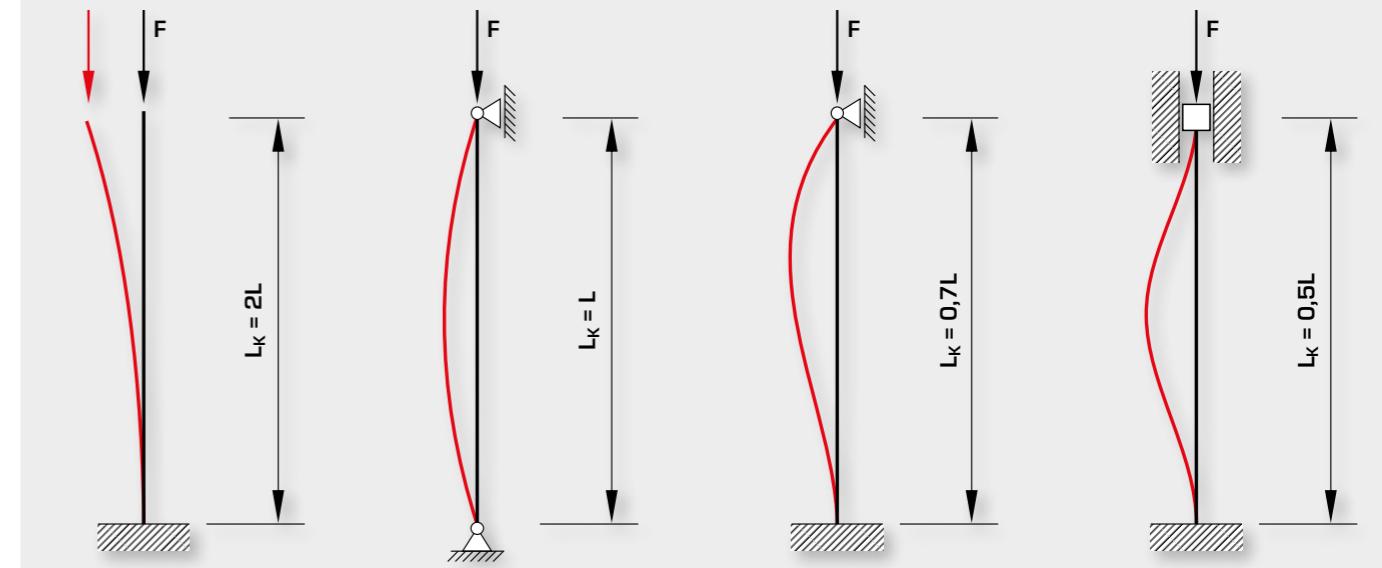
#### Stabilité des barres

Les barres soumises à une compression posent un problème typique de stabilité. On étudie à quel moment une barre droite cède. L'effort de flambement critique  $F_K$  décrit la force de compression minimale à laquelle la barre plie. La contrainte de flambement critique  $\sigma_K$  est la contrainte qui se forme à l'effort de flambement critique  $F_K$ . L'effort de flambement de barres sou-

mises à une compression dépend des conditions d'appui, de la rigidité en flexion et de la géométrie, ainsi que de la forme de la coupe transversale de la barre. Pour étudier la stabilité au flambement de barres ayant une rigidité en flexion constante, on se base sur les quatre cas de flambement d'Euler.

#### Cas de flambement d'Euler

Le mathématicien et physicien Leonhard Euler a défini quatre cas de flambement typiques pour le calcul de l'effort de flambement. Pour chacun de ces cas, on a un facteur de longueur de flambement  $\beta$  permettant de calculer la longueur de flambement  $L_K$ .



Cas 1:	Cas 2:	Cas 3:	Cas 4:
Une extrémité de la barre est encastrée, l'autre est libre	Les deux extrémités de la barre sont encastrées, l'autre est rotulée	Une extrémité de la barre est encastrée, l'autre est rotulée	Les deux extrémités de la barre sont encastrées
Facteur de longueur de flambement $\beta = 2$	Facteur de longueur de flambement $\beta = 1$	Facteur de longueur de flambement $\beta \approx 0,7$	Facteur de longueur de flambement $\beta \approx 0,5$
Longueur de flambement $L_K = L \cdot \beta$	Longueur de flambement $L_K = L \cdot \beta$	Longueur de flambement $L_K = L \cdot \beta$	Longueur de flambement $L_K = L \cdot \beta$

$F$  force,  $L$  longueur de la barre,  $L_K$  longueur de flambement,  $\beta$  facteur de longueur de flambement

#### Calcul de l'effort de flambement $F_K$

$$F_K = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_K^2}$$

$F_K$  effort de flambement critique,  $L_K$  longueur de la barre,  $E$  module d'élasticité,  $I$  moment d'inertie géométrique axial de la coupe transversale

#### Calcul de la contrainte de flambement $\sigma_K$

Pour déterminer la contrainte de flambement, on fait appel au coefficient d'élancement  $\lambda$  en tant que paramètre du matériau et au rayon du moment d'inertie géométrique  $i$ .

$$\lambda = \frac{\beta \cdot L}{i}$$

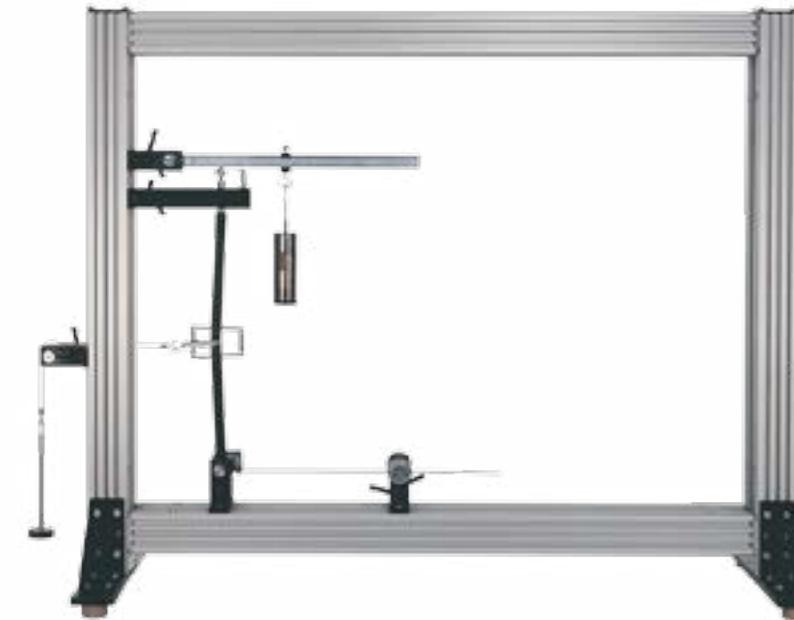
$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$\sigma_K = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2}$$

$\sigma_K$  contrainte de flambement,  $E$  module d'élasticité,  $\lambda$  coefficient d'élancement,  $\beta$  facteur de longueur de flambement,  $L$  longueur de la barre,  $i$  rayon du moment d'inertie géométrique,  $A$  surface de la coupe transversale de la barre de flambement,  $I$  moment d'inertie géométrique

## SE 110.19

### Étude de problèmes de stabilité simples



L'illustration montre le SE 110.19 dans un bâti semblable au SE 112.

#### Description

- **représentation de problèmes de stabilité simples au niveau de la barre de flambement**
- **détermination de la charge de flambement avec différentes conditions aux limites**
- **charge progressive de la barre de flambement**

Le flambement est un problème de stabilité qui survient dans la pratique lorsque des composants allongés sont soumis à une compression. Un système stable retourne à sa position d'équilibre après une "défaillance", p. ex. en raison d'une contrainte de compression. Si la contrainte de compression est trop élevée, cela entraîne une instabilité du système. Le composant fléchit par compression, ce qui entraîne une défaillance. La contrainte de compression critique pour laquelle le système est instable est appelée effort de flambement.

Un modèle simple de représentation des problèmes de stabilité consiste en une barre en deux parties à articulation élastique restant stable jusqu'à une certaine charge. En cas de dépassement de l'effort de flambement, la barre fléchit brusquement, devenant ainsi instable.

Le SE 110.19 permet d'étudier des problèmes de stabilité simples sur une barre de flambement avec différentes conditions aux limites.

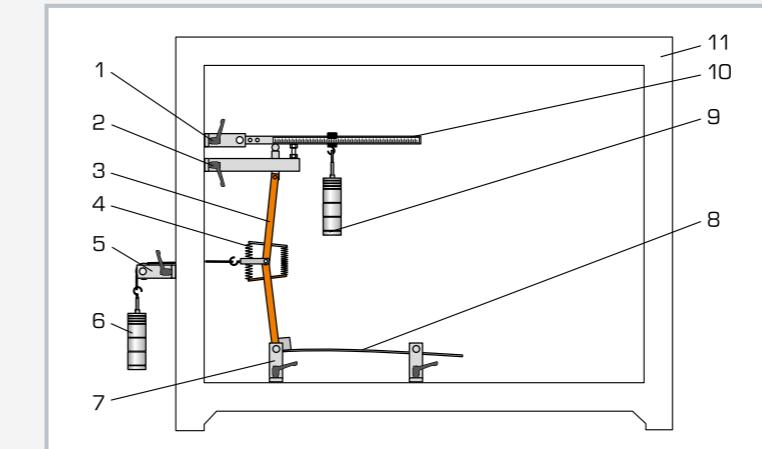
#### Contenu didactique/essais

- détermination de l'effort de flambement pour:
  - articulation élastique
  - fixation élastique
- étude du flambement sous l'influence
  - d'efforts tranchants additionnels
  - de la pré-déformation

Différentes conditions aux limites, comme p. ex. l'articulation élastique ou la fixation élastique, peuvent être représentées dans les essais. Deux ressorts de traction servent ici d'articulation élastique. Dans le cas de la fixation élastique, un ressort à lames en acier est fixé dans l'articulation inférieure. La longueur variable des ressorts à lames permet de réaliser divers degrés d'encastrement. Les deux cas peuvent être combinés.

Un autre essai illustre l'influence des efforts tranchants additionnels. Pour cela, un effort tranchant est exercé sur l'articulation dans la barre de flambement à l'aide d'un câble et des poids. Dans tous les essais, la barre de flambement est chargée jusqu'à ce qu'elle atteigne une position instable. Le bras de levier au niveau duquel la barre de flambement fléchit (par compression) est détecté au niveau de l'échelle, puis l'effort de flambement est déterminé.

Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégées dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté dans le bâti SE 112.



1 roulement à rotule, 2 palier avec élément de pression et vis de butée, 3 barre de flambement, 4 ressort articulé, 5 poulie de renvoi, 6 poids, 7 roulement à rotule, 8 ressort à lames, 9 poids, 10 levier de charge avec échelle, 11 bâti SE 112

#### Spécification

- [1] étude de la charge de flambement avec différentes conditions aux limites (articulation élastique, fixation élastique)
- [2] barre de flambement en deux parties avec articulation axiale
- [3] charge réglable progressivement à l'aide d'un levier et des poids
- [4] détermination de la charge à l'aide d'une échelle située sur le levier de charge
- [5] divers degrés d'encastrement via des ressorts à lames de longueur variable au niveau de l'appui inférieur
- [6] élément de pression acheminé avec un faible frottement dans le joint à rotule
- [7] articulations avec paliers à roulement
- [8] dispositif de génération d'efforts tranchants
- [9] système de rangement pour les pièces
- [10] montage expérimental dans le bâti SE 112

#### Caractéristiques techniques

Barre de flambement en deux parties avec articulation axiale

- l×h: 20x20mm
- longueur: 2x250mm
- appui: rotulée aux deux bouts

Articulation élastique

- 2 ressorts de traction, rigidité: 2N/mm
- bras de levier: 50mm

Fixation élastique avec ressorts à lames en acier

- longueur: 500mm
- section: 10x2mm
- moment d'inertie: 6,66mm<sup>4</sup>
- module d'élasticité: 205000N/mm<sup>2</sup>

Plage de force de compression: 25...120N

Effort tranchant: 0...20N

Levier de charge, rapport de levier: 1:2...1:5

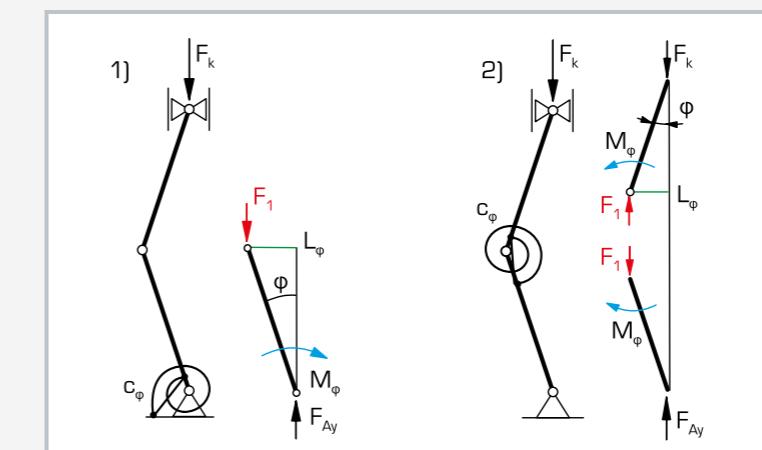
Poids

- 2x 1N [suspendue]
- 8x 1N
- 6x 5N

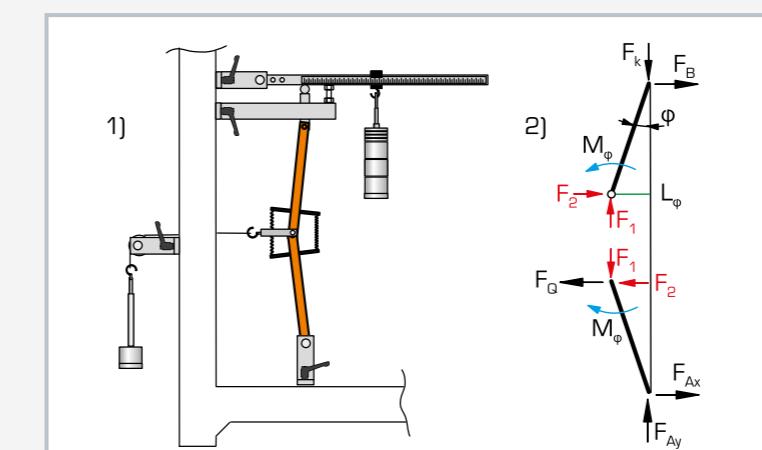
L×l×h: 1170x480x178mm (système de rangement)  
Poids: env. 28kg (total)

#### Liste de livraison

- 1 barre de flambement, en deux parties
- 1 jeu de poids
- 4 appuis
- 1 poulie de renvoi
- 1 levier de charge
- 1 ressort à lames
- 2 ressorts de traction
- 1 cordon
- 1 clé pour vis à six pans creux
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique



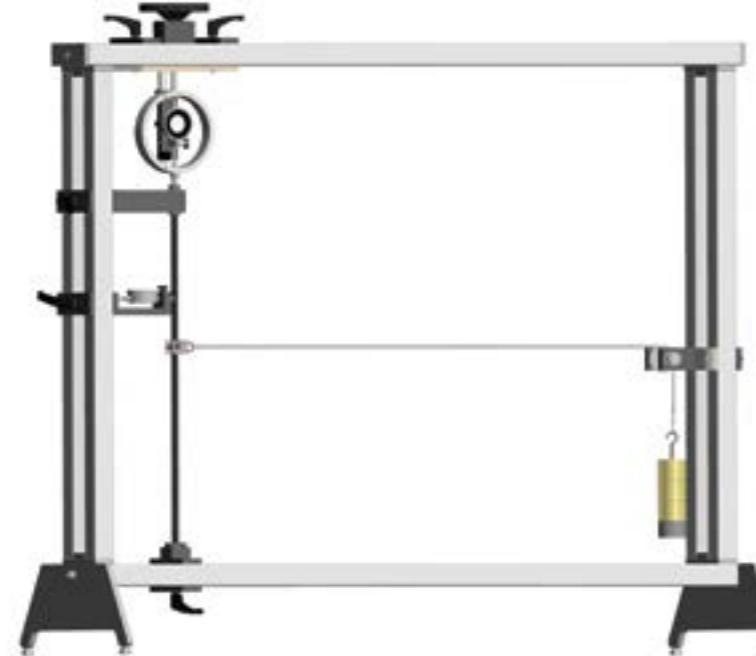
1) montage expérimental fixation élastique, 2) montage expérimental articulation élastique;  $F_k$  effort de flambement,  $F_1$  force d'articulation,  $F_{Ay}$  réaction d'appui,  $M_\phi$  moment de flexion interne,  $L_\phi$  déviation,  $c_\phi$  rigidité en torsion,  $\phi$  angle de déviation



1) montage expérimental articulation élastique avec charge transversale, 2) diagramme du corps libre;  $F_k$  effort de flambement,  $F_B$  et  $F_A$  réactions d'appui,  $M_\phi$  moment de flexion interne,  $L_\phi$  déviation,  $\phi$  angle de déviation,  $F_k$  force d'articulation,  $F_2$  force du câble

## SE 110.57

### Flambement de barres



L'illustration montre le SE 110.57 dans le bâti SE 112.

#### Description

- démonstration du flambement sur des barres
- barres d'essai constituées de différents matériaux et pour différents types d'appui
- essais avec application d'une force excentrique et d'efforts tranchants

Du fait de leur fonction, les composants longs et étroits tels que barres, poutres, tubulures etc. sont souvent soumis à une contrainte de compression sous l'effet de forces s'exerçant parallèlement à leur axe. Sous l'effet de forces de compression critiques, il est possible que de tels composants perdent en stabilité et soient déportés latéralement. Cette perte de stabilité brutale et continue est désignée par le terme technique de flambement. Dans ce cas, la défaillance ne concerne pas le matériau mais la forme du composant. À ce stade-là, les contraintes dans la barre restent souvent dans la zone élastique.

Le SE 110.57 permet d'illustrer très clairement le flambement élastique de barres soumises à différentes influences. Pour cela, une barre est encastrée ou rotulée aux deux extrémités selon le cas de flambement. Un dispositif de charge permet d'appliquer une force de compression sur la barre.

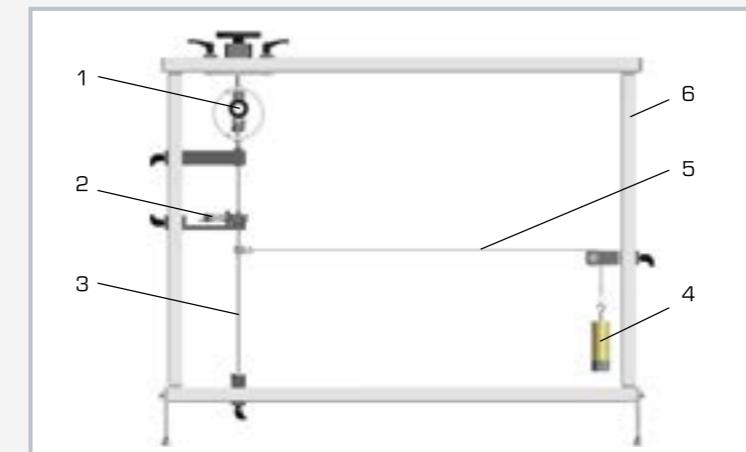
#### Contenu didactique/essais

- étude du flambement influencé par
  - ▶ différents types d'appui et d'encastrement
  - ▶ différentes sections
  - ▶ différents matériaux
  - ▶ efforts tranchants supplémentaires
- vérification de la théorie d'Euler: flambement au niveau de barres élastiques
- mesure de la force et de la déviation
- calcul de l'effort de flambement attendu avec la formule d'Euler du flambement
- interprétation graphique de la déviation et de la force

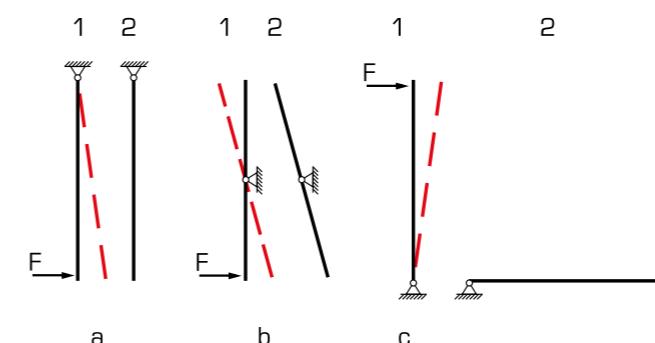
La force appliquée est mesurée et affichée sur un dynamomètre à cadran. Un comparateur à cadran affiche la déviation latérale de la barre.

Des essais permettent de démontrer d'autres éléments qui influencent le comportement de flambement, p.ex. en variant les matériaux ou les coupes transversales. Un autre essai montre l'influence d'efforts tranchants supplémentaires. À cet effet, on applique un effort tranchant sur l'articulation de la barre de flambement en utilisant un câble et un poids.

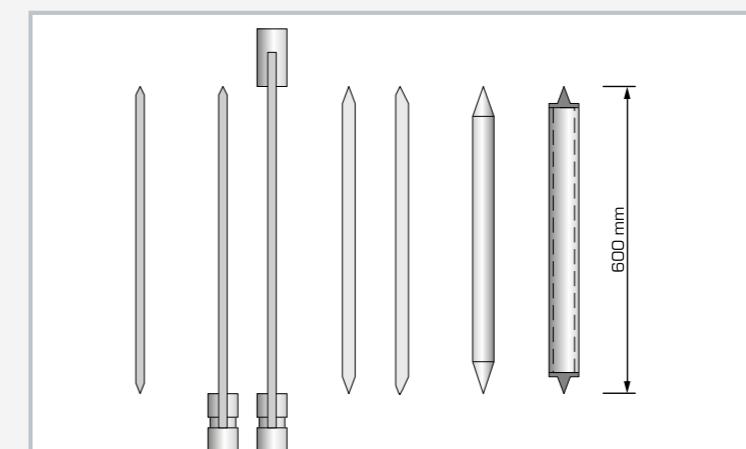
Les pièces de l'essai sont disposées de manière claire, et bien protégées dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté dans le bâti SE 112.



1 dispositif de charge, 2 comparateur à cadran pour déviation latérale de la barre d'essai,  
3 barre d'essai, 4 poids, 5 câble, 6 bâti SE 112



Different equilibrium positions: a stable vertical position, b an unstable equilibrium position, c a stable horizontal position after removing the load.



Test bars made of different materials and for different types of supports.

#### Spécification

- [1] démonstration très parlante du flambement élastique
- [2] dispositif de charge pour l'application de forces
- [3] barres d'essai rotulées ou encastrées
- [4] dispositif de génération d'efforts tranchants avec des poids échelonnés
- [5] mesure de la déviation latérale avec un comparateur à cadran
- [6] barres d'essai en différents matériaux: acier, aluminium
- [7] système de rangement pour les pièces
- [8] montage de l'essai dans le bâti SE 112

#### Caractéristiques techniques

##### Barres d'essai

- 3x acier, LxLxh: 600x20x4mm
- 2x aluminium, LxLxh: 600x25x6mm
- 1x aluminium, LxD: 600x10mm
- 1x aluminium, LxLxh: 600x15x2mm

##### Poids

- 1x 2,5N (suspense)
- 3x 5N

##### Plages de mesure

- force:  $\pm 5\text{kN}$
- déplacement: 0...10mm, graduation: 0,01mm

LxLxh: 1170x480x178mm (système de rangement)  
Poids: env. 30kg (total)

#### Liste de livraison

- |   |  |
|---|--|
| 1 | dispositif de charge                           |
| 1 | jeu de barres d'essai                          |
| 1 | appui  |
| 2 | comparateurs à cadran                          |
| 1 | câble  |
| 1 | poulie de renvoi                               |
| 1 | jeu de poids                                   |
| 1 | système de rangement avec mousse de protection |
| 1 | documentation didactique                       |

## WP 121

### Démonstration des cas de flambement d'Euler



#### Description

- représentation de tous les cas de flambement d'Euler en comparaison directe
- longueur de flambement clairement visible pour différents types d'appui
- barres d'essai en acier à ressorts
- jeu de poids à réglage fin

Dans la théorie de la stabilité, les quatre cas de flambement eulériens représentent le flambement élastique par flexion des barres droites soumises à une contrainte de compression. A partir d'une charge donnée (charge de flambement), la barre perd sa stabilité et une déformation croissante de la barre est constatée. L'axe de la barre se déporte latéralement. Euler décrit quatre cas de flambement de la barre élastique avec une force de compression axiale pour différents types de montage.

Le WP 121 permet de démontrer de manière claire les quatre cas de flambement eulériens. Pour cela, quatre barres sont encastrées ou montées de différentes manières dans un bâti et chargées.



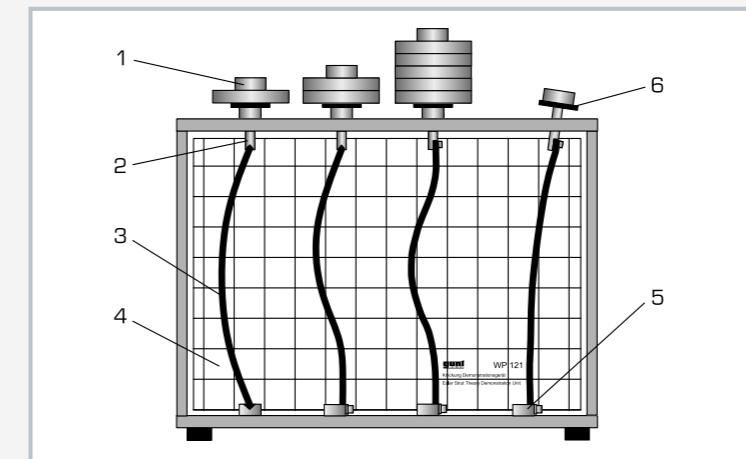
#### Contenu didactique/essais

- représentation des différents problèmes de flambement
  - ▶ cas eulérien 1: barre encastrée-libre
  - ▶ cas eulérien 2: barre rotulée aux deux bouts
  - ▶ cas eulérien 3: barre encastrée-rotulée
  - ▶ cas eulérien 4: barre encastrée aux deux bouts
- apprentissage du rapport entre la longueur de flambement, la charge de flambement et les différents types de montage

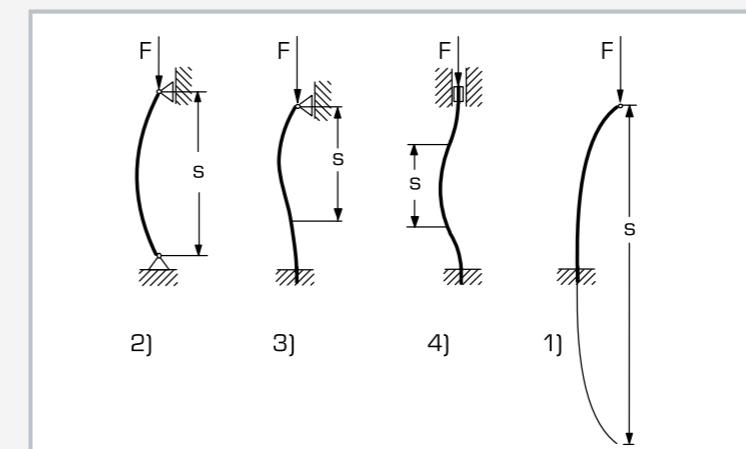
Selon le type d'appui, les barres d'essai sont encastrées ou rotulées. Tous les cas de flambement eulériens sont ainsi réalisés avec les différents types d'appui. Des logements sont prévus dans les supports supérieurs afin de placer les poids. Les barres d'essai sont chargées par étapes.

Cela permet de mettre clairement en évidence l'apparition de la perte de stabilité, le flambement.

Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégées dans un système de rangement.



1 poids, 2 palier libre, 3 barre, 4 paroi arrière avec impression sur trame, 5 encastrement, 6 logement pour poids



Longueur de flambement en fonction des conditions de montage des barres:  
1) cas eulérien 1: barre encastrée-libre  
2) cas eulérien 2: barre rotulée aux deux bouts  
3) cas eulérien 3: barre encastrée (en bas)-rotulée (en haut)  
4) cas eulérien 4: barre encastrée aux deux bouts;

F charge de flambement appliquée, s longueur de flambement

#### Spécification

- [1] démonstration graphique du flambement élastique
- [2] représentation de 4 les cas de flambement eulériens
- [3] 4 barres d'essai en acier
- [4] barres d'essai rotulées ou encastrées
- [5] les barres d'essai ne peuvent pas être surchargées
- [6] paroi arrière blanche, avec trame imprimée
- [7] système de rangement pour les pièces

#### Caractéristiques techniques

##### Barres d'essai

- nombre: 4
- longueur de barre: 180mm
- section des barres: 0,5x12mm
- matériau: acier 1.4310 pour ressorts
- charges de flambement: env. 2...32N

##### Poids

- 10x 5N
- 5x 1N

LxLxH: 380x110x270mm

Poids: env. 10kg

LxLxH: 720x480x178mm (système de rangement)

Poids: env. 10kg (système de rangement)

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 4 barres d'essai
- 1 jeu de poids
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique



Système de rangement

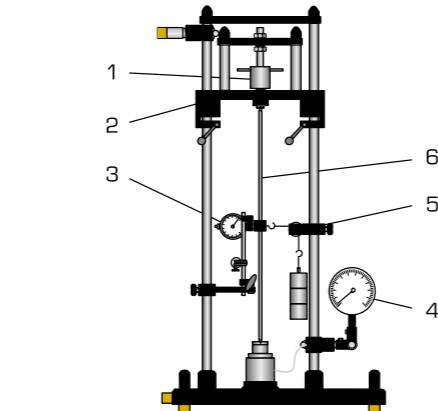
## WP 120

### Flambement de barres

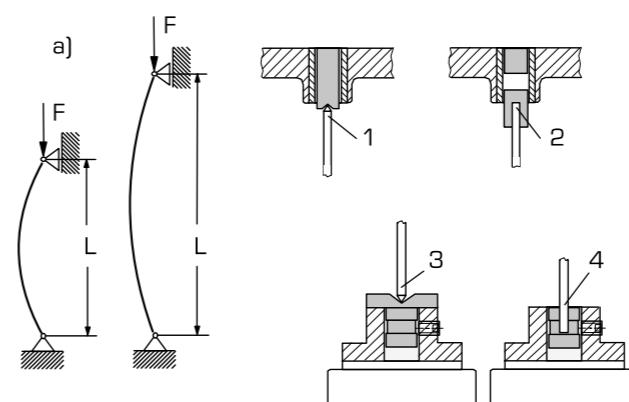


#### Contenu didactique/essais

- étude du flambement influencé par
  - ▶ différents types d'appui et d'encastrement
  - ▶ différentes longueurs de barre, sections
  - ▶ différents matériaux
  - ▶ de charges transversales supplémentaires
- vérification de la théorie d'Euler: flambement au niveau de barres élastiques
- calcul de l'effort de flambement attendu à l'aide de la formule d'Euler
- interprétation graphique de la déviation et de la force
- détermination du module d'élasticité pour un matériau inconnu (plastique renforcé de fibre de verre)
- mesure de la force et de la déviation
- avec le jeu complémentaire WP 120.01: étude du comportement de flambement sous l'influence
  - ▶ de différentes formes de la coupe transversale
  - ▶ d'application d'une force excentrique



1 broche, 2 traverse de charge réglable en hauteur, 3 comparateur à cadran pour la déviation latérale de la barre d'essai, 4 dynamomètre, 5 dispositif de génération d'une force transversale, 6 barre d'essai



a) essai sur l'influence de la longueur de la barre sur le comportement de flambement:  
F force appliquée, L longueur de la barre; 1 barre rotulée (en haut), 2 barre encastrée (en haut), 3 barre rotulée (en bas), 4 barre encastrée (en bas)

#### Description

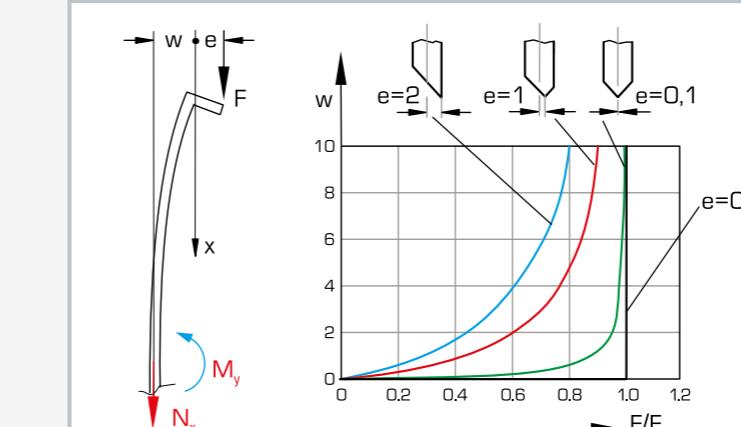
- étude de tous les problèmes de flambement importants
- vérification de la théorie d'Euler sur le flambement
- essais avec application de forces excentriques et charge transversale
- documentation didactique très complète

Dans le domaine de la mécanique appliquée, la perte de stabilité est appelée flambement. Lorsque l'axe de la barre est soumis à des forces de compression sous une charge croissante, il se déporte latéralement jusqu'à une défaillance soudaine et violente avant d'avoir atteint la limite de résistance à la rupture. À ce stade-là, les contraintes dans la barre restent souvent dans la zone élastique.

WP 120 examine le comportement au flambement de barres soumises à diverses influences. Tous les problèmes de flambement importants sont illustrés ici dans les essais. Pour cela, une barre est encastrée ou rotulée aux deux extrémités de l'appareil d'essai selon le cas de flambement. Une force de compression est appliquée sur la barre via une traverse de charge réglable en hauteur et une broche à commande manuelle.

Un jeu complémentaire de barres d'essai permet d'étendre les possibilités d'essai du WP120.

Les pièces de l'essai sont disposées de manière claire, et bien protégées dans un système de rangement.



Essai avec application d'une force excentrique (WP 120.01): F force appliquée, e excentricité, w fléchissement,  $M_y$  moment de flexion,  $F/F_k$  force de compression en fonction de la force de compression critique; diagramme: déviation de la barre d'essai pour différentes excentricités

#### Spécification

- [1] étude de tous les cas de flambement importants
- [2] vérification de la théorie d'Euler sur le flambement
- [3] essais en position horizontale ou verticale
- [4] barres d'essai de différentes longueurs composées de matériaux divers
- [5] barres d'essai rotulées ou encastrées
- [6] broche servant à appliquer les forces
- [7] dispositif de charge transversale servant à générer des efforts tranchants
- [8] mesure de force à l'aide d'un dynamomètre hydraulique
- [9] mesure de la déviation latérale à l'aide d'un comparateur à cadran
- [10] autres essais grâce au jeu complémentaire WP 120.01
- [11] système de rangement pour les pièces

#### Caractéristiques techniques

##### Barres d'essai

- nombre: 11
- longueur des barres: 350...700mm (max.)
- matériaux: aluminium, cuivre, laiton, acier, plastique renforcé de fibre de verre
- coupes transversales: 10x4mm, 25x6mm, 25x10mm

##### Broche de charge

- force: max. 2000N
- course: max. 10mm

Déviation latérale: max. 20mm

Orifice du logement de la barre d'essai: Ø=20mm

Poids pour charge transversale: max. 20N  
■ 1x 5N (suspenue), 3x 5N

##### Plages de mesure

- force: 0...2500N, graduation: 50N
- déviation: 0...20mm, graduation: 0,01mm

LxLxh: 620x450x1150mm

Poids: env. 63kg

LxLxh: 1170x480x178mm (système de rangement)

Poids: env. 12kg (système de rangement)

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de barres d'essai
- 1 comparateur à cadran avec support
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

## Accessoires pour WP 120

Le WP 120 comporte les barres d'essai suivantes:

	<b>Barre rotulée aux deux bouts</b> Section: 20x4 mm Longueur de barre: 350, 500, 600, 650, 700 mm Matériau: acier
	<b>Barre rotulée aux deux bouts</b> Section: 25x6 mm Longueur de barre: 600 mm Matériau: Al, CuZn, Cu
	<b>Barre rotulée aux deux bouts</b> Section: 25x10 mm, longueur de barre: 600 mm Matériau: plastique renforcé de fibres de verre
	<b>Barre encastrée – rotulée</b> Section: 20x4 mm, longueur de barre: 650 mm Matériau: acier
	<b>Barre encastrée – encastrée</b> Section: 20x4 mm, longueur de barre: 650 mm Matériau: acier

Le jeu complémentaire WP 120.01 comporte les barres d'essai suivantes:

	<b>Barre rotulée aux deux bouts</b> Section: 25x6 mm Longueur de barre: 500 mm Excentricité: 0mm, 1mm, 3mm Matériau: Al
	<b>Barre rotulée aux deux bouts</b> Section: 40x6 mm, longueur de barre: 500 mm Matériau: Al
	<b>Barre rotulée aux deux bouts</b> Section: 20x10x2 mm, longueur de barre: 700 mm Matériau: Al
	<b>Barre rotulée aux deux bouts</b> Section: 25x10 mm, longueur de barre: 700 mm Matériau: plastique renforcé de fibres de verre
	<b>Barre rotulée aux deux bouts</b> Section: D = 15x2 mm, longueur de barre: 700 mm Matériau: Al
	<b>Barre rotulée aux deux bouts</b> Section: D = 14 mm, longueur de barre: 700 mm Matériau: Al
	<b>Barre rotulée aux deux bouts</b> Section: D = 16 x2 mm, D = 20x1,5 mm Longueur de barre: 700 mm Matériau: PVC

Systèmes de rangement de GUNT aident à organiser leur laboratoire



**WP 121**  
Démonstration des cas de flambe-ment d'Euler



**WP 950**  
Déformation de poutres droites



**WP 130**  
Démonstration des hypothèses des contraintes



**SE 110.19**  
Étude de problèmes de stabilité simples

## FL 160

### Flexion gauche



#### Description

- flexion droite et gauche au niveau de la poutre
- profils symétrique et asymétrique: section en I, section en L, section en U
- contrainte de flexion et contrainte de torsion combinées via l'application de force excentrique

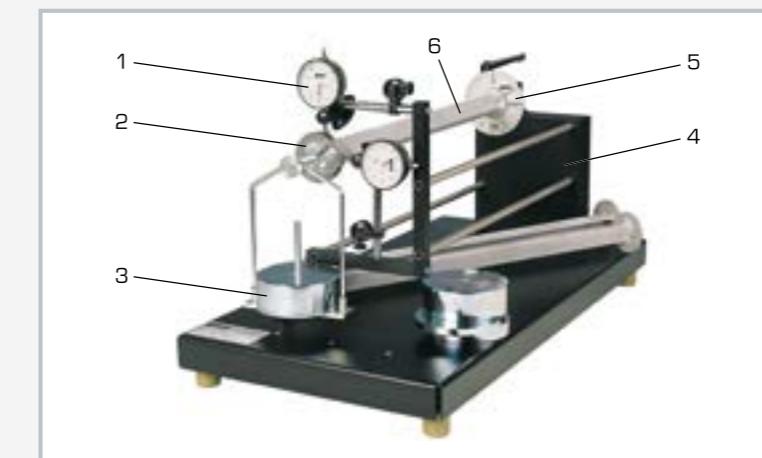
La flexion droite d'une poutre, également appelée flexion axiale, survient lorsque le plan de charge coïncide avec l'un des axes principaux de la section de poutre. Le fléchissement s'effectue alors dans le sens de la charge et peut être décrit à l'aide de courbes de flexion élastique.

Lors de la flexion gauche d'une poutre, également appelée flexion biaxiale, les axes principaux de la section ne correspondent pas à la direction de la charge. Pour éviter l'apparition d'une torsion, la ligne active de la charge doit passer par le centre de cisaillement. Si ce n'est pas le cas, la poutre est soumise à une contrainte de flexion et de torsion combinées.

Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégées dans un système de rangement.

#### Contenu didactique/essais

- moment de déviation ( $I_{y_2}$ ) et moment d'inertie axial ( $I_y, I_z$ )
- hypothèses de Bernoulli
- flexion droite au niveau de la poutre (axiale)
  - ▶ avec section en I
  - ▶ avec section en L
  - ▶ avec section en U
- flexion gauche (biaxiale) au niveau de la poutre avec section en L
  - ▶ calcul de la fibre neutre
- contrainte de flexion et de torsion combinées via l'application de force excentrique
- détermination du centre de cisaillement au niveau de la poutre avec section en U
  - ▶ apprentissage du flux de cisaillement (efforts de cisaillement dans une section)
- comparaison des valeurs calculées et mesurées



1 comparateur à cadran, 2 dispositif de déplacement du point d'application de la charge et bride d'application de la charge, 3 poids, 4 colonne d'encastrement, 5 bride d'encastrement de la poutre avec échelle angulaire, 6 poutre

#### Spécification

- [1] appareil d'essai de flexion générale et de flexion gauche des poutres droites
- [2] 3 poutres: section en I, en L et en U
- [3] la bride d'encastrement de la poutre peut être encastrée par torsion dans la colonne d'encastrement
- [4] bride d'encastrement avec échelle angulaire pour afficher la position angulaire de la poutre
- [5] excentricité réglable du point d'application de la charge
- [6] 2 comparateurs à cadran avec support servant à saisir la déformation horizontale et verticale de la poutre soumise à une charge
- [7] système de rangement pour les pièces

#### Caractéristiques techniques

Poutre en aluminium  
■ longueur déformée: 500mm

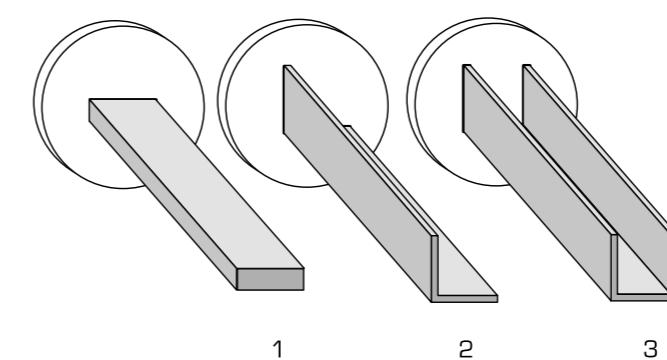
Excentricité du point d'application de la charge  
■ 0...25mm

Comparateurs à cadran  
■ 0...10mm, graduation: 0,01mm

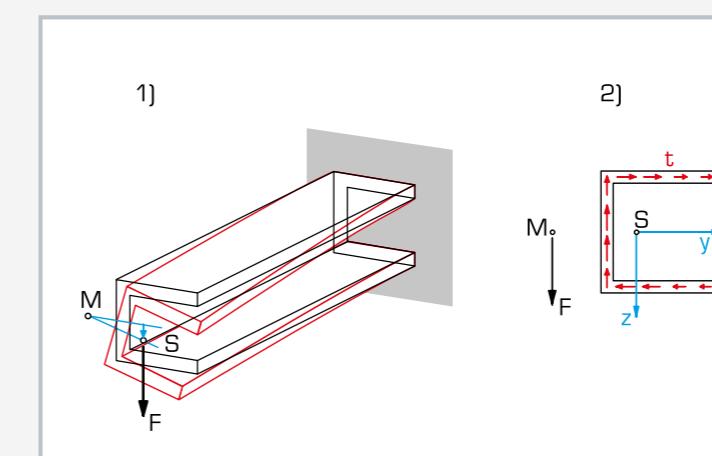
Échelle angulaire  
■ 0...360°, graduation: 1°

Poids  
■ 1x 2,5N (suspente)  
■ 1x 2,5N  
■ 3x 5N

LxLxH: 700x350x400mm  
Poids: env. 25kg  
LxLxH: 720x480x178mm (système de rangement)



Poutre: 1 section en I, 2 section en L, 3 section en U



1 la poutre se tord en cas d'application de la force au centre de gravité, 2 aucune torsion en cas d'application de la force au centre de cisaillement; M centre de cisaillement, S centre de gravité, F force, t flux de cisaillement

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 3 poutres
- 2 comparateurs à cadran avec support
- 1 jeu de poids
- 1 nivelle
- 1 clé pour vis à six pans creux
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

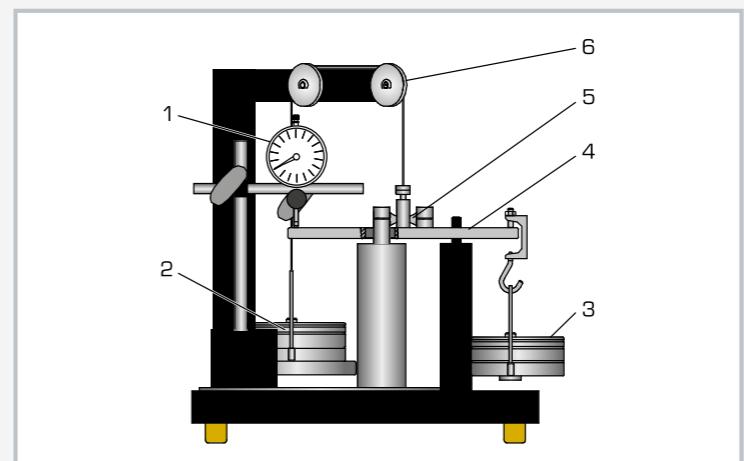
## WP 130

### Démonstration des hypothèses des contraintes

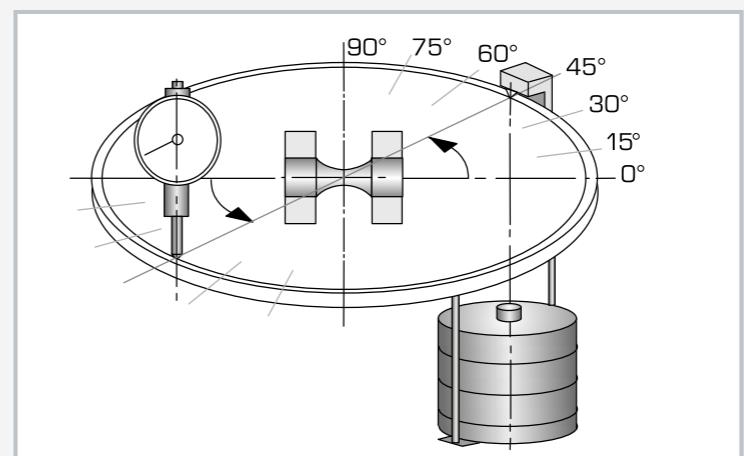


#### Contenu didactique/essais

- génération de fatigues multiaxiales dans les éprouvettes en métal ductile:
  - acier, cuivre, laiton, aluminium
- génération de couples de charge divers
  - moment de flexion pur
  - moment de torsion pur
  - combinaison du moment de flexion et du moment de torsion
- détermination de la limite apparente d'élasticité
- vérification de l'hypothèse des contraintes normales
- vérification de l'hypothèse des contraintes de cisaillement
- représentation dans le cercle de Mohr des contraintes



1 comparateur à cadran, 2 poids d'équilibrage, 3 poids, 4 plaque de charge, 5 éprouvette dans les encastrements, 6 poulie de renvoi et câble pour la compensation des charges propres de la plaque



Eprouvette encastrée: 0°=flexion pure, 90°=torsion pure, toutes les positions angulaires comprises entre ces valeurs=charge combinée

#### Description

- vérification de l'hypothèse des contraintes normales et de l'hypothèse des contraintes de cisaillement
- fatigue multiaxiale des éprouvettes en métal ductile par une flexion pure, une torsion pure ou une combinaison des deux
- charge sans efforts tranchants de l'éprouvette par compensation de l'effet des charges propres

Les hypothèses des contraintes s'appliquent dans le domaine de la résistance des matériaux lorsque des contraintes de comparaison sont calculées pour des contraintes composées égales.

Les hypothèses des contraintes suivantes, prenant en compte les propriétés des matériaux, ont fait leurs preuves dans la pratique: hypothèse des contraintes normales, hypothèse de

modification de la forme et hypothèse des contraintes de cisaillement.

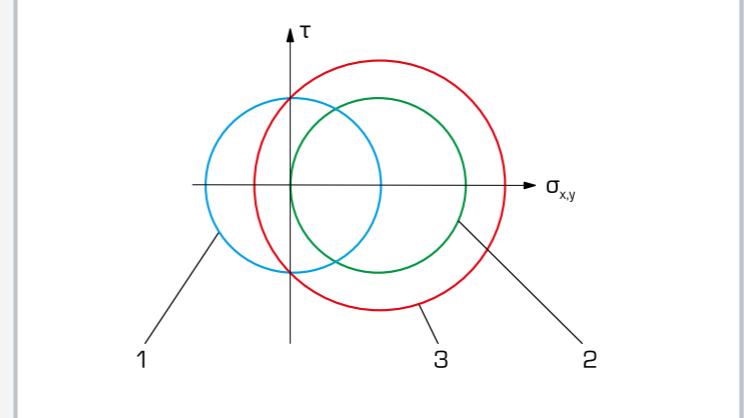
L'appareil d'essai WP 130 permet de vérifier ces hypothèses de contraintes de comparaison sur des éprouvettes composées de différents métaux. Pour cela, une contrainte multiaxiale est générée en un point de l'éprouvette et la déformation présente est mesurée.

L'éprouvette est serrée unilatéralement sur le bâti fixe. Une plaque de charge est serrée sur l'éprouvette de l'autre côté. Les poids est appliqué sur le périmètre extérieur de la plaque. L'utilisation des poids d'équilibrage permet de compenser la charge propre de la plaque et les poids.

Ainsi, seules des contraintes normales et de cisaillement sont présentes en un point de l'éprouvette, ce qui permet d'éviter les efforts tranchants.

La plaque de charge est pourvue d'un graticule afin de pouvoir fixer les poids par pas de 15°. Il est ainsi possible de réaliser des moments de flexion et de torsion pures et des couples de charges combinées. Des points de mesure situés de manière diamétrale opposée aux poids sont prévus sur la plaque de charge pour mesurer la déformation. Il est par conséquent possible de mesurer la déformation à l'endroit où la déformation est la plus importante.

Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégées dans une système de rangement.



Cercles de Mohr des contraintes avec une charge combinée: flexion avec torsion simultanée; 1 torsion pure, 2 flexion pure, 3 flexion et torsion ensemble;  $\sigma$  contraintes normales,  $\tau$  contraintes de cisaillement

#### Spécification

- [1] essais de vérification des hypothèses de contraintes de comparaison de la résistance des matériaux
- [2] 7 combinaisons de charge basées sur la flexion et la torsion
- [3] charge sans efforts tranchants de l'éprouvette par compensation de l'effet des charges propres
- [4] éprouvettes en acier, cuivre, laiton, aluminium
- [5] génération de couples de charge à l'aide de poids et d'un bras de levier
- [6] mesure de la déformation à l'endroit où la déformation est la plus importante
- [7] système de rangement pour les pièces

#### Caractéristiques techniques

- Eprouvettes
- longueur: 49mm
  - longueur d'encastrement: 11,5mm
  - diamètre de l'éprouvette dans la section de mesure: Ø=4mm

- Poids pour charger les éprouvettes
- 1x 2N (suspenue), 1x 1N, 1x 2N, 1x 4N, 2x 8N

- Poids pour compenser la charge et la plaque de charge
- 1x1N, 2x2N, 1x4N, 2x8N

Bras de levier: 100mm

- Déformation
- plage de mesure: 0...10mm
  - graduation: 0,01mm

- LxLxH: 390x330x360mm  
Poids: env. 17kg  
LxLxH: 720x480x178mm (système de rangement)  
Poids: env. 10kg (système de rangement)

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 16 éprouvettes rondes (4x acier, 4x Cu, 4x Al, 4x laiton)
- 1 jeu de poids [charge]
- 1 jeu de poids [compensation]
- 1 clé pour vis à six pans creux
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

# Analyse de contraintes expérimentelle: jauge de contrainte et photoélasticimétrie

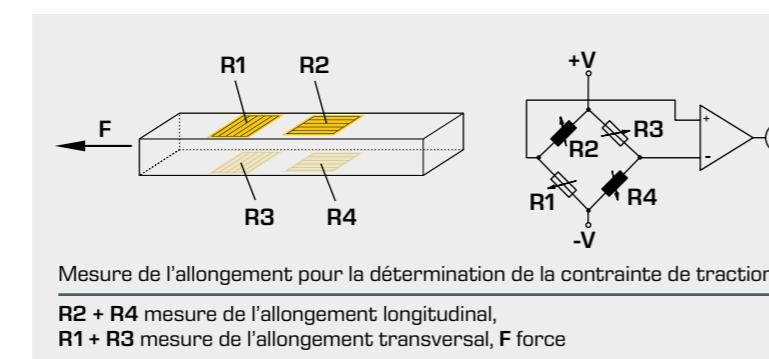
Pour dimensionner de manière adéquate des composants qui seront sollicités sur le plan mécanique, il est indispensable d'avoir des connaissances sur le type des sollicitations. Les grandeurs décisives pour leur construction sont les contraintes maximales rencontrées, qui détermineront des dimensions du composant. Ces contraintes doivent être déterminées au préalable puis vérifiées de manière expérimentale au cours d'un essai. L'analyse expérimentale des contraintes peut ainsi être considérée comme le trait d'union entre les calculs théoriques et les démonstrations par le biais des essais.

## Mesure de l'allongement à l'aide des jauge de contrainte

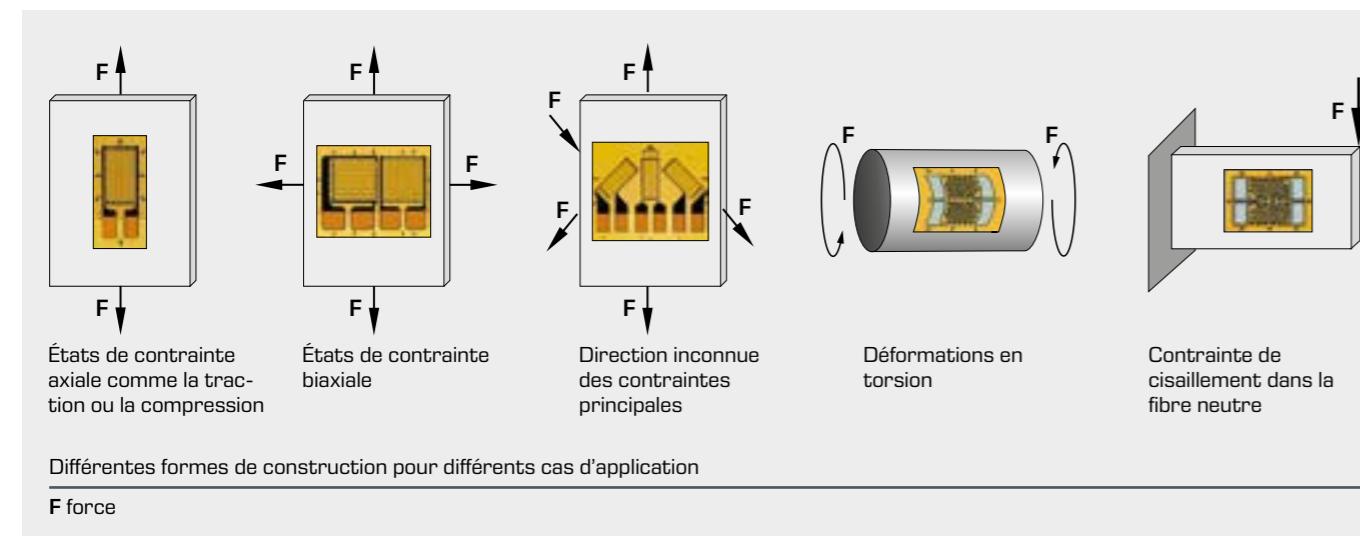
Les contraintes présentes dans les composants peuvent être déterminées par le biais d'une mesure de l'allongement, étant donné qu'il existe une relation directe entre l'allongement et la contrainte d'un matériau. Une branche importante de l'analyse des contraintes se base sur le principe de la mesure de l'allongement. Cette méthode présente l'avantage de pouvoir utiliser les jauge de contrainte sur des composants réels opérationnels.

## Détermination de la valeur et de la direction des contraintes mécaniques

Les contraintes  $\sigma$  sont calculées à l'aide de la loi de Hooke à partir des allongements mesurés à la surface  $\epsilon$ .



## Sélection et installation de la jauge de contrainte pour l'étude des différents états de contrainte



Deux méthodes d'analyse expérimentale des contraintes sans perturbations sont présentées ici:

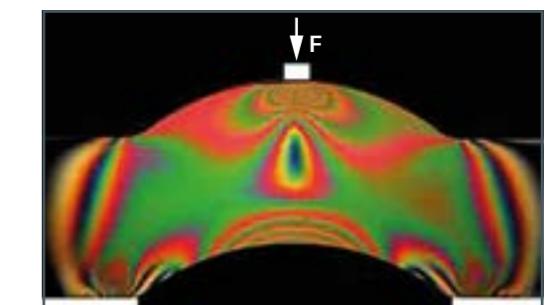
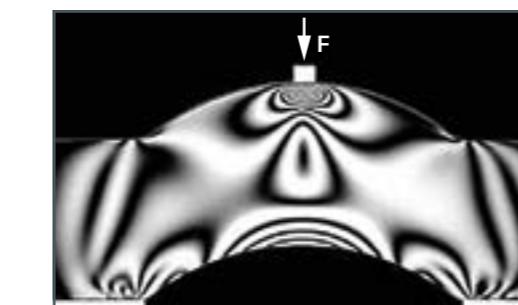
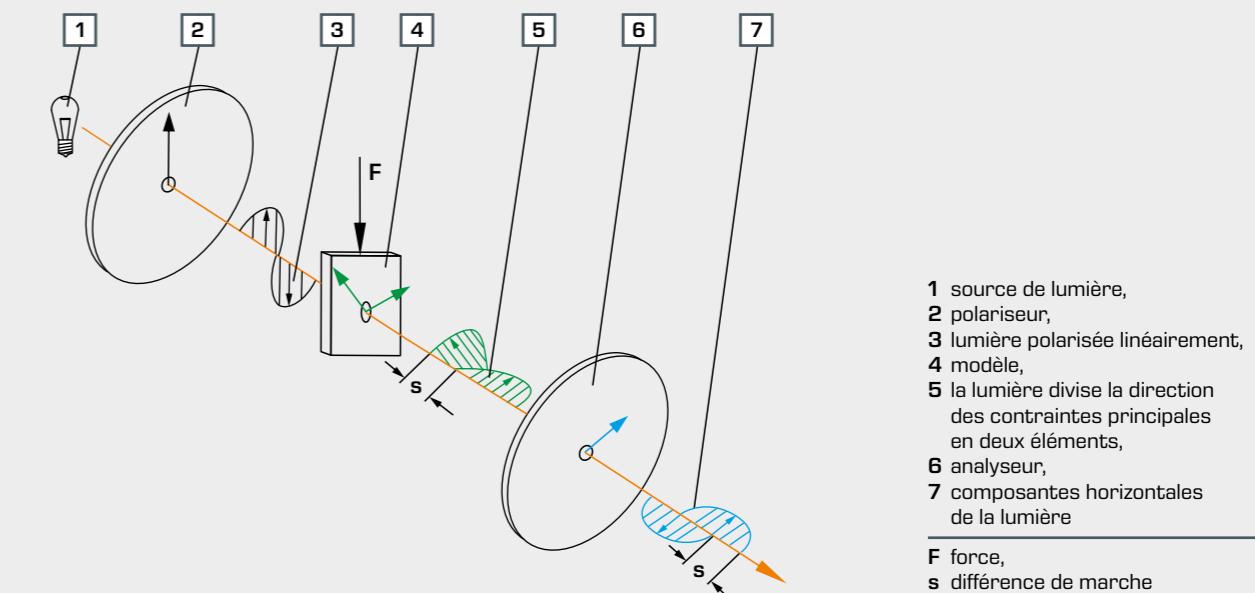
- le **procédé électrique** de mesure de l'allongement à l'aide de jauge de contrainte permettant de déterminer de manière indirecte les contraintes réelles
- le **procédé de photoélasticimétrie** pour la représentation directe de la répartition des contraintes

## Représentation de la répartition des contraintes à l'aide de la photoélasticimétrie

La photoélasticimétrie est un procédé très parlant, dont le montage expérimental est simple, et qui permet de visualiser des contraintes bidimensionnelles dans le modèle d'un composant. Une lumière polarisée est diffusée à travers un modèle composé de plastiques transparents spéciaux, qui est soumis à une charge mécanique. Cette charge produit des contraintes dans le modèle. Des biréfringences apparaissent alors dans le plastique dans la direction des contraintes principales. Un filtre de polarisation (analyseur) permet de rendre visibles les contraintes présentes dans le modèle. La photoélasticimétrie fournit donc une image complète du champ de contraintes, offrant ainsi une bonne vue d'ensemble des zones ayant une concentration élevée

de contraintes, et de celles où les contraintes sont faibles. Cela permet de vérifier de manière parlante les observations faites sur les contraintes de manière analytique ou numérique. Les effets utilisés par ce procédé sont produits par une propriété des matériaux transparents qui deviennent biréfringents sous l'action d'une sollicitation mécanique et de la lumière. La biréfringence des plastiques apparaît dans la même direction que les contraintes principales. Ces propriétés physiques sont utilisées en photoélasticimétrie pour rendre visibles les contraintes et les allongements qu'elles produisent. C'est pourquoi on utilise, pour les essais, des modèles en matière plastique à la place des matériaux originaux.

## Principe de la photoélasticimétrie



Le polariscope permet d'étudier des modèles transparents de composants dont les propriétés optiques se modifient sous l'influence de contraintes internes. Si le modèle est exempt de toute contrainte, il ne se produit aucun biréfringence et le modèle apparaît en noir. Si on lui applique par contre une charge croissante, une différence de marche apparaît, et celle-ci augmente proportionnellement au différentiel des contraintes principales.

L'arc représenté est soumis à la charge  $F$  à la manière d'une voûte. On distingue bien la forte densité isochromatique à l'intérieur du cercle de l'arc, à l'endroit où les contraintes sont les plus élevées. La lumière monochromatique offre un tracé précis des différentes lignes: on distingue très bien dans la figure du haut le tracé "en oignon" des lignes sous l'emplacement de l'application de la force.

## FL 101

### Kit d'application pour jauge de contrainte



#### Description

- équipement complet pour l'application de jauge de contrainte avec connexion et raccordement de jauge de contrainte
- renforcement des capacités techniques lors de l'utilisation de la technique de mesure pour jauge de contrainte

La mesure au moyen de jauge de contrainte est la méthode la plus importante de détermination de la déformation mécanique. Cette méthode de mesure permet d'effectuer des mesures électriques de grandeurs mécaniques.

La technique de mesure basée sur la jauge de contrainte est relativement simple d'application. Elle présente une résolution élevée et peut être utilisée directement aux endroits pertinents. Une jauge de contrainte ne constitue néanmoins pas un appareil de mesure complet.

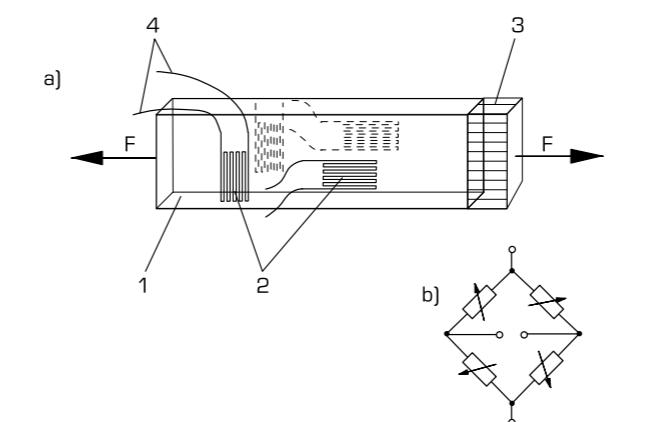
La jauge de contrainte doit d'abord être préparée par l'utilisateur afin d'être prêt à l'emploi après une installation. La qualité de cette technique de mesure dépend non seulement de la jauge de contrainte, mais surtout du type d'application et de son exécution. Les jauge de contrainte fonctionnent avec une fiabilité élevée lorsque les utilisateurs maîtrisent parfaitement l'utilisation de ces éléments capteurs sensibles aussi bien sur le plan théorique que sur le plan technique.

Le kit d'application FL 101 offre tous les outils et aides nécessaires pour procéder à des exercices de base avec les jauge de contrainte.

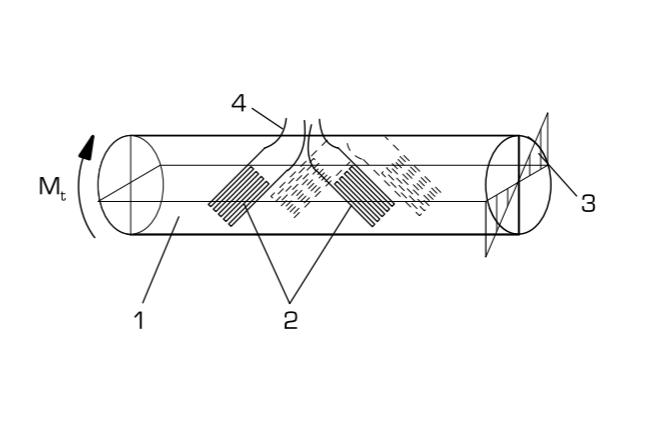
Pour que les points de mesure puissent fonctionner de manière optimale, les composants sont tout d'abord minutieusement préparés, puis équipés des jauge de contrainte correspondantes.

#### Contenu didactique/essais

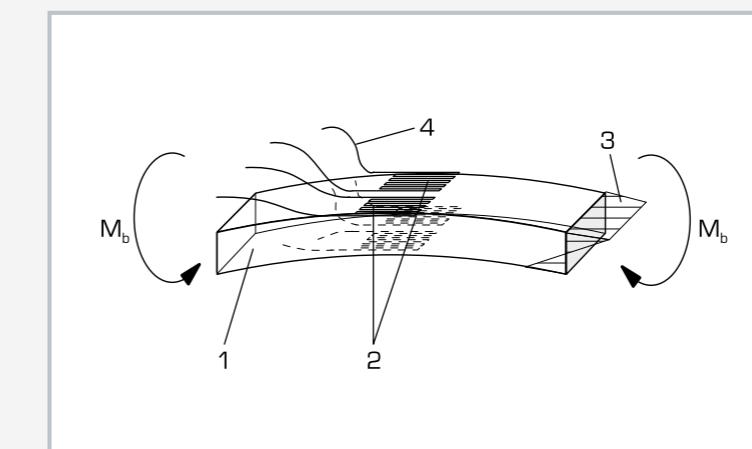
- principes de base de la mesure électrique de grandeurs mécaniques
- préparation du point de mesure
- sélection d'une jauge de contrainte appropriée
- fixation, raccordement et câblage de la jauge de contrainte sur des pièces exposées à des sollicitations mécaniques
- protection du point de mesure pour jauge de contrainte contre les effets extérieurs
- interprétation (théorique) des valeurs de mesure



a) disposition des jauge de contrainte sur la barre de traction, b) raccordement des jauge de contrainte; 1 barre de traction, 2 jauge de contrainte, 3 répartition des contraintes, 4 câblage; F force appliquée



Disposition des jauge de contrainte sur la barre de torsion: 1 barre ronde, 2 jauge de contrainte, 3 répartition des contraintes, 4 câblage;  $M_t$  moment de torsion



Disposition des jauge de contrainte sur la poutre en flexion: 1 poutre, 2 jauge de contrainte, 3 répartition des contraintes, 4 câblage;  $M_b$  moment de flexion

#### Spécification

- [1] gamme de montage complète d'application de jauge de contrainte
- [2] jauge de contrainte avec grilles de mesure individuelles, grilles de mesure parallèles et grilles de mesure à un angle de 90°, 45°
- [3] jauge de contrainte pour composants en acier ou en aluminium
- [4] tous les outils, adhésifs et aides nécessaires sont contenus dans le kit
- [5] mallette de transport verrouillable
- [6] kit d'apprentissage avec manuel spécialisé, script d'exercice et vidéo
- [7] câble et fiches pour raccorder les jauge de contraintes appliquées à l'amplificateur de mesure FL 151 disponible comme accessoire

#### Caractéristiques techniques

- Jauge de contrainte: 350 Ohm
- 10x avec grille de mesure montée séparément pour St
  - 10x avec grille de mesure montée en parallèle pour St
  - 10x avec grille de mesure 90° pour St
  - 10x avec grille de mesure 45° pour St
  - 10x avec grille de mesure montée séparément pour Al

Fer à souder: 16W  
Câble plat: 6x0,14mm<sup>2</sup>  
Loupe: grossissement 6x

230V, 50Hz, 1 phase  
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase  
UL/CSA en option  
Lxlxh: 470x360x170mm (mallette)  
Poids: env. 8kg

#### Liste de livraison

- 1 mallette de transport
- 1 jeu de jauge de contrainte
- 1 kit d'application complet (solvants, détergents, adhésif spécial pour jauge de contrainte, ruban adhésif, revêtement)
- 1 jeu de pinces
- 2 ciseaux
- 1 jeu d'outils d'application
- 1 jeu d'outils de coupe
- 1 fer à souder, cosses à souder
- 1 jeu d'accessoires (outils de mesure, loupe, câble plat, toile abrasive, crayon, gomme à effacer)
- 1 kit d'apprentissage pour jauge de contrainte (manuel spécialisé, script d'exercice, vidéo) en allemand ou en anglais
- 8 fiches à 6 voies pour raccordement au FL 151
- 5m câble pour raccordement au FL 151

## FL 100

### Système didactique pour jauge de contrainte



#### Description

- **initiation de base aux méthodes de mesure au moyen de jauge de contrainte**
- **barres d'essai pour la traction la flexion et la torsion avec points de mesure pour jauge de contrainte en pont intégral**
- **amplificateur de mesure mono-vie universel**

Les jauge de contrainte sont largement utilisées en tant que capteurs pour l'enregistrement de forces, moments et déformations.

L'appareil d'essai FL 100 offre une introduction détaillée aux principes de la technique de mesure basée sur la jauge de contrainte. Trois éprouvettes pour les efforts de traction, de flexion et de torsion sont équipées de quatre points de mesure pour jauge de contrainte. Les jauge de contrainte sont montées en pont intégral. Une charge définie est générée à l'aide des poids. Les déformations peuvent ainsi être enregistrées par calcul.

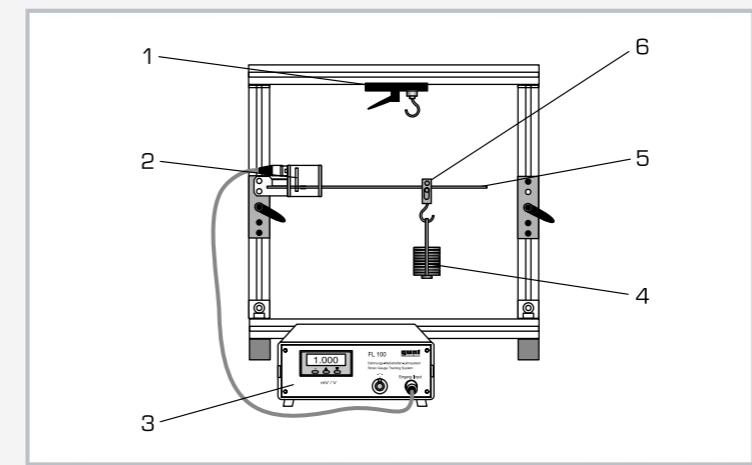
Les éprouvettes peuvent être utilisées rapidement et avec précision dans les bâtis. La zone des points de mesure pour jauge de contrainte est protégée par une plaque en plexiglas et parfaitement visible.

#### Contenu didactique/essais

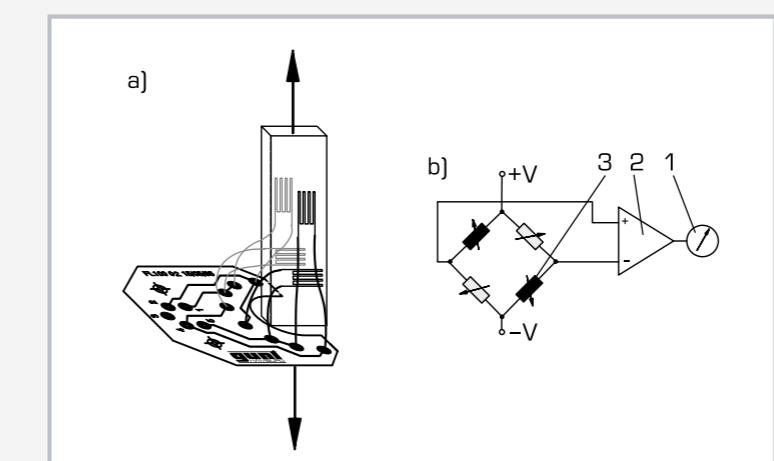
- principes de base de la mesure au moyen des jauge de contrainte
- types de jauge de contrainte et aux techniques d'application
- calcul des déformations mécaniques en cas de traction, flexion et torsion
- rapport entre déformation mécanique et réaction électrique dans une jauge de contrainte
- avec FL 100.01, FL 100.02, FL 100.03: détermination du module d'élasticité pour différents matériaux à partir des données de mesure d'un essai de traction

#### Traction

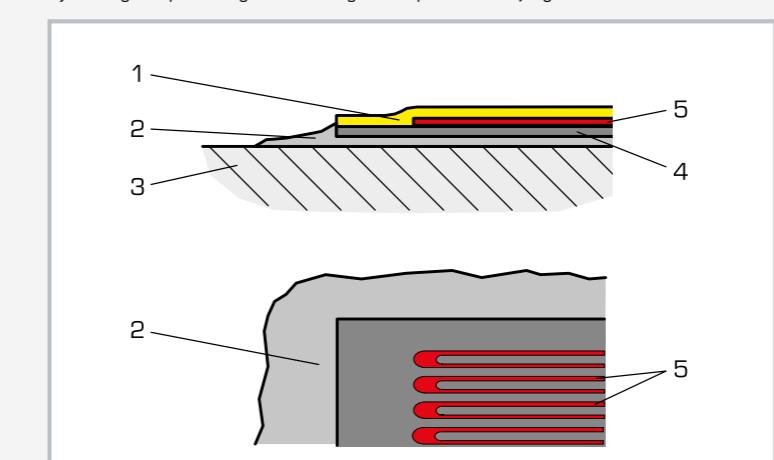
Trois autres barres de traction sont disponibles comme accessoires: en laiton (FL 100.01), en cuivre (FL 100.02) et en aluminium (FL 100.03). Il est ainsi possible de déterminer les modules d'élasticité dans les essais.



1 support, 2 point de mesure pour jauge de contrainte, 3 amplificateur de mesure, 4 poids, 5 poutre en flexion, 6 cavalier coulissant



a) disposition des jauge de contrainte sur la barre de traction [pont intégral]  
b) montage en pont intégral: 1 affichage, 2 amplificateur, 3 jauge de contrainte



Structure d'un point de mesure pour jauge de contrainte: 1 couche protectrice, 2 adhésif, 3 composant, 4 feuille de support, 5 grille de mesure

#### Spécification

- [1] appareil d'essai servant à l'apprentissage des bases de la technique de mesure basée sur la jauge de contrainte
- [2] essais de traction, de flexion et de torsion avec point de mesure pour jauge de contrainte dans un montage en pont intégral
- [3] zone d'application de jauge de contrainte protégée par une plaque en plexiglas
- [4] éprouvette en acier
- [5] amplificateur de mesure avec affichage numérique à 4 chiffres
- [6] bâti servant au logement des objets de mesure
- [7] détermination du module d'élasticité sur différents matériaux à l'aide des objets de mesure  
FL 100.01, FL 100.02, FL 100.03
- [8] système de rangement pour les pièces

#### Caractéristiques techniques

##### Barre de traction

- longueur de mesure: 50mm
- section: 2x10mm<sup>2</sup>
- module d'élasticité: 191000N/mm<sup>2</sup>
- coefficient de Poisson: 0,305

##### Poutre en flexion

- longueur: 385mm
- section: 5x20mm<sup>2</sup>
- module d'élasticité: 210000N/mm<sup>2</sup>
- moment résistant: 74,26mm<sup>3</sup>

##### Barre de torsion

- longueur: 500mm, Ø=10mm
- moment résistant polaire: 196,3mm<sup>3</sup>
- module de glissement: 80000N/mm<sup>2</sup>

##### Poids

- petit: 10x 0,5N, 1x 1N (suspente)
- grand: 1x 5N, 2x 10N, 1x 20N, 1x 5N (suspente)

Point de mesure pour jauge de contrainte pont intégral, 350Ω

##### Amplificateur

- plage de mesure: ±24mV
- résolution: 1µV
- plage de réglage avec équilibrage à zéro: ±1mV
- tension d'alimentation: 10VCC

Ouverture du bâti lxh: 480x450mm

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

Llxh: 560x410x610mm (bâti)

Llxh: 600x400x320mm (système de rangement)

Poids: env. 20kg

#### Liste de livraison

- 1 bâti
- 3 éprouvettes pour jauge de contrainte
- 2 jeux de poids
- 2 clés pour vis à six pans creux
- 1 amplificateur de mesure avec câble de raccordement pour jauge de contrainte
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

## FL 102

### Détermination du facteur k par les jauge de contrainte



#### Description

- mesure du fléchissement et des déformations
- détermination de la sensibilité à la déformation (facteur k) par les jauge de contrainte

Utilisés comme outils universels dans l'analyse des contraintes expérimentales, les jauge de contrainte offrent la possibilité de transformer les grandeurs mécaniques en grandeurs électriques. Les grandeurs électriques ainsi générées deviennent alors accessibles pour le traitement électrique des signaux et permettent de mesurer la résistance à la traction et la résistance à la compression.

Si un dispositif de mesure fonctionne correctement, la valeur numérique de la grandeur de mesure enregistrée doit correspondre à celle de la valeur de mesure indiquée. Lors des planifications et des évaluations des mesures, la sensibilité à la déformation (facteur k) est prise en compte par les jauge de contrainte. Une caractéristique importante des jauge de contrainte, le facteur k, indique le rapport entre la déformation et la modification de la résistance.

L'appareil d'essai FL 102 permet de mesurer simultanément les déformations à l'aide d'un comparateur à cadran et les allongements à l'aide d'un pont intégral pour jauge de contrainte.

#### Contenu didactique/essais

- principes de base de la mesure au moyen de jauge de contrainte
- mesure du fléchissement à l'aide d'un comparateur à cadran
- détermination de la sensibilité à la déformation par les jauge de contrainte, facteur k

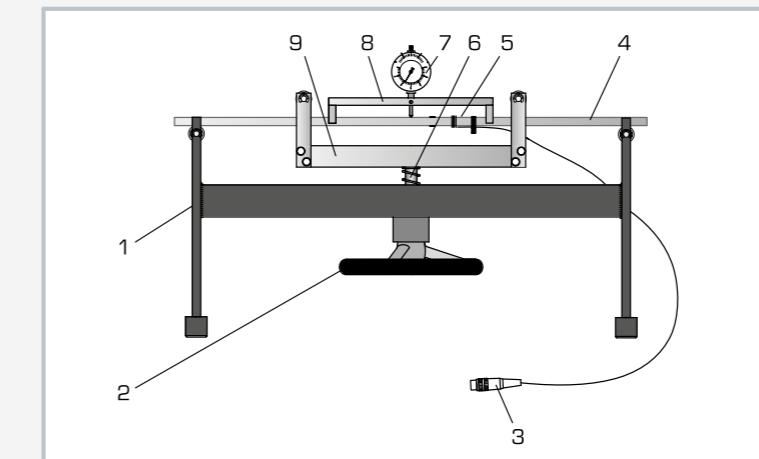
La sensibilité à la déformation des jauge de contrainte est ensuite calculée à partir des mesures.

Dans le montage expérimental, une barre est montée sur roulements à billes à deux endroits, permettant ainsi une flexion pure. La poutre est chargée à l'aide d'une broche, puis le fléchissement est enregistré par un comparateur à cadran. La déformation peut ainsi être lue directement. Dans le même temps, la déformation à la surface de la poutre est enregistrée par deux jauge de contrainte sur le côté compression et par deux jauge de contrainte sur le côté traction. Les jauge de contrainte sont montées en pont intégral.

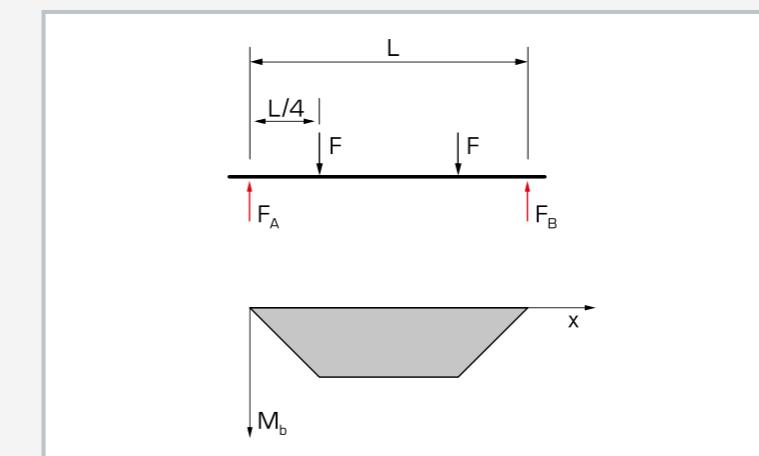
L'amplificateur de mesure fournit la tension d'alimentation du pont et affiche sous forme de valeurs de tension numériques le "désaccord du pont" en fonction de la charge. L'affichage numérique dispose également d'une fonction de tarage permettant d'exclure l'influence des précharges.

Le facteur k inconnu peut alors être calculé en tant que caractéristique essentielle à partir du fléchissement des mesures au moyen des jauge de contrainte.

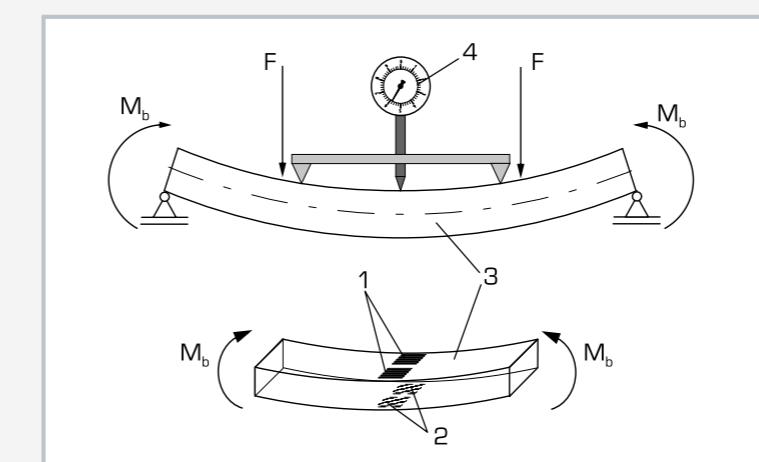
Les bases pratiques, comme p. ex. l'application des jauge ou le raccordement à un pont de mesure, peuvent être parfaitement intégrées dans le concept d'apprentissage.



1 bâti de base, 2 volant à main, 3 raccord à l'amplificateur de mesure, 4 poutre en flexion, 5 point de mesure pour jauge de contrainte, 6 broche, 7 comparateur à cadran, 8 support pour comparateur à cadran, 9 traverse



Forces et courbe du moment de flexion élastique sur poutre en flexion: noir: force appliquée, rouge: réactions d'appui



1 jauge de contrainte sur la face supérieure de la poutre (côté compression), 2 jauge de contrainte sur la face inférieure de la poutre (côté traction), 3 poutre en flexion, 4 comparateur à cadran; M<sub>b</sub> moment de flexion, F force appliquée

#### Spécification

- [1] étude du fléchissement et des déformations afin de déterminer le facteur k
- [2] poutre en flexion avec 2 jauge de contrainte côté compression et 2 jauge de contrainte côté traction
- [3] jauge de contrainte montées en pont intégral
- [4] montage de la poutre sur roulement à billes en 2 endroits, permettant une flexion pure
- [5] dispositif de charge mécanique avec broche, volant à main et traverse
- [6] comparateur à cadran avec support sans liaison fixe pour une mesure directe du fléchissement
- [7] amplificateur de mesure avec affichage numérique à 4 chiffres

#### Caractéristiques techniques

Poutre en flexion en acier: 660x25x12mm

Application de jauge de contrainte

- pont intégral, 350 Ohm
- 2 jauge de contrainte sur le côté supérieur et 2 autres sur le côté inférieur de la poutre

Amplificateur

- plage de mesure:  $\pm 2\text{mV/V}$
- résolution:  $1\mu\text{V/V}$
- plage de réglage avec équilibrage à zéro:  $\pm 1\text{mV}$
- tension d'alimentation: 10VCC

Comparateur à cadran

- 0...20mm
- graduation: 0,01mm

LxLxH: 660x200x430mm

Poids: env. 20kg

#### Liste de livraison

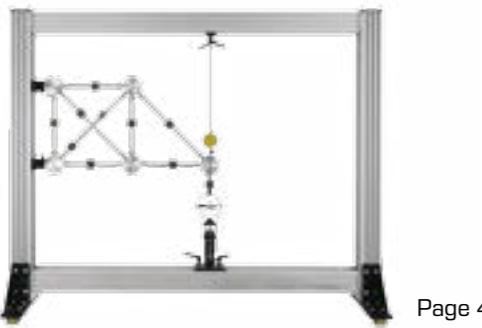
- 1 appareil d'essai
- 1 support
- 1 amplificateur de mesure
- 1 clé pour vis à six pans creux
- 1 documentation didactique

## FL152: acquisition et évaluation assistées par ordinateur des signaux des jauge de contrainte

**SE 110.21**  
Forces dans différents treillis plans



**SE 110.22**  
Forces dans un treillis hyperstatique



**SE 130**  
Forces dans un treillis type Howe



**FL 120**  
Analyse des contraintes au niveau d'un diaphragme



Page 130

**FL 130**  
Analyse des contraintes au niveau d'un réservoir à paroi mince



Page 132

**FL 140**  
Analyse des contraintes au niveau d'un réservoir à paroi épaisse



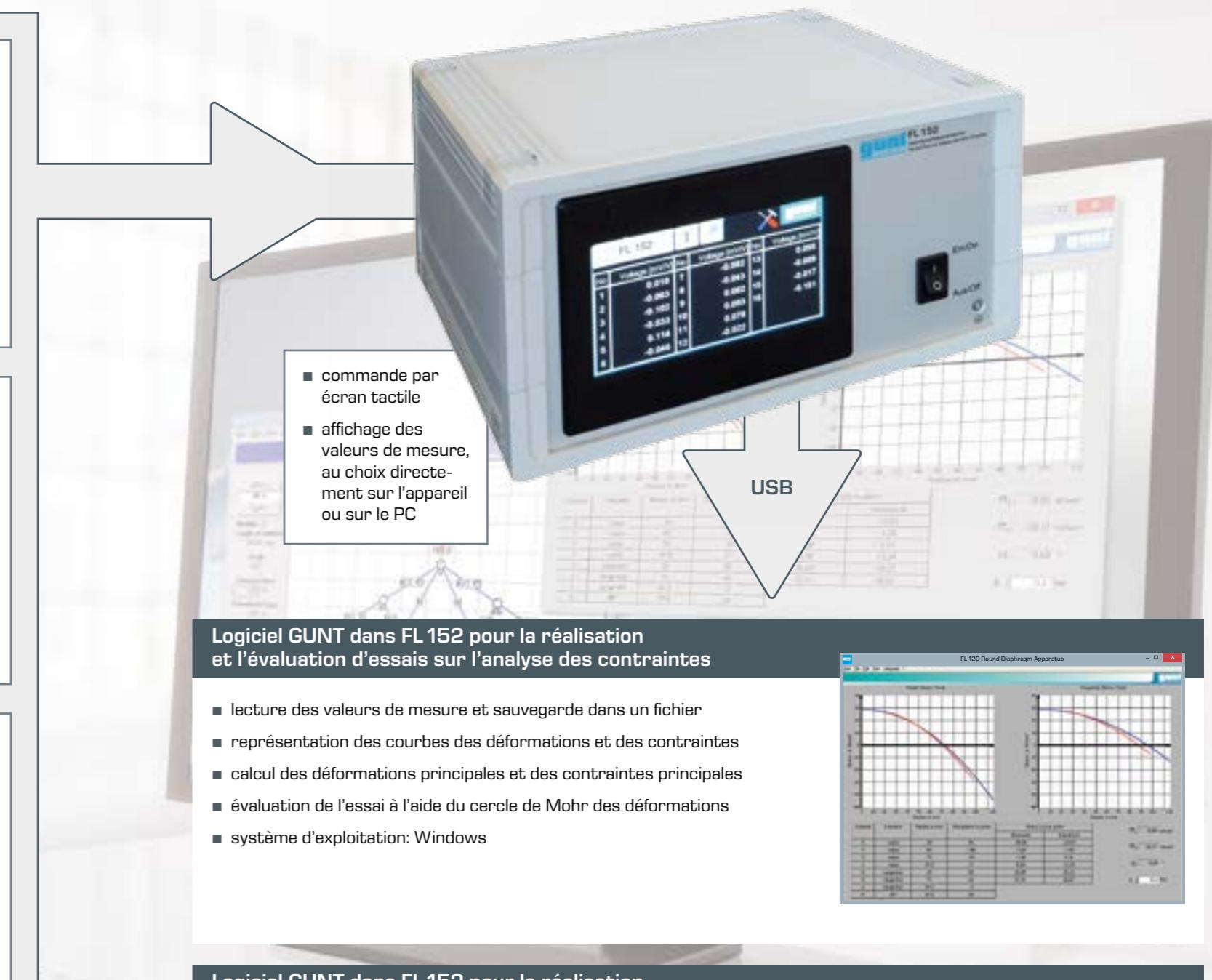
Page 134

L'appareil FL 152 sert à amplifier les signaux de mesure lorsque l'on enregistre des forces ou des contraintes (et donc des déformations) à l'aide de jauge de contrainte sur nos appareils d'essai. Ces signaux sont traités et exploités au sein d'un logiciel GUNT.

L'appareil dispose de 16 voies d'entrée permettant de traiter les signaux de mesure analogiques envoyés par les jauge de contrainte.

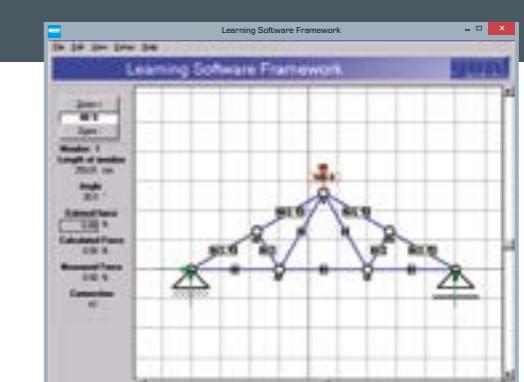
Le FL 152 peut soit être utilisé en tant qu'appareil autonome, soit être relié à un PC par l'intermédiaire d'une interface USB.

Ce logiciel GUNT a été conçu pour accompagner de manière didactique l'apprentissage dans le domaine de l'analyse des contraintes et de l'analyse des treillis.



Logiciel GUNT dans FL 152 pour la réalisation et l'évaluation d'essais sur l'analyse des treillis

- accompagnement dans la réalisation et l'évaluation des essais
- simulation de treillis
- treillis configurables
- comparaison des forces en présence: théorie et mesure
- impression possible des feuilles de travail



## FL 152

### Amplificateur de mesure multivoie



#### Description

- **16 voies d'entrée pour traiter les signaux de mesure analogiques des jauge de contrainte, raccordement simple via un connecteur d'entrées multiples**
- **logiciel intégré pour l'évaluation des essais d'analyse des contraintes (FL 120, FL 130, FL 140) et des essais de forces dans les treillis (SE 130, SE 110.21, SE 110.22)**

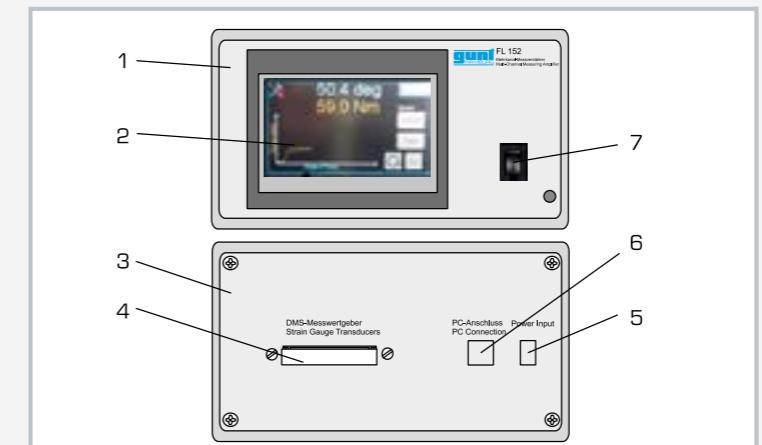
Les contraintes présentes dans les composants sont déterminées dans l'analyse des contraintes expérimentales en mesurant les déformations. Dans l'industrie, les déformations sont souvent enregistrées à l'aide de jauge de contrainte. Les jauge de contrainte ne fournissent que de petits signaux de mesure analogiques, ces signaux doivent être amplifiés par des amplificateurs de mesure. Ils sont ensuite convertis en impulsions numériques et affichés comme valeurs de mesure. Les valeurs de mesure peuvent être évaluées et traitées avec le PC.

#### Contenu didactique/essais

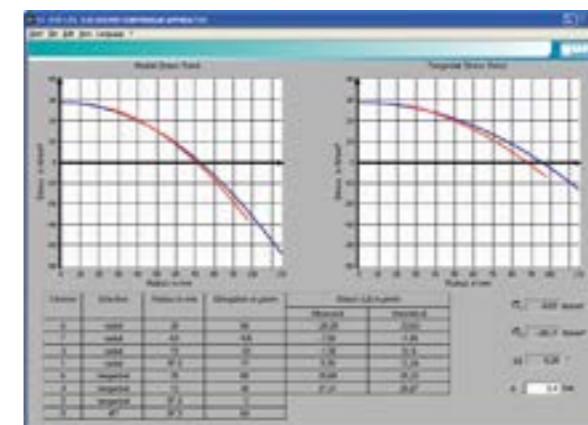
- amplification des signaux à partir des points de mesure pour jauge de contrainte
- traitement des valeurs de mesure sur le PC
- évaluation des essais d'analyse des contraintes concernant: FL 120, FL 130, FL 140
- interprétation des essais de forces dans les treillis concernant: SE 130, SE 110.21, SE 110.22

Le FL 152 est un amplificateur de mesure multivoie qui alimente les circuits à pont pour jauge de contrainte et permet de traiter les signaux de mesure reçus. L'amplificateur de mesure contient 16 voies d'entrée. Les points de mesure pour jauge de contrainte sont raccordés via un connecteur multiple 68 pôles.

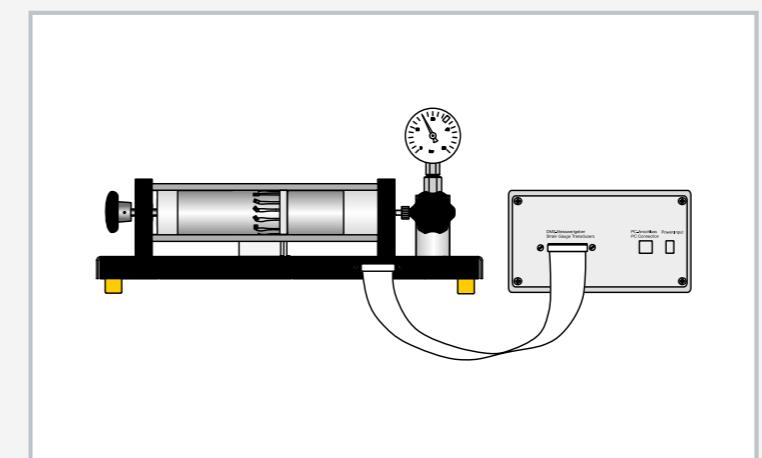
L'utilisation de l'amplificateur de mesure multivoie s'effectue à l'aide d'un écran tactile ou à l'ordinateur à l'aide du logiciel fourni. La liaison au PC est assurée par une connexion USB. Les valeurs de mesure peuvent être lues et enregistrées sur le PC (p. ex. avec MS Excel).



1 vue avant, 2 écran tactile, 3 vue arrière de l'appareil, 4 raccordement des points de mesure pour jauge de contrainte, 5 alimentation électrique, 6 interface USB, 7 commutateur principal



Logiciel d'application pour les analyses des contraintes par exemple avec le FL 120 (analyse des contraintes au niveau d'un diaphragme)



Exemple d'application: FL 152 associé au FL 130 (analyse des contraintes au niveau du réservoir à paroi mince)

#### Spécification

- [1] amplificateur de mesure multivoie servant à traiter les signaux des jauge de contrainte
- [2] raccordement des jauge de contrainte en pont intégral ou en demi- pont
- [3] raccordement des jauge de contrainte via un connecteur d'entrée 68 pôles
- [4] tarage automatique des valeurs de mesure
- [5] traitement des valeurs de mesure directement dans l'amplificateur de mesure ou sur le PC à l'aide du logiciel fourni
- [6] logiciel intégré pour appareils d'essai concernant d'analyse des contraintes (FL 120, FL 130, FL 140) et des essais de forces dans les treillis (SE 130, SE 110.21, SE 110.22)
- [7] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

#### Caractéristiques techniques

##### Amplificateur

- nombre de voies d'entrée: 16

Raccordement des jauge de contrainte en pont intégral ou en demi-pont

- résistance: min. 350 Ohm/jauge de contrainte
- tension d'alimentation des jauge de contrainte:  $\pm 5\text{VCC}$

Tension d'entrée: max.  $\pm 32\text{mV}$

230V, 50Hz, 1 phase  
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option  
LxLxH: 230x200x120mm  
Poids: env. 2kg

#### Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows recommandé

#### Liste de livraison

- 1 amplificateur de mesure multivoie
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 notice

## FL 120

### Analyse des contraintes au niveau d'un diaphragme



#### Description

- **fléchissement et déformation d'un diaphragme soumis à une charge de compression**
- **diaphragme avec application de jauge de contrainte**
- **détermination des profils de contraintes radiales et tangentielles à partir des déformations mesurées**

Pour l'analyse expérimentale des contraintes, on utilise des jauge de contrainte pour déterminer les contraintes présentes dans les composants et les constructions. Les contraintes maximales constituent des grandeurs déterminantes pour la construction, et permettent de définir les dimensions d'un composant. La technique de mesure basée sur la jauge de contrainte fournit les valeurs de mesure des déformations, qui sont requises pour calculer les contraintes mécaniques.

L'appareil d'essai FL 120 permet de mesurer le fléchissement et la déformation d'un disque circulaire soumis à différentes contraintes de compression. À cet effet, un disque circulaire mince, également appelé diaphragme, est fermement serré et soumis à une compression.

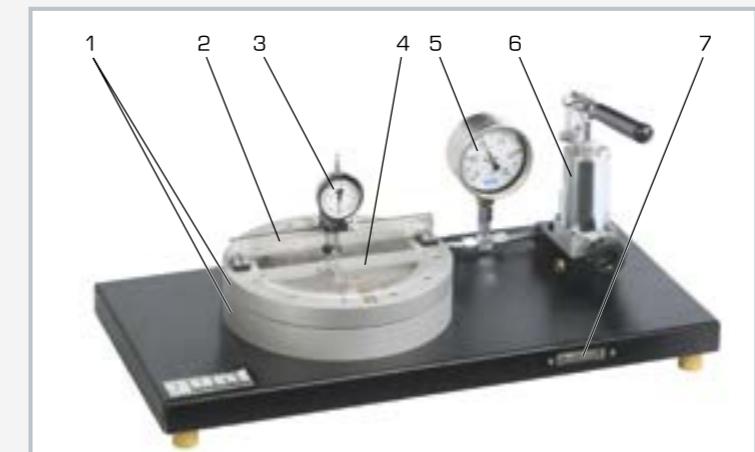
#### Contenu didactique/essais

- mesure de la déformation radiale et de la déformation tangentielle à l'aide de jauge de contrainte
- mesure du fléchissement à l'aide d'un comparateur à cadran
- calcul des contraintes à partir des déformations mesurées: contrainte radiale, contrainte tangentielle
- détermination de la direction des contraintes principales
- utilisation du cercle de Mohr des déformations pour la détermination des déformations principales
- principe de base: mesure des déformations à l'aide de la technique de mesure basée sur la jauge de contrainte

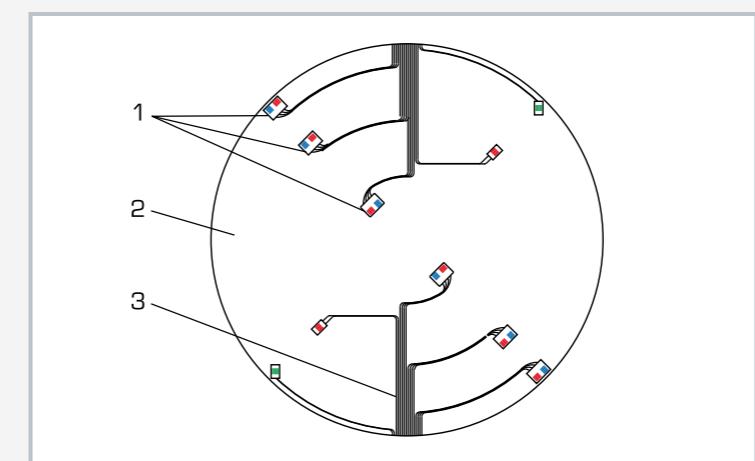
Un cylindre à commande manuelle avec piston génère une pression dans un système hydraulique sans entretien. Cette pression s'affiche sur un manomètre. Les déformations à la surface du diaphragme sont enregistrées par des jauge de contrainte. La disposition des jauge de contrainte à des emplacements optimaux offre un bon aperçu de la courbe des contraintes sur le disque circulaire.

Les contraintes maximales qui apparaissent sont calculées à l'aide de la loi d'élasticité. Les valeurs de mesure des jauge de contrainte sont enregistrées et affichées à l'aide de l'amplificateur de mesure FL 152. Afin de faciliter l'interprétation de l'essai et de la représenter de manière explicite, il est possible de sauvegarder les valeurs de mesure dans le logiciel d'application.

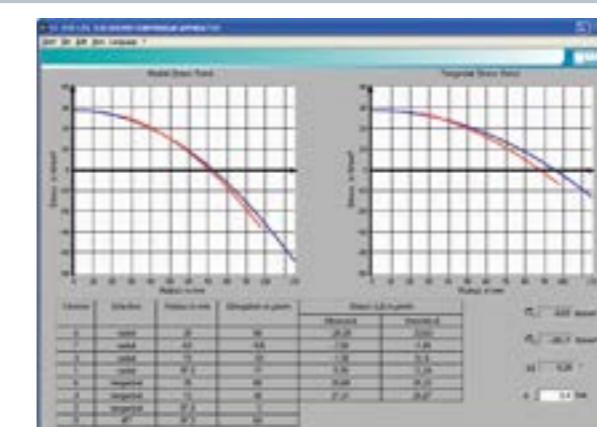
Dans le même temps, on mesure le fléchissement du diaphragme à l'aide d'un comparateur à cadran. Le comparateur à cadran peut être déplacé sur une traverse et permet d'effectuer des mesures sur chaque rayon souhaité.



1 serrage pour disque circulaire, 2 traverse avec graduation, 3 comparateur à cadran, 4 disque circulaire, 5 manomètre, 6 pompe hydraulique, 7 raccord pour amplificateur de mesure FL 152



Disposition des jauge de contrainte sur le disque circulaire: 1 points de mesure pour jauge de contrainte, 2 disque circulaire, 3 câblage, en rouge: déformations dans la direction radiale; en bleu: déformations dans la direction tangentielle, en vert: poussée



Logiciel d'application pour analyse des contraintes: représentation de la courbe des contraintes

#### Spécification

- [1] étude du fléchissement et de la déformation d'un disque circulaire mince soumis à une contrainte de compression
- [2] jauge de contrainte mesurant la déformation dans la direction radiale et la direction tangentielle
- [3] jauge de contrainte installée comme pont intégral
- [4] mesure du fléchissement possible sur chaque rayon
- [5] mesure du fléchissement par comparateurs à cadran coulissant, échelle indique la position sur le long du rayon
- [6] système hydraulique fermé hermétiquement, sans entretien pour générer de la pression
- [7] cylindre hydraulique avec pompe hydraulique et manomètre
- [8] l'amplificateur de mesure FL 152 requis
- [9] logiciel d'analyser les valeurs de mesure dans FL 152

#### Caractéristiques techniques

- Disque circulaire en aluminium
- diamètre externe:  $\varnothing=230\text{mm}$
  - diamètre utilisé dans l'essai:  $\varnothing=200\text{mm}$
  - épaisseur: 3mm

- Application de jauge de contrainte
- 8 jauge de contrainte: demi-ponts, 350 Ohm
  - facteur k:  $2,00 \pm 1\%$
  - tension d'alimentation: 10V

- Comparateur à cadran
- 0...20mm
  - graduation: 0,01mm

- Manomètre
- 0...1bar
  - précision: classe 1,0

Pression du système: max. 0,6bar

LxLxH: 700x350x350mm  
Poids: env. 25kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 documentation didactique

## FL 130

### Analyse des contraintes au niveau d'un réservoir à paroi mince



#### Description

- déformation d'un réservoir soumis à une pression intérieure
- cylindre avec application de jauge de contrainte sous forme de réservoir
- états de contraintes axiales ou biaxiales représentés dans l'essai

Pour dimensionner des conduites, des réservoirs sous pression ou des chaudières, on les classe parmi les réservoirs à paroi mince. Pour le calcul et la conception de ces réservoirs, les contraintes principales constituent les grandeurs déterminantes. Les contraintes présentes dans un réservoir ne sont pas mesurées directement mais sont déterminées via la mesure des déformations à la surface (technique de mesure basée sur la jauge de contrainte).

L'appareil d'essai FL 130 permet d'étudier les contraintes sur un réservoir à paroi mince soumis à une pression intérieure. Le réservoir rempli d'huile est fermé hermétiquement d'un côté à l'aide d'un couvercle, et doté de l'autre côté d'une fermeture mobile avec un piston. Le piston peut être déplacé à l'aide d'un volant à main pourvu d'une broche filetée.

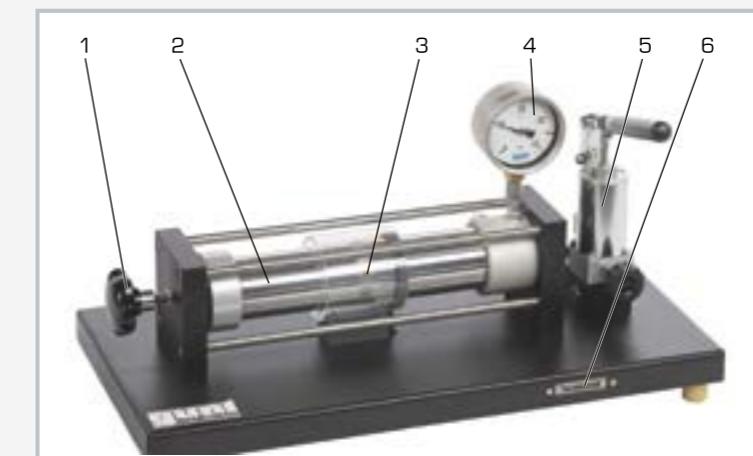
#### Contenu didactique/essais

- mesure des déformations au moyen de jauge de contrainte
- application du cercle de Mohr des contraintes, calcul de la déformation principale
- détermination des contraintes principales: contraintes axiales et périphériques selon la taille et la direction
  - ▶ pour un réservoir ouvert [tube]
  - ▶ pour un réservoir fermé [chaudière]
- comparaison entre réservoir ouvert/réservoir fermé
- détermination du coefficient de Poisson
- étude des rapports entre déformations, compressions et contraintes pour un état de contrainte biaxiale plane

Deux cas de charges sont représentés: l'état de contrainte axiale d'un réservoir fermé, p.ex. une chaudière, et l'état de contrainte biaxiale d'un réservoir ouvert, p.ex. un conduit.

Une pompe hydraulique génère une pression intérieure dans le réservoir. Un manomètre indique la pression intérieure. La surface du réservoir est pourvue de jauge de contrainte qui enregistrent les déformations présentes. L'amplificateur de mesure FL 152 affiche les signaux sous la forme de valeurs de mesure. Afin de faciliter l'interprétation de l'essai et de la représenter de manière explicite, il est possible de sauvegarder les valeurs de mesure dans le logiciel d'application.

Le cercle de Mohr des contraintes permet de représenter graphiquement la transformation des déformations et de déterminer les déformations principales. À l'aide de la loi d'élasticité, on peut calculer les contraintes principales à partir des déformations principales.



1 volant à main pour ajustage du piston, 2 réservoir, 3 point de mesure pour jauge de contrainte, 4 manomètre, 5 cylindre hydraulique avec pompe hydraulique, 6 raccord pour l'amplificateur de mesure FL 152

#### Spécification

- [1] étude des contraintes dans un réservoir à paroi mince soumis à une pression intérieure
- [2] cylindre pouvant être utilisé comme tube ouvert ou comme réservoir fermé
- [3] application de jauge de contrainte sur la surface du réservoir à différents angles
- [4] système hydraulique fermé hermétiquement, sans entretien, pour la génération de la charge de compression
- [5] cylindre hydraulique avec pompe hydraulique et manomètre
- [6] amplificateur de mesure FL 152 requis
- [7] logiciel d'exploitation des valeurs de mesure dans le FL 152

#### Caractéristiques techniques

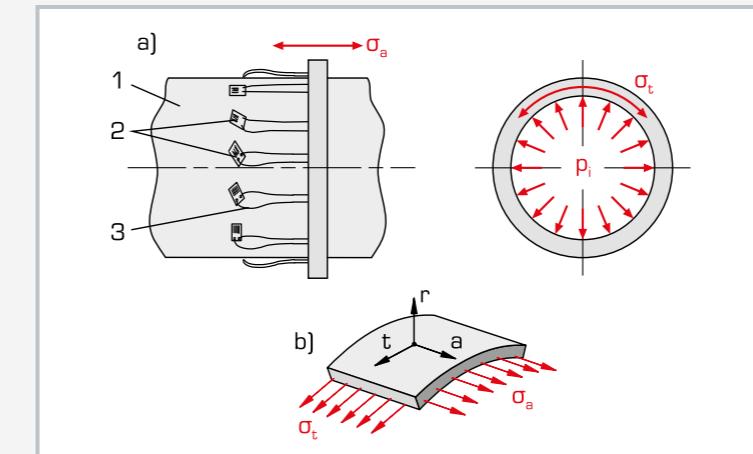
- Réservoir en aluminium  
 ■ longueur: 400mm  
 ■ diamètre: Ø=75mm  
 ■ épaisseur des parois: 2,8mm  
 ■ pression interne: max. 3,5N/mm<sup>2</sup> (35bar)

- Application de jauge de contrainte  
 ■ 5 jauge de contrainte: demi-ponts, 350 Ohm  
 ■ positions angulaires par rapport à l'axe du réservoir: 0°, 30°, 45°, 60°, 90°  
 ■ facteur k: 2,00 ±1%  
 ■ tension d'alimentation: 10V

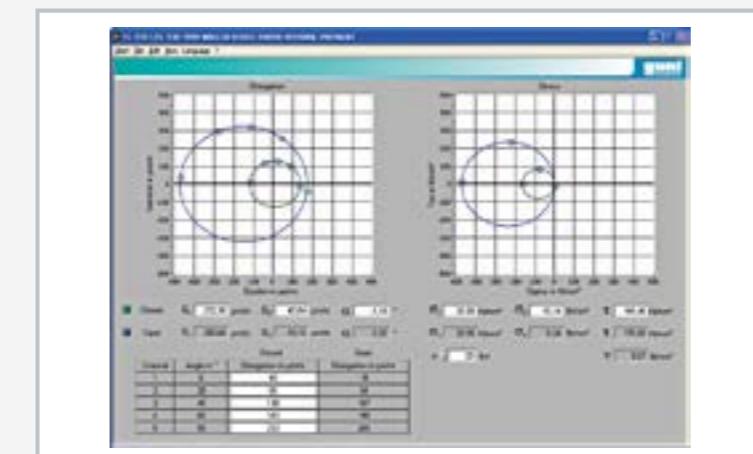
#### Manomètre

- 0...40bar  
 ■ précision: classe 1,0

Lxlxh: 700x350x350mm  
 Poids: env. 21kg



a) disposition des jauge de contrainte sur le réservoir: 1 réservoir, 2 points de mesure pour jauge de contrainte, 3 câblage,  $\sigma_a$  contrainte dans la direction de l'axe du réservoir;  $\sigma_t$  contrainte dans la direction périphérique,  $p$ , pression intérieure; b) contrainte plane dans la paroi:  $a$  direction axiale,  $t$  direction périphérique,  $r$  direction radiale



Saisie d'écran du logiciel FL 152: cercle de Mohr

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 documentation didactique

## FL 140

### Analyse des contraintes au niveau d'un réservoir à paroi épaisse



#### Description

- **contraintes normales d'un réservoir rempli d'huile soumis à une pression intérieure**
- **réservoir avec application de jauge de contrainte sur la surface et dans la paroi**
- **contrainte triaxiale dans la paroi du réservoir**

Contrairement aux réservoirs à paroi mince, la conception des réservoirs à paroi épaisse doit tenir compte d'une répartition des contraintes irrégulières sur l'épaisseur de la paroi. Un réservoir à paroi épaisse sous pression intérieure présente une contrainte triaxiale, avec les contraintes normales suivantes: contraintes radiales, tangentielles et axiales.

Les contraintes présentes dans un réservoir ne pouvant être mesurées directement, elles sont déterminées via une mesure des déformations à la surface. La technique de mesure basée sur la jauge de contrainte permet d'enregistrer les déformations sous forme de grandeurs électriques et de déterminer les contraintes à partir de ces grandeurs.

L'appareil d'essai FL 140 permet d'étudier les contraintes normales sur un réservoir à paroi épaisse soumis à une pression intérieure.

#### Contenu didactique/essais

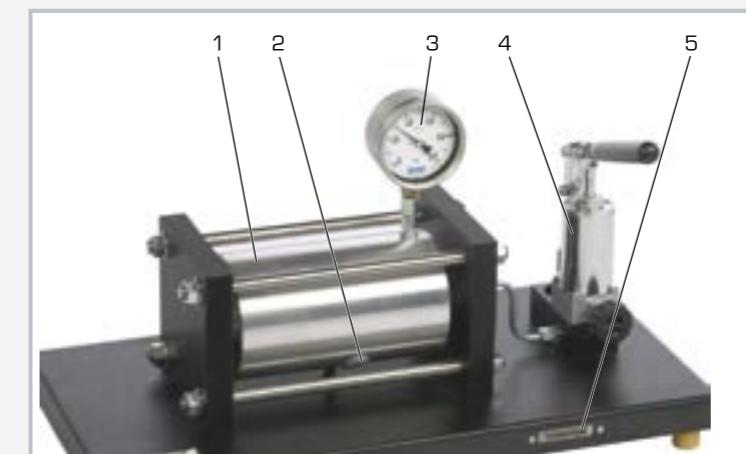
- mesure des déformations à l'aide de jauge de contrainte
- application du cercle de Mohr des contraintes pour la contrainte triaxiale
- détermination de la répartition des contraintes normales dans le sens ▶ radial, tangentiel et axial
- étude des rapports entre les déformations, la pression et les contraintes dans l'état de contrainte triaxiale

Le réservoir rempli d'huile se compose de deux parties et est fermé des deux côtés. La pression intérieure est générée dans le réservoir à l'aide d'une pompe hydraulique.

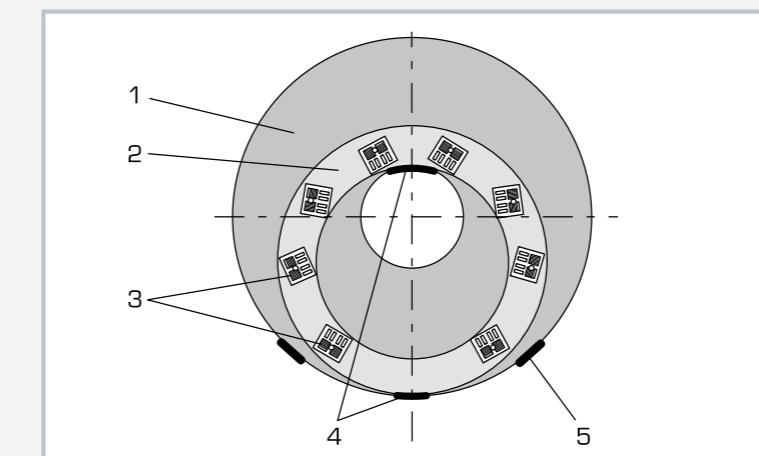
Un manomètre indique la pression intérieure. Une rainure excentrique dans laquelle des jauge de contrainte sont installées sur différents rayons est fraîssée entre les deux parties du réservoir. D'autres jauge de contrainte sont également placées sur la surface intérieure et la surface extérieure du réservoir. Les déformations dans la direction radiale, tangentielle et axiale sont mesurées et l'état des déformations peut être enregistré complètement.

L'amplificateur de mesure FL 152 indique les signaux enregistrés comme valeurs de mesure. Pour faciliter et représenter clairement les résultats de l'essai, les valeurs de mesure peuvent être reprises par le logiciel d'application.

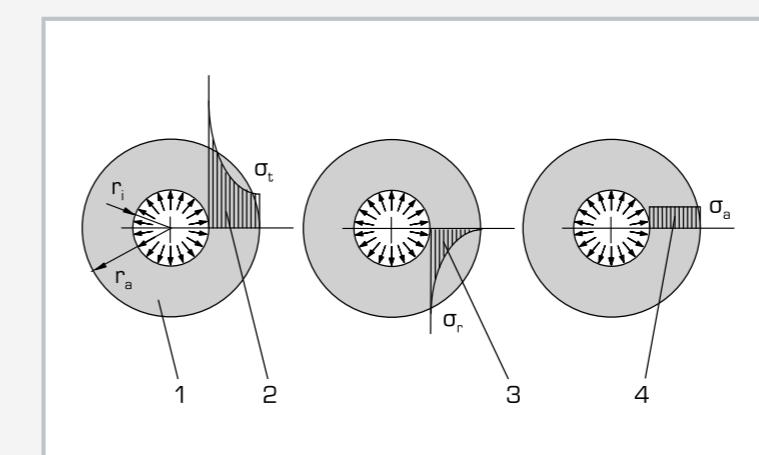
La contrainte triaxiale dans la paroi du réservoir est représentée graphiquement à l'aide du cercle de Mohr des contraintes. Les contraintes normales sont calculées à l'aide de la loi d'élasticité à partir des déformations mesurées.



1 réservoir, 2 point de mesure pour jauge de contrainte, 3 manomètre, 4 pompe hydraulique, 5 raccord pour l'amplificateur de mesure FL 152



Disposition des jauge de contrainte dans la paroi du réservoir et sur la surface du réservoir: 1 réservoir, 2 rainure excentrique; jauge de contrainte: 3 direction radiale/tangentielle, 4 direction tangentielle, 5 direction axiale



Evolution des contraintes dans la paroi du réservoir: 1 réservoir,  $r_i$ : rayon intérieur,  $r_o$ : rayon extérieur; répartition des contraintes dans la direction: 2  $\sigma_t$  tangentielle, 3  $\sigma_r$  radiale, 4  $\sigma_a$  axiale

#### Spécification

- [1] étude des contraintes dans un réservoir à paroi épaisse soumis à une pression intérieure
- [2] réservoir en deux parties avec rainure plate fraîssée
- [3] application de jauge de contrainte sur différents rayons dans la rainure et sur la surface du réservoir
- [4] pompe hydraulique pour générer la pression
- [5] système hydraulique fermé hermétiquement
- [6] fiche multipolaire disponible pour l'amplificateur de mesure FL 152
- [7] documentation didactique, bien structurée, avec les principes de base

#### Caractéristiques techniques

Réservoir en aluminium

- longueur: 300mm
- diamètre:  $\varnothing=140\text{mm}$
- épaisseur de paroi: 50mm
- pression intérieure: max.  $7\text{N/mm}^2$  (70bar)

Application de jauge de contrainte

- 11 jauge de contrainte: demi-ponts, 3500Ohm
- facteur k:  $2,00 \pm 1\%$
- tension d'alimentation: 10V

Manomètre

- 0...100bar
- précision: classe 1,0

LxLxH: 700x350x330mm

Poids: env. 32kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 documentation didactique

## FL 200

### Essais photoélastiques à l'aide d'un polariscope par transmission



L'illustration montre l'appareil d'essai avec un modèle de FL 220.01

#### Description

- lumière blanche ou monochromatique
- génération d'images de contraintes avec une lumière à polarisation linéaire ou circulaire
- commande possible de modèles adaptés à des problématiques spécifiques

La photoélasticimétrie est une méthode éprouvée d'analyse et d'enregistrement des contraintes mécaniques dans les composants. Elle est utilisée aussi bien pour effectuer des mesures quantitatives que pour démontrer des états de contrainte complexes. On utilise comme composants des modèles en plastique transparent et à forte sensibilité photoélastique, plastique qui devient biréfringent lorsqu'il est soumis à une charge mécanique.

Le FL 200 permet d'effectuer des essais de photoélasticimétrie sur des modèles en plastique transparents et plats.

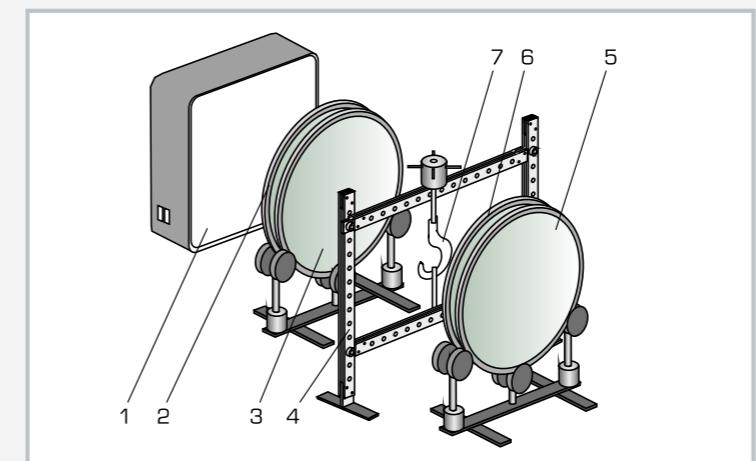
Les modèles sont soumis à des charges externes, et traversés par une lumière à polarisation circulaire. La lumière ayant traversé le corps est observée au moyen d'un analyseur.

Le montage expérimental comprend plusieurs composants: une source lumineuse, deux filtres de polarisation linéaire servant de polariseur et d'analyseur, deux filtres quart d'onde et un bâti dans lequel les modèles sont fixés et chargés. La source lumineuse permet d'obtenir au choix des images de contraintes en couleur avec une lumière blanche ou en clair-obscur avec une lumière monochromatique.

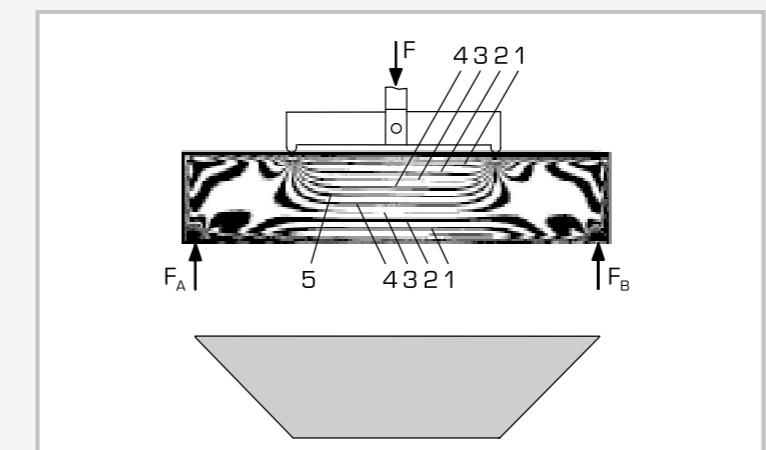
Le polariseur est composé d'un filtre de polarisation et d'une lame quart d'onde, et génère une lumière à polarisation circulaire. Une seconde lame quart d'onde [en position croisée par rapport à la première], située derrière le modèle, est combinée à un second filtre de polarisation.

#### Contenu didactique/essais

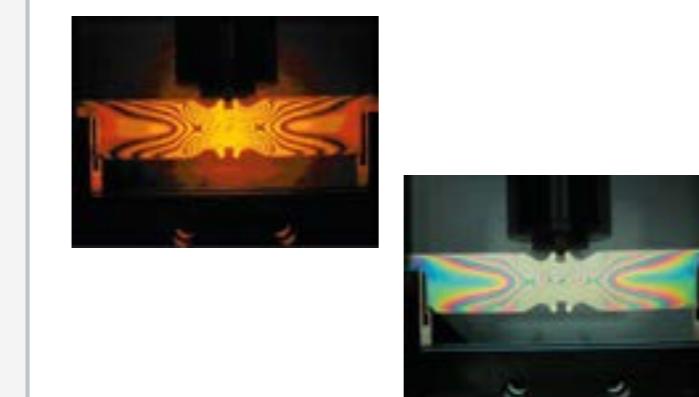
- en association avec les accessoires ou les modèles du laboratoire:
  - ▶ génération d'états de contrainte plane dans différents modèles soumis à une charge: flexion, charge de traction, charge de compression
  - ▶ étude des répartitions des contraintes avec une lumière à polarisation linéaire ou circulaire
  - ▶ interprétation de tracés de lignes obtenus par photoélasticimétrie: concentrations de contraintes, zéros, fibre neutre, plages de contrainte constante, gradients de contrainte
  - ▶ détermination graphique et par calculs des contraintes présentes



1 source lumineuse, 2 filtre de polarisation comme polariseur, 3 filtre quart d'onde, 4 bâti pour l'encastrement et le chargement des modèles, 5 filtre de polarisation comme analyseur, 6 filtre quart d'onde, 7 modèle soumis à une charge [FL 200.03]



Haut: répartition des contraintes dans le modèle soumis à une flexion: 1 à 4 structure isochromatique, 5 fibre neutre; F force extérieure,  $F_A/F_B$  réactions d'appui; bas: courbe des moments de flexion



Haut: modèle de barre avec entailles (FL 200.05) dans la lumière monochromatique, bas: modèle FL 200.05 dans la lumière blanche

#### Spécification

- [1] représentation de courbes de contraintes mécaniques dans des essais de photoélasticité
- [2] 2 filtres de polarisation linéaires comme polariseur et analyseur
- [3] 2 filtres quart d'onde pour générer une lumière à polarisation circulaire
- [4] tous les filtres avec échelle d'angle de 360° et détection de l'axe optique principal
- [5] filtre monté sur rouleaux et orientable
- [6] lumière blanche générée à l'aide d'un tube fluorescent et de deux lampes à incandescence
- [7] lumière monochromatique [couleur jaune] générée par une lampe à vapeur de sodium
- [8] traverses du bâti réglables dans la direction verticale
- [9] génération des forces de compression et de traction à l'aide d'une broche filetée
- [10] modèles complets en polycarbonate (PC) livrables en tant qu'accessoires à des fins de démonstration

#### Caractéristiques techniques

##### Source lumineuse

- boîtier de la lampe avec verre diffuseur blanc
- pour la lumière blanche
  - ▶ 1 tube fluorescent TL-E 32W/33 [couleur: 33]
  - ▶ 2 lampes à incandescence, lampe flamme dépolie E14, 230V, 25W
- pour lumière monochromatique (couleur jaune)
  - ▶ 1 lampe à vapeur de sodium SOX 35, 35W

##### Filtres garnis de verre, diamètre: Ø=425mm

- 2 filtres de polarisation (vert olive foncé)
- 2 litres quart d'onde (incolore)

##### Bâti: Lxh: 600x750mm

##### 230V, 50Hz, 1 phase

##### 230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

##### UL/CSA en option

##### Lxhx: 800x600x750mm

##### Poids: env. 50kg

#### Liste de livraison

- 1 bâti avec dispositif de charge
- 2 filtres de polarisation
- 2 filtres quart d'onde
- 2 supports de filtre
- 1 source lumineuse
- 1 documentation didactique

## FL 210

### Démonstration photoélastique



L'illustration montre l'appareil FL 210 avec un rétroprojecteur disponible dans le commerce, non compris dans les accessoires fournis.

#### Description

- **appareil de démonstration à installer sur un rétroprojecteur**
- **génération d'images de contraintes avec une lumière à polarisation linéaire ou circulaire dans des composants types en polycarbonate**
- **identification des concentrations de contraintes**

La photoélasticité permet de représenter de manière explicite les courbes et les concentrations de contraintes dans des modèles de composants.

En se servant d'une lumière polarisée, on étudie la répartition des contraintes dans des corps plats et translucides (modèles en plastique). Les courbes des contraintes sont représentées en couleur au moyen de filtres de polarisation.

L'effet d'entaille, la charge ponctuelle et des critères de conception technique

des composants apparaissent clairement.

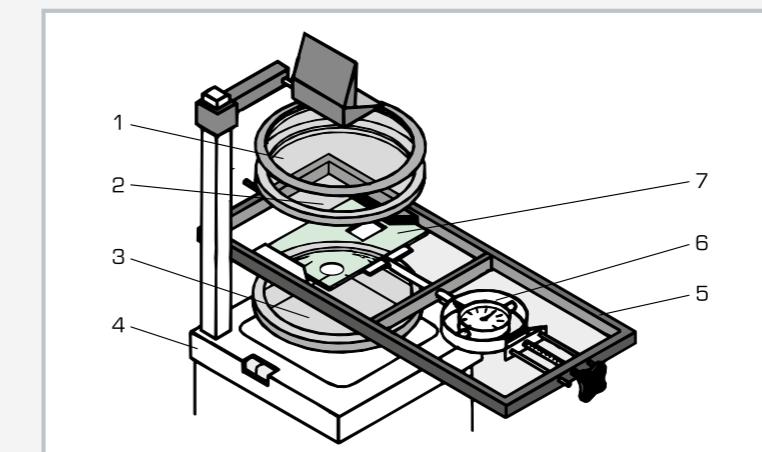
Le FL 210 est un élément à installer sur un rétroprojecteur. Différents modèles en plastique transparent sont fixés dans un bâti. Un dispositif de charge permet d'appliquer des forces de compression ou de traction sur le modèle étudié au moyen d'une broche.

La disposition de filtres de polarisation et de filtres quart d'onde génère au choix une lumière à polarisation linéaire ou circulaire. Une lumière monochromatique peut être générée à l'aide du filtre vert fourni. Un rétroprojecteur (p.ex. le FL 210.01) sert de source lumineuse.

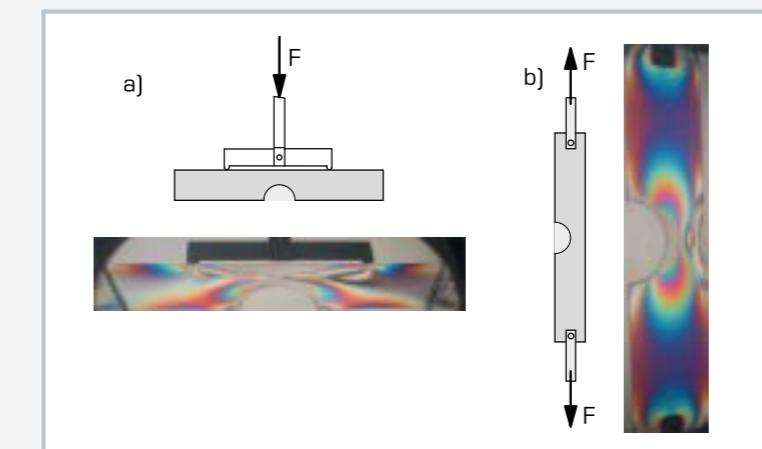
Grâce à l'utilisation d'une lumière monochromatique, on obtient un système composé de bandes claires et obscures permettant de déterminer la répartition

#### Contenu didactique/essais

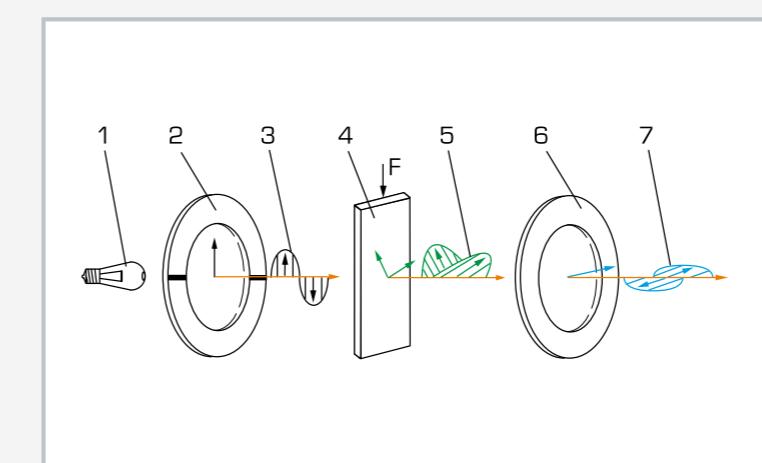
- génération d'état de contrainte plane dans différents modèles soumis à une charge
  - ▶ charge de compression
  - ▶ charge de traction
- étude des répartitions des contraintes avec une lumière à polarisation linéaire et circulaire
- interprétation de tracés de lignes obtenus par photoélasticité
  - ▶ répartition des contraintes
  - ▶ concentration des contraintes



1 filtre vert, 2 analyseur, 3 polariseur, 4 rétroprojecteur [FL 210.01], 5 bâti, 6 dispositif de charge avec dynamomètre à cadran, 7 modèle en plastique



a) modèle soumis à une charge de flexion, courbe des contraintes,  
b) modèle soumis à une charge de traction, courbe des contraintes



Représentation schématique de la démonstration photoélastique:  
1 source lumineuse, 2 polariseur, 3 lumière polarisée linéairement, 4 modèle soumis à une charge, 5 lumière décomposée en deux éléments dans la direction des contraintes principales, 6 analyseur, 7 composantes horizontales de la lumière

#### Spécification

- [1] essais de photoélasticité avec un polariscope pour rétroprojecteur
- [2] le polariseur et l'analyseur se composent chacun d'un filtre de polarisation et d'un filtre quart d'onde
- [3] filtres sertis, avec vitrage exempt de contraintes
- [4] tous les filtres peuvent être tournés horizontalement à la position souhaitée
- [5] lumière à polarisation linéaire ou circulaire
- [6] filtre vert pour lumière monochromatique
- [7] dispositif de charge avec dynamomètre à cadran pour charges de compression et de traction
- [8] 8 différents modèles en polycarbonate (PC) fournis
- [9] système de rangement pour les pièces

#### Caractéristiques techniques

Support de filtre avec polariseur et analyseur

- diamètre des filtres: Ø=165mm
- 1 filtre vert, diamètre: Ø=150mm

Dispositif de charge avec dynamomètre à cadran

- effort de charge: 0...250N

- 8 modèles, PC
- barre non entaillée
  - barre perforée
  - barre entaillée d'un seul côté
  - barre entaillée des deux côtés
  - rectangle sans encoches
  - rectangle avec encoches
  - fourche
  - crochet de levage

LxLxH: 500x190x30mm (bâti)  
LxLxH: 280x280x90mm (support de filtre)  
Poids: env. 8kg  
LxLxH: 1170x480x178mm (système de rangement)

#### Liste de livraison

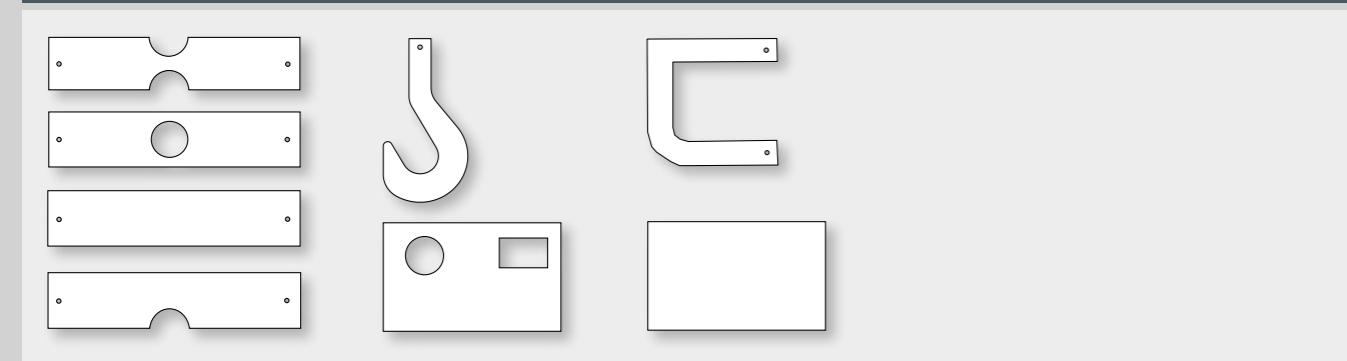
- 1 bâti avec dispositif de charge
- 1 support de filtre avec polariseur et analyseur
- 1 filtre vert
- 8 modèles de photoélasticité
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

## FL 200 et FL 210: représentation des courbes des contraintes dans des modèles d'éléments de construction

### Modèles pour essais photoélastiques à l'aide d'un polariscope par transmission (FL 200)

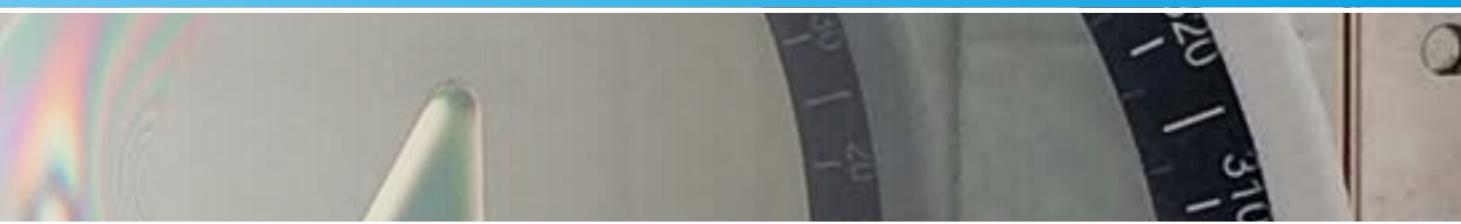
<b>FL 200.01</b> Jeu comprenant 5 modèles photoélastiques	<b>FL 200.05</b> Jeu comprenant 3 modèles photoélastiques, comparaison des entailles
<b>FL 200.02</b> Modèle arc, PC	<b>FL 200.06</b> Modèle contraintes au niveau des soudures, PC
<b>FL 200.03</b> Modèle crochet de suspension, PC	<b>FL 200.07</b> Modèle clé, PC

### Modèles pour démonstrations photoélastiques à l'aide d'un rétroprojecteur (FL 210)

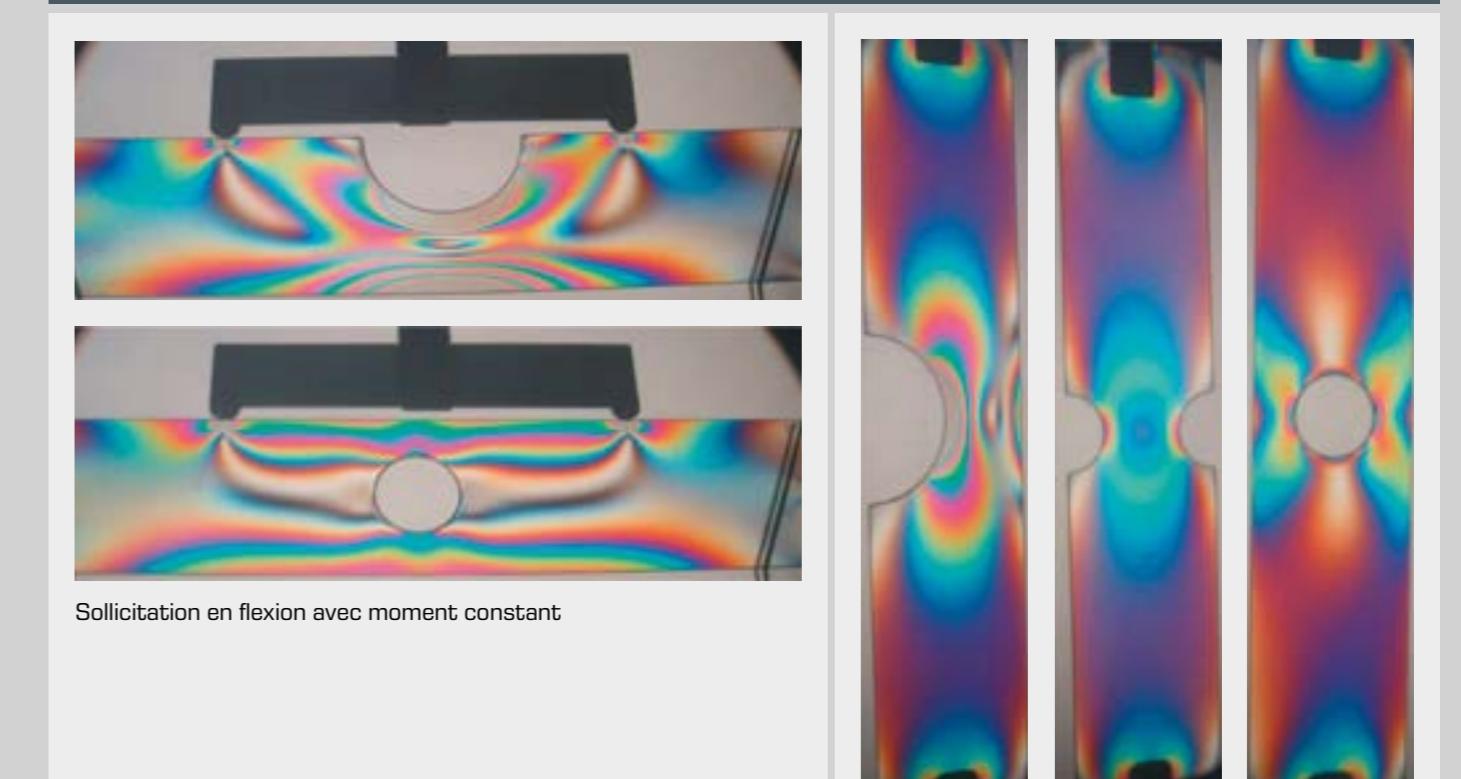


### Autres modèles comme accessoires

<b>FL 210.10</b> Modèle assemblage par vis	<b>FL 210.11</b> Modèle palier à roulement	<b>FL 210.12</b> Modèle clé à fourches	<b>FL 210.13</b> Modèle pignon denté



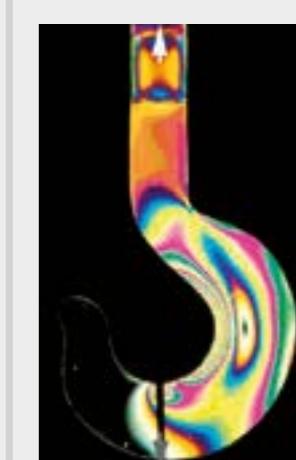
### Modèles pour démonstrations et essais photoélastiques sous l'effet d'une charge (FL 200 et FL 210)



Sollicitation en flexion avec moment constant  
Sollicitation en traction avec concentration des contraintes sur l'étranglement de la coupe transversale



Sollicitation en flexion avec force centrale et étranglement de la coupe transversale



Crochet de grue soumis à une charge

# Mécanique appliquée – dynamique

## Introduction

### Connaissances de base

Cinématique et cinétiq

144

## Cinématique

### KI 110

Modèle cinématique d'un mécanisme bielle-manivelle

146

### KI 120

Modèle cinématique d'un mécanisme à coulisse

147

### KI 130

Modèle cinématique d'un quadrilatère articulé

148

### KI 140

Modèle cinématique d'un mécanisme de Whitworth

149

### KI 150

Modèle cinématique d'un arbre de transmission à joints de Cardan

150

### KI 160

Modèle cinématique du mécanisme de direction d'Ackermann

151

### GL 105

Modèle cinématique des engrenages

152

## Cinétique: expériments de base en dynamique et moment d'inertie

### TM 610

Inertie dans les mouvements de rotation

154

### TM 611

Disque roulant sur un plan incliné

155

### TM 612

Modèle cinétique volant d'inertie

156

### GL 210

Comportement dynamique des engrenages droits à plusieurs étages

158

### GL 212

Comportement dynamique des engrenages planétaires à plusieurs étages

160

## Cinétique: dynamique de rotation

### TM 600

Force centrifuge

162

### TM 630

Gyroscope

164

### TM 605

Force de Coriolis

166

### TM 632

Régulateur centrifuge

168

## Vibrations

### Connaissances de base

Vibrations

170

### TM 161

Pendule à tige et pendule à fil

172

### TM 162

Pendules à suspension bifilaire/trifilaire

173

### TM 163

Vibrations de torsion

174

### TM 164

Vibrations d'un ressort spiral

175

### Aperçu

TM 150 Système didactique sur les vibrations

176

### TM 150

Système didactique sur les vibrations

178

### TM 150.20

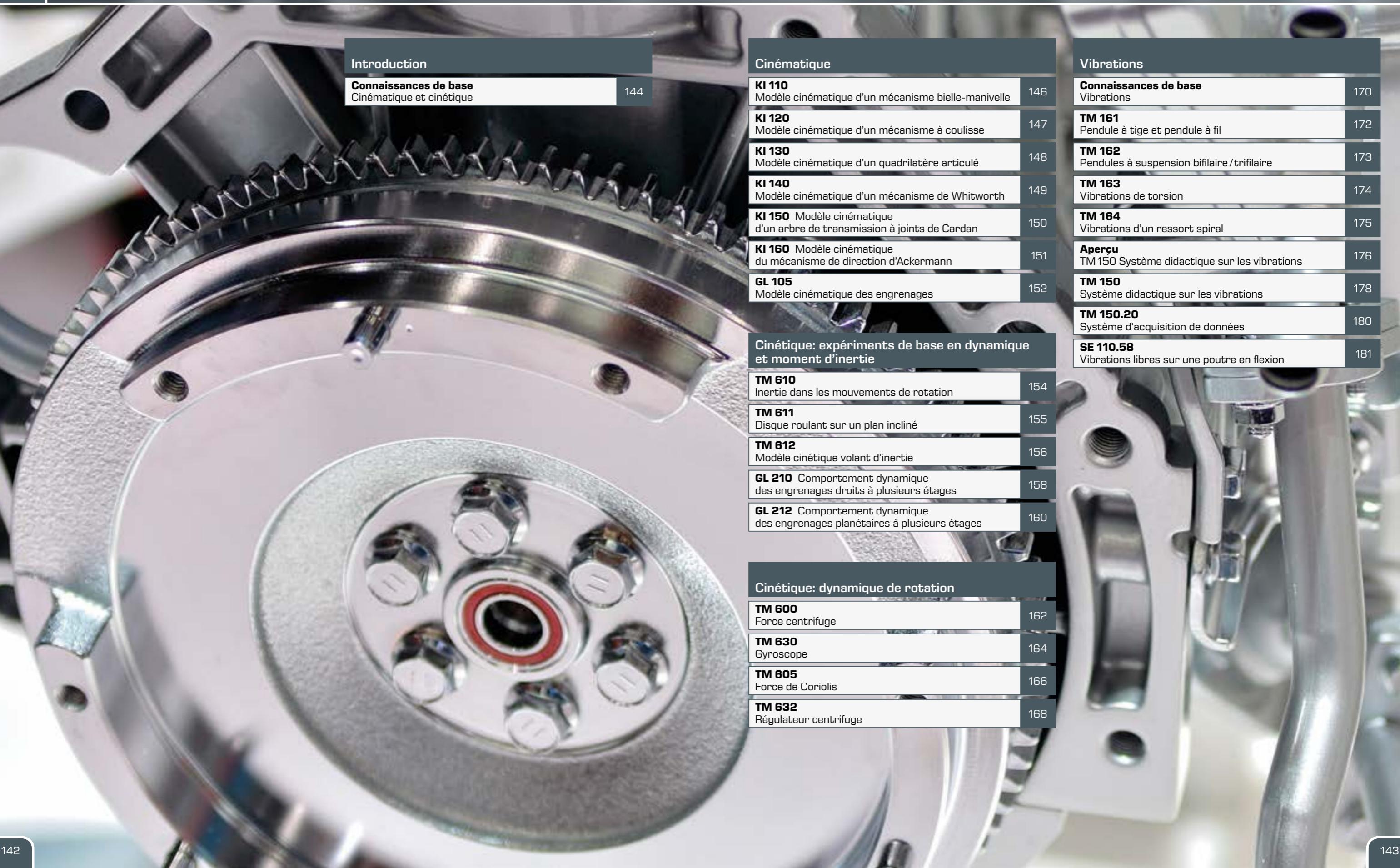
Système d'acquisition de données

180

### SE 110.58

Vibrations libres sur une poutre en flexion

181



## Connaissances de base

# Cinématique et cinétique

## Dynamique

Tandis que la statique étudie les corps en équilibre, au repos ou en mouvement à vitesse constante, la dynamique s'intéresse au déplacement accéléré d'un corps sous l'effet de forces. Le rôle du temps est donc important en dynamique. La dynamique considère aussi bien les forces s'exerçant sur un corps, que les mouvements de ce corps qui en résultent. De manière générale, il est nécessaire d'avoir des connaissances en dynamique pour le génie mécanique.



La dynamique est constituée de la cinétique et de la cinématique. En pratique, la distinction entre la cinématique et la cinétique est la manière dont elles considèrent une même machine ou un même composant. Les exercices de cinématique considèrent uniquement la géométrie du mouvement. La cinématique prend également en considération l'origine du mouvement.

L'objectif de la dynamique est de calculer la sollicitation et la charge de composants et systèmes afin de pouvoir les dimensionner.

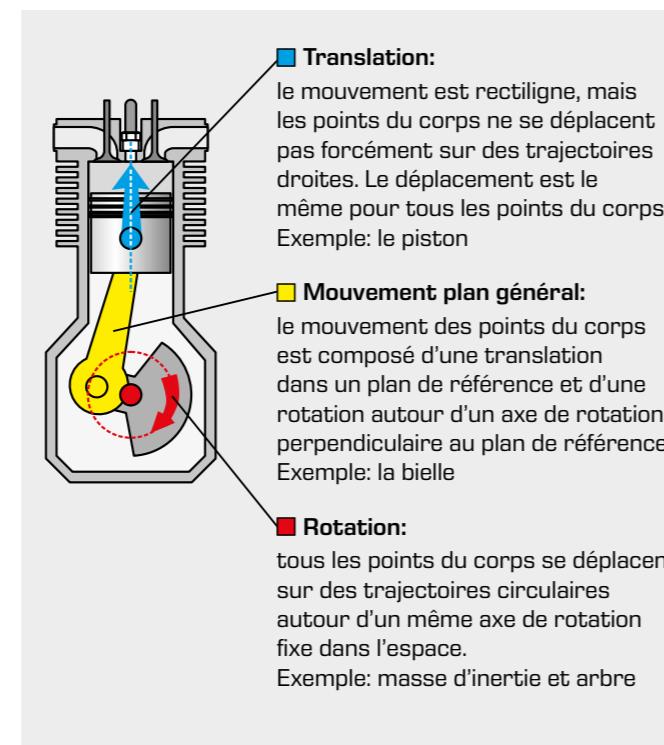
## Cinématique

La cinématique décrit et analyse l'effet du mouvement des corps sans que soit considérée leur origine. Elle est centrée sur les aspects géométriques du mouvement. Des coordonnées décrivent la position des corps à chaque instant. La trajectoire, la vitesse et l'accélération sont observées.



Dans la pratique, des connaissances en cinématique sont requises pour la construction et le dimensionnement des mécanismes bielle-manivelle, des cames ou des engrenages. Il est indispensable d'avoir assimilé la cinématique d'un corps rigide pour pouvoir utiliser les équations du mouvement, qui mettent en relation les forces du corps et le mouvement.

Dans le domaine technique, on distingue deux formes de mouvements: la **translation** et la **rotation**. Le mouvement de la plupart des composants est une combinaison de ces deux formes: il s'agit du mouvement plan général. Une machine à piston simple met cela en évidence:



## Cinétique

La **cinétique** étudie les mouvements sous l'influence de forces; elle prend donc en compte l'origine du mouvement. Pour décrire l'évolution dans le temps et l'espace d'un système mécanique soumis à des forces externes, on utilise des équations du mouvement. Ces dernières sont en général composées d'un système d'équations différentielles de second ordre.

La cinématique se base sur les **lois du mouvement de Newton**

### 1<sup>re</sup> loi: le principe ou la loi d'inertie

Lorsqu'aucune force externe n'agit sur lui, un corps persévère dans l'état de repos ou de mouvement uniforme rectiligne dans lequel il se trouve. Inertie: le corps change d'état de mouvement uniquement lorsque des forces externes agissent sur lui.

### 2<sup>e</sup> loi: le principe d'action

La force appliquée et l'accélération atteinte sont proportionnelles. Le rapport entre la force appliquée et la vitesse atteinte est une grandeur constante pour chaque corps: il s'agit de sa masse.

**Principe fondamental de la dynamique:**  
**force = masse · accélération**  
**F = m · a**

### 3<sup>e</sup> loi: principe des actions réciproques ou mutuelles

Les forces de réaction entre deux points de masse sont de valeur identique, opposées et colinéaires.

$$\text{actio} = \text{reactio}$$

**Loi de Newton:**

$$\sum F = m \cdot a$$

## Moment d'inertie de masse:

Dans le cas de la translation, on parle de l'inertie d'un corps; dans le cas de la rotation, cette inertie correspond au moment d'inertie – ou moment d'inertie de masse.

Lorsque l'on modifie le mouvement de rotation d'un corps rigide autour d'un axe donné, le corps exerce une résistance au changement. Cette résistance est indiquée par le moment d'inertie de masse. Le comportement d'un corps dépend de sa masse et de sa distribution par rapport à l'axe de rotation. Pour pouvoir calculer le moment d'inertie de masse, il faut connaître à la fois sa masse et sa distribution.

$$J = \frac{M}{\alpha}$$

$$J = r^2 \Delta m$$

J moment d'inertie de masse, M couple, F force,  $\alpha$  accélération angulaire, r rayon,  $\Delta m$  point de masse en rotation



L'exemple de masse d'inertie d'un tracteur illustre bien ce comportement: par rapport à son axe de rotation, la masse d'inertie a un moment d'inertie de masse qui est élevé. Lorsque la masse d'inertie a été mise en mouvement, une force élevée est nécessaire pour pouvoir l'arrêter. Le moteur fournit ainsi une puissance pratiquement constante à des vitesses de rotation faibles, ce qui l'empêche de caler.

## KI 110

### Modèle cinématique d'un mécanisme bielle-manivelle



#### Description

##### ■ mécanisme bielle-manivelle avec cylindre fixe ou pivotant

Un mécanisme bielle-manivelle est un groupe fonctionnel que l'on trouve dans des machines et qui sert à transformer un mouvement de rotation (rotatif) uniforme en un mouvement de va-et-vient (translationnel) et inversement. Les mécanismes bielle-manivelle sont utilisés entre autres dans les moteurs, les pompes ou les presses.

Avec le KI 110, on peut montrer cette transformation en se servant au choix d'un cylindre fixe ou d'un cylindre oscillant. L'appareil d'essai est composé d'une flasque de manivelle, d'une tige de bielle et d'un cylindre. À l'une des extrémités, la tige de bielle est reliée à la flasque par le biais d'une manivelle. La position de la manivelle sur la flasque permet de déplacer le rayon de la manivelle sur trois positions différentes.

À l'autre extrémité, la tige de bielle est reliée au cylindre. Cette extrémité modélise le piston. Le simple déplacement d'une vis permet de bloquer le cylindre pivotant, et de démontrer un mécanisme bielle-manivelle avec, au choix, un cylindre fixe ou pivotant.

L'angle est réglé par une flasque de manivelle et lu sur une échelle d'angle intégrée à une plaque de base. Pour la mesure de la course, une règle en acier avec graduation en millimètres est installée sur le cylindre.

Les éléments sont fixés sur une plaque de base. Deux poignées facilitent le transport et permettent d'empiler les appareils.

#### Contenu didactique/essais

- mécanisme bielle-manivelle avec cylindre fixe et pivotant

#### Spécification

- [1] étude d'un mécanisme bielle-manivelle
- [2] ajustage du rayon de la manivelle via 3 positions de la manivelle sur la flasque de manivelle
- [3] ajustage de l'angle en tournant la flasque de manivelle
- [4] mesure de la course sur le cylindre
- [5] le cylindre pivotant peut être bloqué pour étudier le mécanisme bielle-manivelle avec, au choix, le cylindre fixe ou pivotant

#### Caractéristiques techniques

Flasque de manivelle

- aluminium anodisé
- monté sur roulement à billes

Rayon de la manivelle

- 25mm
- 37,5mm
- 50mm

Tige de bielle

- aluminium noir anodisé

Cylindre

- course 0...100mm

LxLxH: 360x280x70mm  
Poids: env. 2kg

#### Liste de livraison

- 1 modèle cinématique
- 1 documentation didactique

## KI 120

### Modèle cinématique d'un mécanisme à coulisse



#### Description

##### ■ représentation d'un mouvement de translation purement harmonique

Contrairement au mécanisme bielle-manivelle normal, le mécanisme à coulisse produit un mouvement de translation purement harmonique.

Le KI 120 permet de produire et étudier des mouvements de la course purement harmoniques. L'appareil d'essai est composé d'une flasque de manivelle rotative, d'une tige de bielle et d'un cylindre fixe. À l'une des extrémités, la tige de bielle est reliée à la flasque par le biais d'une manivelle. La position de la manivelle sur la flasque permet de régler le rayon de la manivelle sur trois positions différentes.

À l'autre extrémité, la tige de bielle est reliée au cylindre fixe. Cette extrémité modélise le piston.

L'angle est réglé par une flasque de manivelle, et lu sur une échelle d'angle intégrée à une plaque de base. Pour la mesure de la course, une règle en acier avec graduation en millimètres est installée sur le cylindre.

Les éléments sont fixés sur une plaque de base. Deux poignées facilitent le transport et permettent d'empiler les appareils.

#### Contenu didactique/essais

- transformation d'un mouvement rotatif uniforme en mouvement de translation purement harmonique
- influence de la longueur de la manivelle et de l'angle d'entrée sur la course de sortie
- enregistrement de la fonction de transmission d'un mécanisme à coulisse

#### Spécification

- [1] étude d'un mécanisme à coulisse
- [2] production et étude de mouvements de translation purement harmoniques
- [3] ajustage du rayon de la manivelle par 3 positions de la bielle sur la flasque de manivelle
- [4] ajustage de l'angle en tournant la flasque de manivelle
- [5] mesure de la course sur le cylindre

#### Caractéristiques techniques

Flasque de manivelle

- aluminium anodisé
- monté sur roulement à billes

Rayon de la manivelle

- 25mm
- 37,5mm
- 50mm

Tige de bielle

- aluminium anodisé

Cylindre

- course 0...100mm

LxLxH: 380x280x100mm  
Poids: env. 3kg

#### Liste de livraison

- 1 modèle cinématique
- 1 documentation didactique

## KI 130

### Modèle cinématique d'un quadrilatère articulé



#### Description

##### ■ transformation d'un mouvement rotatif en mouvement oscillant

Le quadrilatère articulé est une transmission à articulation tournante à quatre articulations. Il transforme des mouvements rotatifs en mouvements oscillants.

Le KI 130 permet d'étudier le principe du mécanisme à quatre barres, de la bielle double et de la double manivelle.

L'appareil d'essai est composé d'un disque d'entraînement avec la manivelle et la bielle, et d'un disque entraîné avec le bras oscillant. Les éléments sont reliés entre eux par des articulations tournantes. Les positions des articulations tournantes peuvent être modifiées pour ajuster le rayon de la manivelle, le rayon du bras oscillant et la longueur de la bielle. La manivelle permet de tourner le disque d'entraînement.

#### Contenu didactique/essais

- étude des rapports mécaniques sur un quadrilatère articulé
- étude du principe du mécanisme à 4 barres, de la bielle double et de la double manivelle
- vérification de la condition de Grashof par la variation du rayon de la manivelle, du rayon du bras oscillant et de la longueur de la bielle

#### Spécification

- [1] étude d'un quadrilatère articulé
- [2] ajustage du rayon de la manivelle par 3 positions de la manivelle sur le disque d'entraînement
- [3] ajustage du rayon du bras oscillant sur 3 positions
- [4] ajustage de la longueur de la bielle sur 5 positions
- [5] ajustage de l'angle d'entrée en tournant le disque d'entraînement
- [6] mesure de l'angle de sortie sur l'échelle d'angle du disque entraîné

#### Caractéristiques techniques

Disque d'entraînement et disque entraîné

- aluminium anodisé
- monté sur roulement à billes

Rayon de la manivelle

- 25mm, 37,5mm, 50mm

Bras oscillant

- aluminium noir anodisé
- rayon du bras oscillant: 50mm, 100mm, 200mm

Bielle

- aluminium noir anodisé
- longueur: 60mm, 160mm, 180mm, 200mm, 220mm

LxLxH: 380x280x100mm

Poids: env. 3kg

#### Liste de livraison

- 1 modèle cinématique
- 1 documentation didactique

## KI 140

### Modèle cinématique d'un mécanisme de Whitworth



#### Description

##### ■ représentation d'un mouvement de translation irrégulier

Le mécanisme de Whitworth est aussi connu sous le nom de "mécanisme à retour rapide". Il représente un mécanisme à coulisse rotatif et produit des mouvements de translation irréguliers, avec un mouvement avant lent et un mouvement retour rapide. Ce mécanisme est utilisé dans les machines-outils, les machines d'emballage et de transport.

Le KI 140 produit des mouvements de translation irréguliers par le biais d'un mécanisme de Whitworth. L'appareil d'essai est composé d'un disque d'entraînement avec manivelle et bielle, ainsi que d'une tige de poussée et d'un cylindre.

#### Contenu didactique/essais

- étude d'un mécanisme à coulisse rotatif
- influence de la longueur de la manivelle et de l'angle d'entrée sur la course de sortie
- enregistrement de la fonction de transmission d'un mécanisme à coulisse rotatif

#### Spécification

- [1] étude d'un mécanisme à coulisse rotatif
- [2] production et étude de mouvements de translation irréguliers
- [3] ajustage du rayon de la manivelle par 3 positions de la bielle sur la flasque de manivelle
- [4] ajustage de l'angle en tournant la flasque de manivelle
- [5] mesure de la course sur le cylindre

#### Caractéristiques techniques

Disque d'entraînement

- aluminium anodisé
- monté sur roulement à billes

Rayon de la manivelle

- 46mm

Rayon du bras oscillant

- 55mm

Tige de poussée

- aluminium anodisé
- longueur: 145mm

Cylindre/palet de poussée/châssis

- course 0...100mm

LxLxH: 360x280x70mm

Poids: env. 2kg

#### Liste de livraison

- 1 modèle cinématique
- 1 documentation didactique

## KI 150

Modèle cinématique d'un arbre de transmission à joints de Cardan



### Contenu didactique/essais

- représentation de la transmission irrégulière d'un joint de Cardan
- détermination de l'erreur de cardan
- influence de la disposition des joints de Cardan et de l'angle de flexion sur l'erreur de cardan

### Spécification

- [1] étude d'un arbre de transmission à joints de Cardan
- [2] ajustage de la disposition des joints de Cardan et de l'angle de flexion par l'intermédiaire de deux disques rotatifs
- [3] ajustage de l'angle de rotation d'entrée du joint de Cardan d'entraînement
- [4] mesure de l'angle de rotation de sortie
- [5] détermination de la différence entre les deux angles

### Caractéristiques techniques

#### Joints de Cardan

- nombre: 2
- pièces normalisées selon DIN 808
- acier inoxydable

#### Arbre

- nombre: 3
- diamètre: 16mm
- acier inoxydable
- roulement à billes

LxLxH: 360x280x200mm

Poids: env. 3kg

### Liste de livraison

- 1 modèle cinématique
- 1 documentation didactique

### Description

#### ■ étude d'un arbre de transmission à joints de Cardan

Les joints de Cardan sont des articulations tournantes qui transmettent un couple et un mouvement rotatif. Un joint de Cardan relie entre eux deux arbres non alignés. Sur un joint de Cardan, le couple et la vitesse de rotation sont transmis de manière irrégulière. Cette transmission irrégulière est appelée erreur de cardan. Pour l'éviter, on utilise deux joints de Cardan reliés entre eux par un arbre dit intermédiaire. Cette association est appelée arbre de Cardan ou arbre de transmission à joints de Cardan.

Le KI 150 permet d'étudier un arbre de transmission à joints de Cardan. L'appareil d'essai est composé de deux joints de Cardan et d'un arbre intermédiaire.

La disposition des joints de Cardan et l'angle de flexion peuvent être ajustés au moyen de deux disques rotatifs se trouvant sur la plaque de base.

Côté entraînement, on ajuste et on lit l'angle de rotation d'entrée du joint de Cardan d'entraînement. L'arbre intermédiaire transmet le couple au joint de Cardan entraîné. Puis on lit l'angle de rotation de sortie. L'erreur de cardan est déterminée à partir de la différence entre ces deux angles.

Les éléments sont fixés sur une plaque de base. Deux poignées facilitent le transport de l'appareil.

## KI 160

Modèle cinématique du mécanisme de direction d'Ackermann



### Contenu didactique/essais

- vérification de la théorie d'Ackermann
- calcul de la position des roues
- détermination de la divergence en virage et de l'erreur de direction

### Spécification

- [1] étude du trapèze de direction
- [2] étude de la géométrie de direction selon Ackermann
- [3] ajustage des longueurs de la barre d'accouplement
- [4] lecture des angles de braquage sur les graduations
- [5] ajustage de la position zéro des angles de braquage via le dispositif de blocage du mécanisme
- [6] ajustage de l'angle de braquage de la roue intérieure au virage
- [7] mesure de l'angle de braquage de la roue extérieure au virage

### Caractéristiques techniques

#### Barres d'accouplement

- ajustage individuel

#### Distance entre les pivots de l'essieu avant

- 465mm

#### Plage de mesure des angles de braquage

- ±50°
- graduation: 1°

LxLxH: 620x280x60mm  
Poids: env. 6kg

### Description

#### ■ étude de la géométrie de direction selon Ackermann

Pour la direction, toutes les roues d'un véhicule doivent se trouver exactement sur la même trajectoire circulaire. Pour y parvenir, il faut que les prolongements de tous les essieux se croisent au centre du virage (théorie sur la direction ou théorie d'Ackermann). Pour que cela soit possible, il faut que la roue intérieure au virage braque plus que la roue extérieure. Ce qui est rendu pratiquement possible en utilisant ce que l'on appelle un trapèze de direction, qui est composé d'un axe, d'une barre d'accouplement et de deux leviers d'accouplement sur les roues.

Le KI 160 permet d'étudier un trapèze de direction. L'appareil d'essai est composé de deux barres d'accouplement avec une barre de direction intermédiaire, de deux leviers d'accouplement et de deux pivots d'essieu avant, sur lesquels on fixe théoriquement les roues.

La longueur de l'axe correspond à la distance entre les pivots de l'essieu avant. Les longueurs des deux barres d'accouplement peuvent être ajustées indépendamment l'une de l'autre. Pour ajuster la position zéro de l'angle de braquage, on fixe le mécanisme au milieu de la barre de direction intermédiaire à l'aide d'un dispositif de blocage. L'angle de braquage de la roue intérieure au virage est ajusté, tandis que celui de la roue extérieure au virage change en fonction de la géométrie; on lit ce dernier sur la graduation. La différence entre les deux angles est ce que l'on appelle la divergence en virage, ou angle d'Ackermann. La différence entre l'angle de braquage calculé et l'angle de braquage mesuré constitue l'erreur de direction. Il est possible de démontrer les inconvénients présentés par une barre d'accouplement mal ajustée.

Les éléments sont fixés sur une plaque de base qui est également adaptée au montage mural.

### Liste de livraison

- 1 modèle cinématique
- 1 documentation didactique

## GL 105

### Modèle cinématique des engrenages



#### Description

- étude d'engrenages droits à un ou plusieurs étages
- étude d'engrenages planétaires

Dans une machine, la transmission est l'élément qui transmet et transforme les mouvements. La transmission est au minimum composée d'un entraînement, d'un ensemble entraîné et d'un châssis. Les engrenages font partie des transmissions homogènes.

La transmission du mouvement de rotation d'un arbre sur un autre s'effectue de manière mécanique par l'intermédiaire de roues dentées. Sur un engrenage droit, les roues dentées sont montées sur des axes parallèles. L'arbre d'entraînement et l'arbre de sortie sont ainsi disposés de manière parallèle.

L'engrenage planétaire est un type d'engrenage droit sur lequel l'arbre d'entraînement et l'arbre de sortie sont sur le même axe. L'appareil d'essai GL 105 permet d'étudier des engrenages de type droit et planétaire. La cinématique est au centre des observations.

L'appareil d'essai est constitué d'une plaque de base avec un axe fixe sur lequel un rail pivotant est monté. Deux axes supplémentaires peuvent être fixés sur ce rail aux positions souhaitées.

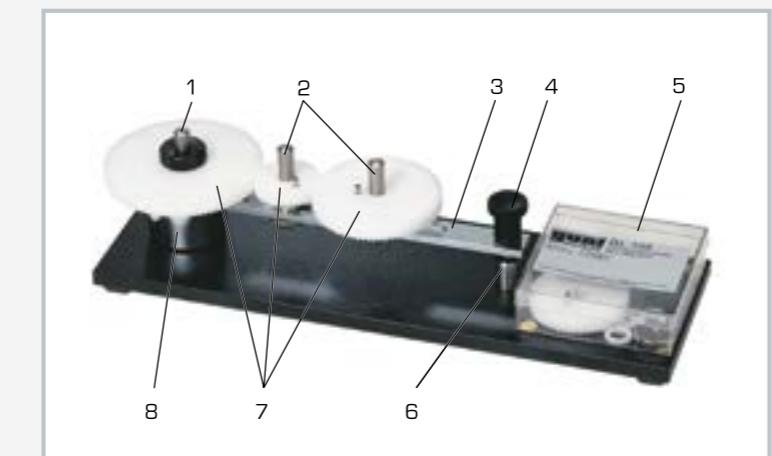
#### Contenu didactique/essais

- étude d'engrenages droits à un ou plusieurs étages
- étude d'engrenages planétaires
- détermination du rapport de transmission

La sélection et l'association des roues dentées ayant un nombre variable de roues dentées permettent la réalisation de différents rapports de transmission et types d'engrenages.

Dans les essais avec des engrenages droits, le rail est bloqué. Selon l'objectif de l'essai, on peut positionner un ou deux axes supplémentaires sur le rail. Les roues dentées peuvent être couplées entre elles ou avec l'axe fixe au moyen de broches d'entraînement. L'entraînement s'effectue à la main.

Pour déterminer le rapport de transmission, on compte le nombre de tours complets. Pour l'étude des engrenages planétaires, le rail est débloqué de manière à pouvoir pivoter autour de l'axe fixe. Le rail sert de support aux roues planétaires sur lesquelles elles sont positionnées, et constitue l'entrée de l'engrenage. La roue solaire forme la sortie de l'engrenage. L'entraînement s'effectue à la main. Le rapport de transmission peut à nouveau être déterminé en comptant le nombre de tours complets.



1 axe fixe, 2 axes supplémentaires aux positions souhaitées, 3 rail, 4 poignée, 5 boîte de rangement, 6 blocage du rail, 7 roues dentées, 8 palier

#### Spécification

- [1] étude d'engrenages droits à un ou plusieurs étages
- [2] étude d'engrenages planétaires
- [3] entraînement effectué à la main
- [4] détermination du rapport de transmission en comptant le nombre de tours des roues dentées entraînées
- [5] plaque de base avec boîte de rangement pour les composants

#### Caractéristiques techniques

##### Roues dentées

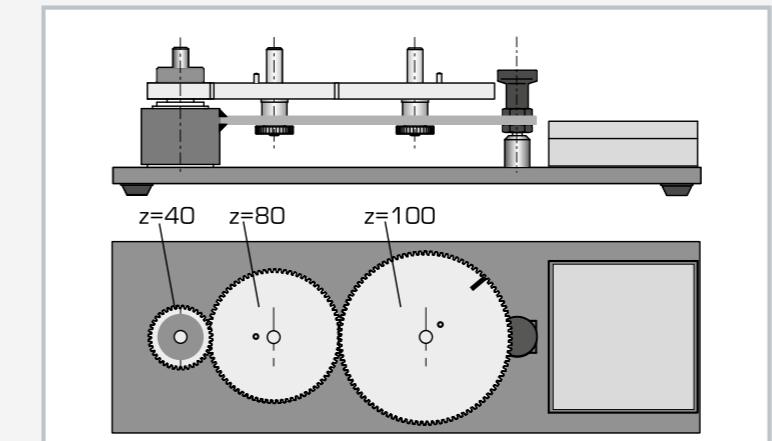
- nombre: 4
- plastique
- module: 1 mm
- nombre de dents: 40, 60, 80 et 100

LxLxH: 380x120x100mm

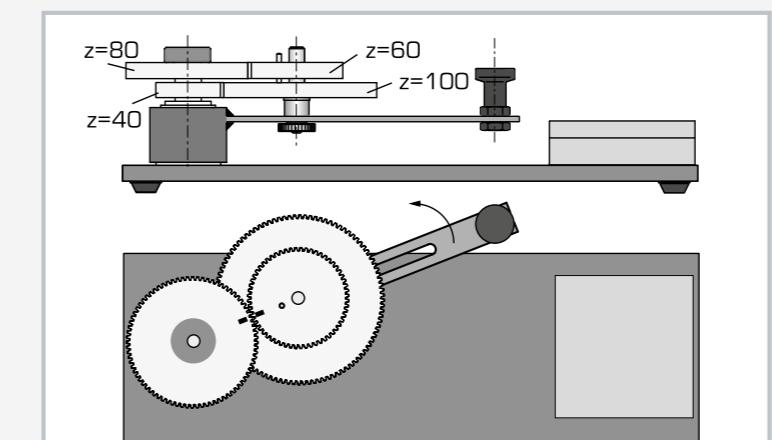
Poids: env. 3kg

#### Liste de livraison

- 1 modèle cinématique
- 1 documentation didactique



Montage expérimental avec rail bloqué et deux autres axes  
Engrenage avec roue intermédiaire: roue d'entraînement ( $z=40$ ), roue intermédiaire ( $z=80$ ), roue entraînée ( $z=100$ )



Montage expérimental avec roue libre et un axe supplémentaire  
Engrenage planétaire: roue d'entraînement ( $z=40$ ) fixe accouplée avec un axe fixe, entraînée par un rail, rail comme engrenage planétaire, roues planétaires ( $z=100, z=60$ ), roue solaire comme roue entraînée ( $z=80$ )

## TM 610

### Inertie dans les mouvements de rotation



#### Description

##### ■ étude des moments d'inertie de masse de corps rigides en rotation

La résistance exercée par un corps rigide contre la modification de son mouvement de rotation est indiquée par le moment d'inertie de masse. Le comportement d'un corps dépend de sa masse et de sa distribution par rapport à l'axe de rotation. En calculant le quotient du couple et de l'accélération angulaire, on obtient le moment d'inertie de masse.

Le TM 610 permet d'étudier les moments d'inertie de masse de corps en rotation (cylindre creux ou cylindre plein). L'appareil d'essai est fixé à une table au moyen de tiges de support.

#### Contenu didactique/essais

- étude de l'inertie de corps rigides en rotation
- détermination des moments d'inertie de masse de différents corps de forme régulière
- étude du moment d'inertie de masse en fonction du rayon

#### Spécification

- [1] étude de l'inertie de différents corps en rotation
- [2] cylindre creux, cylindre plein ou tige tournante avec des masses comme corps en rotation
- [3] génération d'un mouvement de rotation à accélération uniforme au moyen d'un poids, d'une poulie de renvoi et d'un câble avec tambour
- [4] tige tournante: position ajustable des masses pour la réalisation de différents rayons
- [5] mesure du temps et de la trajectoire d'accélération
- [6] positionnement et fixation des pièces de montage par des pinces de table

#### Caractéristiques techniques

##### Tige tournante

- longueur: 550mm
- masses: 2x 0,1kg, 2x 0,2kg, 2x 0,4kg

##### Cylindre plein

- diamètre: 120mm
- masse: 0,9kg

##### Cylindre creux

- diamètre extérieur: 120mm
- diamètre intérieur: 110mm
- masse: 0,9kg

##### Poids pour l'entraînement

- 1N

LxLxH: 730x180x480mm (monté)

Poids: env. 13kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 documentation didactique

## TM 611

### Disque roulant sur un plan incliné



#### Description

##### ■ inertie pour des mouvements de rotation sur un plan incliné et pour un pendule physique

Le moment d'inertie de masse est une constante de proportionnalité qui dépend non seulement du corps concerné mais aussi de la position de l'axe de rotation dans ce corps. En mesurant le couple et l'accélération angulaire qui en résulte, on peut déterminer le moment d'inertie de masse de manière expérimentale. Le TM 611 propose à cet effet des essais de roulement sur un plan incliné et des essais pendulaires avec un pendule physique permettant de déterminer des moments d'inertie de masse de manière expérimentale.

Lors de l'essai de roulement, l'inclinaison du plan incliné est ajustée par un réglage en hauteur, et lue sur un inclinomètre.

#### Contenu didactique/essais

- démonstration de la loi de la chute des corps sur un plan incliné
- influence de la masse d'un corps sur son accélération
- détermination des moments d'inertie de masse par l'essai de roulement et l'essai pendulaire
- théorème de Steiner

#### Spécification

- [1] étude de l'inertie sur des mouvements de rotation
- [2] démonstration de la loi de la chute des corps
- [3] détermination expérimentale des moments d'inertie de masse
- [4] essais de roulement sur un plan incliné avec modification de la hauteur et support en trois points
- [5] essais pendulaires avec un pendule physique
- [6] inclinomètre et niveaux à bulles assurent une orientation exacte
- [7] mesure du temps et de la trajectoire d'accélération

#### Caractéristiques techniques

##### Parcours de roulement

- longueur: max.1000mm
- angle d'inclinaison: 0°...7°

##### Disques

- masse: 320g et 620g
- diamètre: 70mm et 100mm

##### Axe de rotation

- diamètre: 10mm
- distance du centre de gravité: 10mm

LxLxH: 1180x480x210mm

Poids: env. 10kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de poids
- 1 documentation didactique

## TM 612

### Modèle cinétique volant d'inertie



#### Contenu didactique/essais

- détermination expérimentale du moment d'inertie de masse
- principe fondamental de la dynamique du mouvement de rotation

#### Spécification

- [1] étude de l'inertie d'un volant d'inertie
- [2] génération d'un mouvement de rotation à accélération uniforme du volant d'inertie
- [3] entraînement par des poids
- [4] influence du poids sur le temps de roulement
- [5] mesure du temps et de la trajectoire d'accélération
- [6] détermination du moment d'inertie de masse
- [7] fixation pour montage mural

#### Caractéristiques techniques

##### Volant d'inertie

- diamètre: 300mm
- épaisseur: 40mm
- masse: 22,2kg

##### Arbre

- diamètre: 22mm

##### Poids pour l'entraînement

- 1x 1N (suspente)
- 4x 1N
- 3x 5N

LxLxH: 250x350x1500mm

Poids: env. 30kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de poids
- 1 documentation didactique

#### Description

##### ■ étude des mouvements de rotation à accélération uniforme

La résistance exercée par un corps rigide contre la modification de son mouvement de rotation est indiquée par le moment d'inertie de masse. Elle mesure l'inertie d'un corps en rotation.

Le TM 612 permet de réaliser des essais fondamentaux sur le mouvement de rotation à accélération uniforme. L'appareil d'essai est composé d'un volant d'inertie avec arbre, d'un câble et d'un jeu de poids. L'arbre forme l'axe de rotation au centre de gravité du volant d'inertie. Il est logé sur deux paliers.

L'une des extrémités du câble est fixée à l'arbre, et l'autre extrémité accueille le poids. Le poids suspendu produit un mouvement à accélération uniforme du volant d'inertie.

Le temps de roulement complet est mesuré et comparé aux temps des autres poids. Le moment d'inertie de masse du volant d'inertie est déterminé à partir du temps mesuré, de la masse du volant d'inertie et de la trajectoire d'accélération parcourue.

L'appareil d'essai est conçu pour être fixé au mur.

**Visitez notre site internet**

Sur notre site, vous trouverez toutes les informations autour de notre programme.

## GL 210

### Comportement dynamique des engrenages droits à plusieurs étages



#### Description

- **engrenage droit à un, deux ou trois étages avec inerties de rotation réparties**
- **entraînement par tambour à câble et jeu variable de poids**
- **capteurs de vitesse de rotation inductifs sur tous les arbres**

Des engrenages sont utilisés pour établir le lien entre la machine d'entraînement et la machine de travail. Ils servent à faire varier le couple de rotation et la vitesse de rotation ainsi qu'à inverser le sens de rotation. L'objectif de l'analyse de la dynamique des engrenages est de comprendre les schémas de mouvement et l'influence de l'inertie.

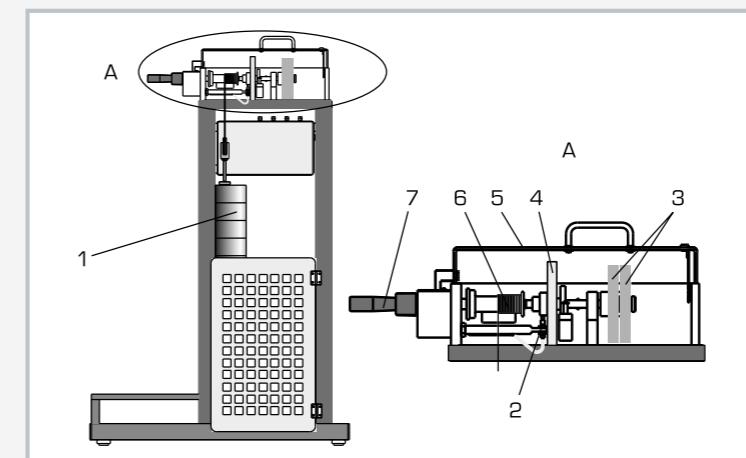
Le GL 210 permet d'étudier le comportement dynamique avec des engrenages droits à un, deux ou trois étages en fonctionnement non stationnaire.

Le banc d'essai comprend quatre arbres parallèles, trois pignons d'entraînement et trois pignons de marche arrière. Les arbres sont accouplés par des tiges d'accouplement de manière à obtenir différents étages d'engrenages. Pour augmenter l'inertie de rotation, une masse mobile peut être placée sur chaque arbre. L'engrenage est accéléré par un tambour à câble et un jeu variable de poids. Le jeu de poids est remonté à l'aide d'une manivelle, un cliquet d'arrêt empêche tout déroulement involontaire du poids.

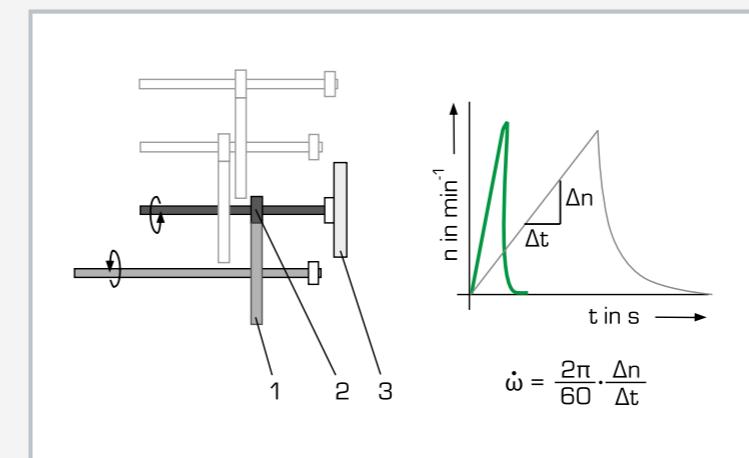
Une roue libre de galet de serrage permet de poursuivre la rotation libre après que le poids a été déroulé. Un frein à main permet un freinage en douceur. Le capot de protection transparent avec verrouillage de sécurité évite tout contact involontaire avec les pièces en rotation.

#### Contenu didactique/essais

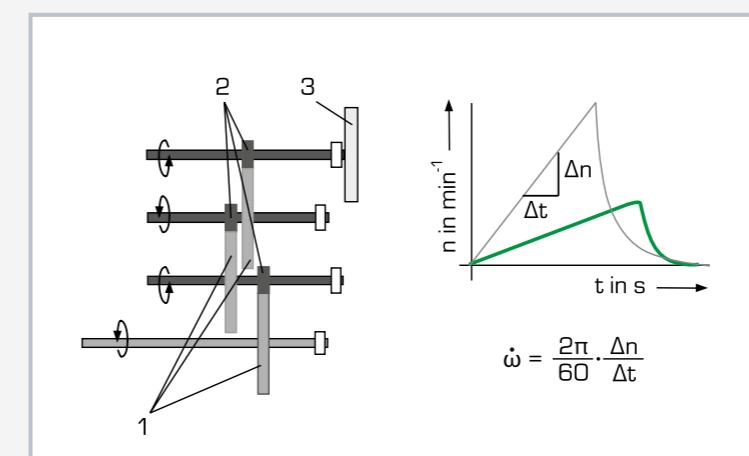
- détermination de l'accélération angulaire sur des engrenages
- détermination du moment d'inertie de la masse de l'engrenage
- détermination du frottement
- détermination du degré d'efficacité des engrenages



1 jeu de poids, 2 capteur de vitesse de rotation, 3 masses mobiles, 4 pignon d'entraînement, 5 capot de protection, 6 tambour à câble, 7 manivelle manuelle



Détermination de l'accélération angulaire: 1 pignon d'entraînement, 2 pignon de marche arrière, 3 masse mobile; diagramme temps-vitesse de rotation: détermination de l'accélération angulaire à partir de la pente de la courbe, courbe verte pour engrenage à 1 étage



Détermination de l'accélération angulaire: 1 pignons d'entraînement, 2 pignons de marche arrière, 3 masse mobile; diagramme temps-vitesse de rotation: détermination de l'accélération angulaire à partir de la pente de la courbe

#### Spécification

- [1] étude du comportement dynamique d'engrenages droits à 1, 2 ou 3 étages
- [2] 4 arbres, 3 pignons d'entraînement et 3 pignons de marche arrière
- [3] possibilité d'accoupler les arbres au moyen de tiges d'accouplement
- [4] possibilité d'ajout de masses mobiles sur chaque arbre pour augmenter l'inertie de rotation
- [5] engrenage accéléré par un tambour à câble et un jeu variable de poids
- [6] remontée du jeu de poids à l'aide d'une manivelle manuelle, un cliquet d'arrêt empêche tout déroulement involontaire
- [7] une roue libre de galet de serrage permet de poursuivre la rotation libre après que le poids a été déroulé
- [8] freinage de l'engrenage par un frein à main
- [9] capot de protection transparent avec verrouillage de sécurité et grille de protection pour le jeu de poids
- [10] capteurs de vitesse de rotation inductifs sur tous les pignons de marche arrière
- [11] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

#### Caractéristiques techniques

Engrenage à 3 étages avec 4 arbres  
 ■ rapport de transmission par étage:  $i=4:1$   
 ■ rapport de transmission total:  $i=64:1$

Largeur des pignons: 16mm, module 2mm

#### Entraînement

- jeu de poids: 5...50kg
- hauteur de chute: max. 0,65m
- énergie potentielle max.: 320Nm

Plages de mesure  
 ■ vitesse de rotation: 0...2000min⁻¹

230V, 50Hz, 1 phase  
 230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase  
 UL/CSA en option  
 LxLxh: 970x760x1550mm  
 Poids: env. 155kg

#### Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

#### Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 jeu de poids
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

## GL 212

### Comportement dynamique des engrenages planétaires à plusieurs étages



L'illustration montre un appareil similaire.

#### Description

- **engrenage planétaire à deux étages avec respectivement trois satellites**
- **quatre réglages de transmission différents**
- **mesure de la force au moyen d'un capteur de flexion**
- **capteurs de vitesse de rotation inductifs pour les diagrammes vitesse de rotation-temps servant à mesurer l'accélération angulaire**

L'engrenage planétaire est une forme spéciale d'engrenage sur lequel plusieurs satellites tournent autour d'une roue solaire centrale. Les satellites reposent sur un porte-satellites et s'engagent géométriquement dans une couronne de train planétaire à denture intérieure. Le couple et la puissance sont répartis sur plusieurs satellites.

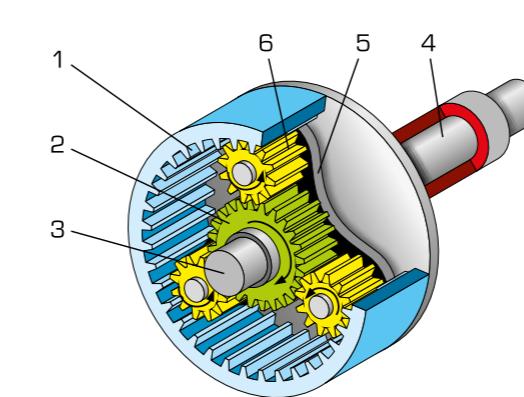
La roue solaire, le porte-satellites et la

#### Contenu didactique/essais

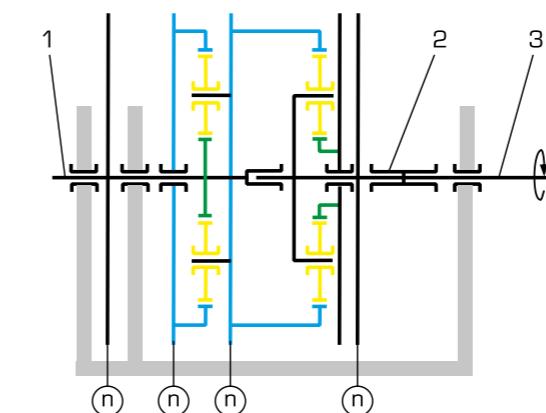
- détermination du rapport de transmission avec engrenage bloqué
- détermination des forces transmises avec engrenage bloqué
- accélération de l'engrenage avec couple d'entraînement constant
- influence du rapport de transmission
- détermination du moment d'inertie de la masse réduite
- transformation de l'énergie potentielle en énergie cinétique
- détermination du frottement
- détermination du degré d'efficacité des engrenages



1 horloge de mesure, 2 capteur de flexion, 3 jeu de poids, 4 jeu de poids pour la mesure des rapports de transmission, 5 engrenage planétaire, 6 manivelle manuelle, 7 capot de protection



Structure de l'engrenage planétaire: 1 couronne de train planétaire, 2 roue solaire, 3 arbre de la roue solaire, 4 arbre du porte-satellites, 5 porte-satellites, 6 satellite



Principe de fonctionnement d'un engrenage planétaire à 2 étages: 1 arbre de sortie, 2 tambour à câble, 3 arbre de transmission; vert: roues solaires, jaune: satellites, bleu: couronnes de train planétaire; n vitesse de rotation

#### Spécification

- [1] étude du comportement dynamique d'un engrenage planétaire à 2 étages
- [2] 3 satellites par étage
- [3] 4 transmissions différentes possibles
- [4] engrenage accéléré par un tambour à câble et un jeu variable de poids
- [5] remontée du jeu de poids à l'aide d'une manivelle manuelle, un cliquet d'arrêt empêche tout déroulement involontaire
- [6] une roue libre de galet de serrage permet de poursuivre la rotation libre après que le poids a été déroulé
- [7] amortisseur pour poids
- [8] capot de protection transparent
- [9] mesure de la force à différents étages de l'engrenage via 3 capteurs de flexion, affichage par des horloges de mesure
- [10] capteurs de vitesse de rotation inductifs
- [11] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

#### Caractéristiques techniques

Engrenage planétaire à 2 étages

- module: 2mm
- roues solaires: z=24, d-cercle primitif: 48mm
- satellites: z=24, d-cercle primitif: 48mm
- couronnes de train planétaire: z=72, d-cercle primitif: 144mm

Entraînement

- jeu de poids: 5...50kg
- énergie potentielle max.: 245,3Nm

Charge à l'arrêt:

- forces des poids: 5...70N

Plages de mesure

- vitesse de rotation: 0...2000min<sup>-1</sup>

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

LxLxH: 950x600x1700mm

Poids: env. 150kg

#### Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

#### Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 2 jeux de poids
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

## TM 600 Force centrifuge



### Description

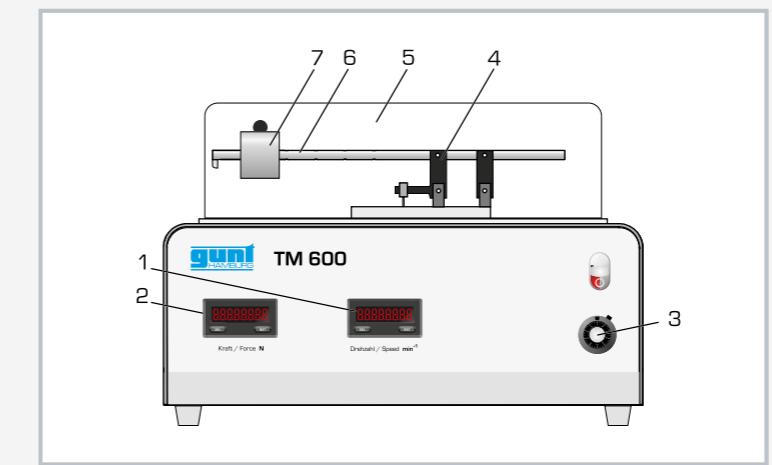
#### ■ lois générales sur le comportement de masses en rotation

La force centrifuge se forme lors du mouvement d'un corps rigide sur une trajectoire circulaire, et correspond à la force d'inertie s'exerçant vers l'extérieur, dans la direction opposée au centre de rotation. La force contraire à la force d'inertie est la force centripète. Les deux forces ont la même valeur, et leur direction respective est exactement opposée. Les forces centrifuges se forment sur toutes les machines rotatives telles que les turbines, et doivent être contrôlées pour éviter tout endommagement des éléments des machines.

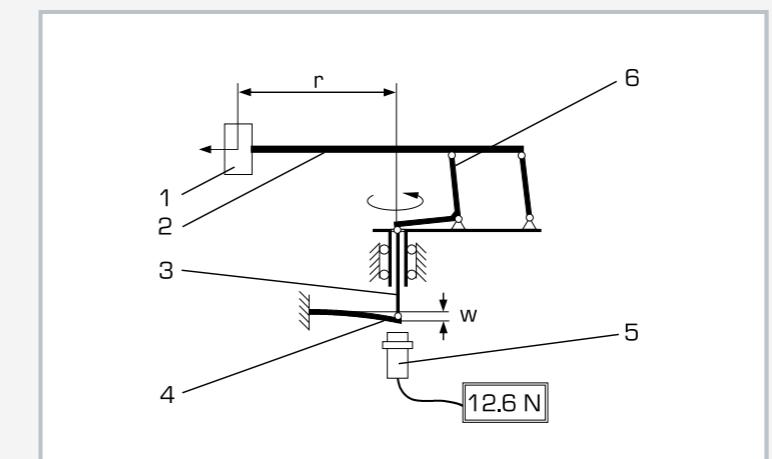
Le TM 600 permet d'étudier les forces centrifuges dans différentes conditions. L'élément central de l'appareil d'essai est un bras rotatif placé sur un axe rotatif vertical. Différentes masses sont ancrées sur le bras. On peut ajuster le rayon de l'orbite en changeant la position de la masse sur le bras. On dispose de trois masses différentes.

### Contenu didactique/essais

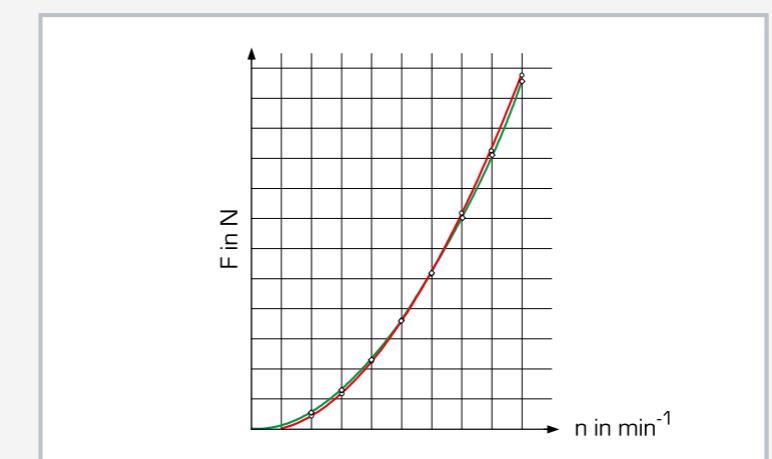
- étude de la force centrifuge en fonction
  - ▶ de la vitesse de rotation
  - ▶ de la taille de la masse en rotation
  - ▶ du rayon de rotation



1 affichage de la force centrifuge, 2 affichage de la vitesse de rotation, 3 ajustage de la vitesse de rotation 4 élément de direction (mesure de la force), 5 capot de protection, 6 bras rotatif, 7 masse



Principe de mesure de la force avec déformation proportionnelle à la force: 1 masse, 2 bras rotatif, 3 barre de compression, 4 poutre en flexion, 5 capteur de déplacement, 6 élément de direction; r rayon, w déformation



Force centrifuge dépendant de la vitesse de rotation en vert: valeurs calculées, en rouge: valeurs mesurées; F force centrifuge, n vitesse de rotation

### Spécification

- [1] mesure de la force centrifuge sur des masses en rotation
- [2] ajustage des rayons de trajectoire
- [3] sélection de différentes masses
- [4] ajustage en continu de la vitesse de rotation
- [5] entraînement du moteur à courant continu
- [6] transmission de la force centrifuge par un élément de direction et une barre de compression à une poutre en flexion
- [7] déformation proportionnelle à la force de la poutre en flexion
- [8] mesure de la force centrifuge par un capteur de déplacement inductif sur la poutre en flexion
- [9] affichage numérique de la force et de la vitesse de rotation
- [10] le capot de protection avec accouplement électrique positionné sur l'entraînement assure un fonctionnement sécurisé

### Caractéristiques techniques

#### Trajectoire circulaire

- rayons de trajectoire: 25mm, 50mm, 75mm, 100mm, 125mm
- vitesse max.: 6,5m/s

#### Masses: 50g, 75g, 100g

#### Moteur d'entraînement

- puissance max.: 35W
- vitesse de rotation max.: 6000min⁻¹

#### Plages de mesure

- vitesse de rotation: 0...500min⁻¹
- force: 0...25N, résolution: 0,1N

#### 230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

LxLxH: 420x400x270mm

Poids: env. 23kg

### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu d'outils
- 1 jeu de poids
- 1 documentation didactique

## TM 630 Gyroscope



### Description

- propriétés d'une toupie entraînée
- effet de la précession

Le gyroscope est utilisé dans l'aéronautique et l'aérospatial pour le contrôle de position ou en tant qu'instrument de navigation pour ce que l'on appelle la navigation par inertie. Le gyroscope mécanique est constitué principalement d'une masse en rotation rapide. Un gyroscope libre s'efforce de maintenir la position de son axe de rotation dans l'espace, indépendamment de la force de gravité.

Cette propriété est utilisée par exemple pour l'horizon virtuel dans un avion. Lorsque la toupie repose dans un châssis, on parle de toupie entraînée. L'élément central d'un gyroscope est une toupie entraînée. Lorsqu'une force perpendiculaire à son axe de rotation est appliquée sur une toupie entraînée, alors la toupie exerce un moment gyroscopique. La rotation perpendiculaire à l'axe de rotation est appelée précession. Un gyroscope a donc trois axes perpendiculaires entre eux: l'axe de rotation de la toupie, l'axe de précession et l'axe d'action de la toupie, qui exerce le moment gyroscopique.

Un capot protecteur transparent garantit la sécurité: le fonctionnement n'est possible que lorsque celui-ci est correctement positionné.

### Contenu didactique/essais

- vérification expérimentale des lois du gyroscope
- découverte des trois axes du gyroscope
- calcul des moments gyroscopiques
- étude de l'effet de la précession

Le TM 630 permet de se familiariser avec le mode de fonctionnement d'un gyroscope. Les moments générés par la précession de la toupie peuvent être déterminés dans le cadre d'essais.

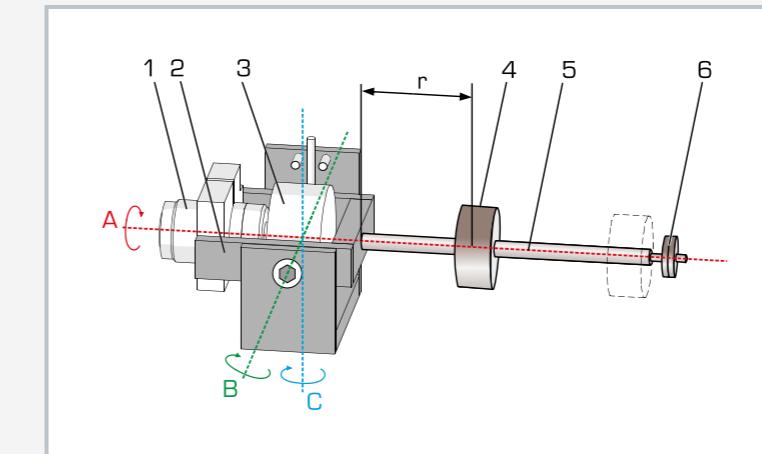
La toupie est constituée d'une masse d'inertie entraînée par un moteur électrique à une vitesse de rotation élevée. La toupie repose dans un châssis à cardan. Il est possible de faire tourner le châssis autour de l'axe vertical en utilisant un second moteur électrique. Ce qui permet de générer la précession de la toupie. Par la précession, la toupie exerce un moment, le moment gyroscopique, autour de l'axe horizontal. Le moment gyroscopique a pour effet de dévier légèrement le châssis interne.

En utilisant un levier et un poids mobile, on peut déterminer le moment gyroscopique. Les vitesses de rotation des deux moteurs électriques pour la rotation et la précession sont ajustables et sont affichées numériquement.

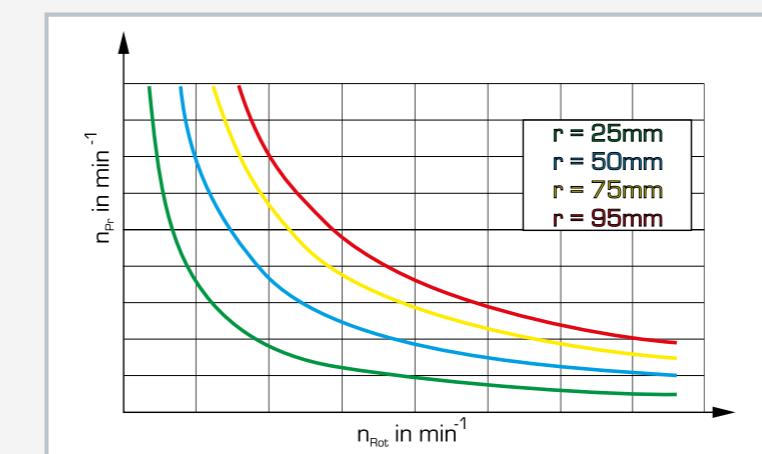
Un capot protecteur transparent garantit la sécurité: le fonctionnement n'est possible que lorsque celui-ci est correctement positionné.



1 capot de protection, 2 moteur d'entraînement de la toupie, 3 affichage et ajustage de la vitesse de rotation de l'axe de rotation horizontal de la toupie et de l'axe vertical de précession, 4 masse d'inertie de la toupie, 5 levier, 6 poids mobile, 7 châssis intérieur



1 moteur d'entraînement, 2 châssis intérieur, 3 masse d'inertie de la toupie, 4 poids mobile, 5 levier, 6 poids fins; r distance du poids, A axe horizontal de la toupie = axe de rotation, B axe de rotation du châssis intérieur = axe d'action de la toupie, C axe vertical = axe de précession



Courbe de la vitesse de précession pour différents moments gyroscopiques  $n_p$ , vitesse de rotation de l'axe de précession,  $n_{\text{rouge}}$  vitesse de rotation de l'axe de rotation,  $r$  distance du poids mobile [donne le moment gyroscopique]

### Spécification

- [1] découverte du gyroscope
- [2] étude d'une toupie entraînée
- [3] ajustage de la vitesse de rotation de l'axe de rotation
- [4] ajustage de la vitesse de rotation de l'axe de précession
- [5] détermination du moment gyroscopique
- [6] affichage numérique des vitesses de rotation de l'axe de rotation et de l'axe de précession
- [7] un capot de protection avec déblocage de l'entraînement assure un fonctionnement sécurisé

### Caractéristiques techniques

#### Toupie

- puissance du moteur d'entraînement: 3,6W
- moment d'inertie de la toupie:  $375 \text{ gcm}^2$
- vitesse de rotation de l'axe de rotation:  $1000 \dots 6000 \text{ min}^{-1}$
- moment gyroscopique:  $0 \dots 61 \text{ Nmm}$

#### Précession

- puissance du moteur d'entraînement: 19W
- vitesse de rotation de l'axe de précession:  $5 \dots 63 \text{ min}^{-1}$

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

LxLxH: 420x400x310mm

Poids: env. 22kg

### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu d'outils
- 1 documentation didactique

## TM 605

### Force de Coriolis



#### Description

- visualisation de l'influence de la force de Coriolis
- système de référence en rotation
- jet d'eau comme masse mobile

Lorsque, dans un système de référence en rotation, une masse se déplace par rapport au système de référence, son mouvement est dévié. Cette déviation est due à la force de Coriolis qui est une force apparente ou force d'inertie. La force de Coriolis joue un rôle décisif dans les domaines de la météorologie et de l'océanographie physique, étant donné qu'elle exerce, du fait de la rotation de la terre, une influence sur les écoulements d'air et d'eau.

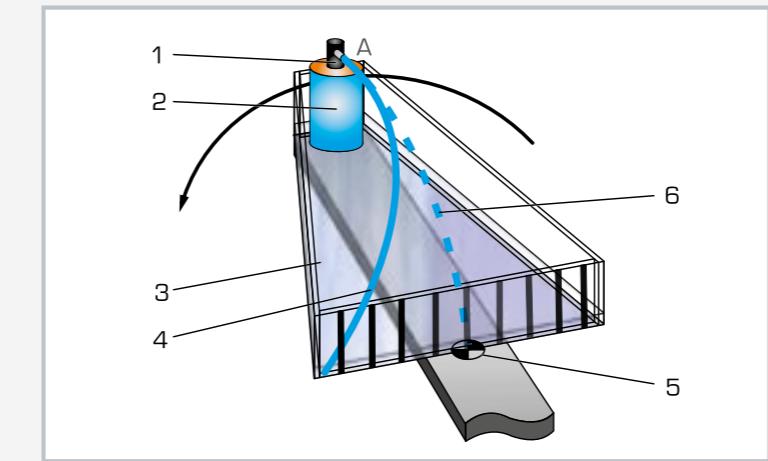
Dans le domaine technique, la force de Coriolis apparaît lorsqu'un mouvement de rotation se superpose à un autre mouvement d'un seul et même objet. Ce qui peut être le cas par exemple sur des grues, des entraînements ou des robots.

#### Contenu didactique/essais

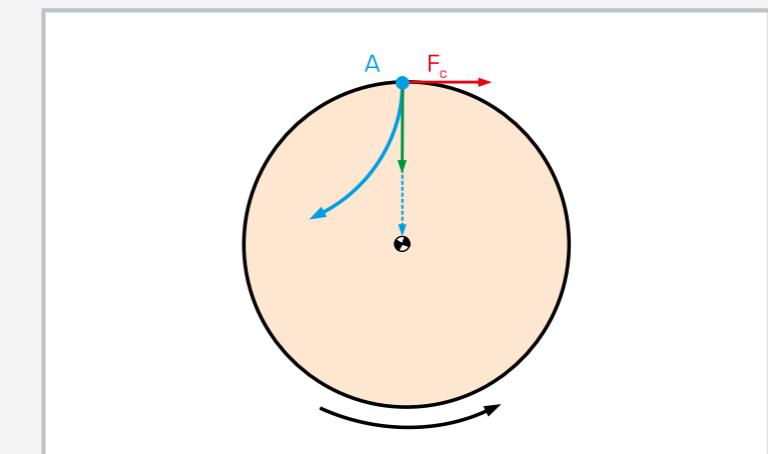
- force d'inertie ou force apparente
- superposition d'un mouvement de rotation sur un mouvement translationnel
- visualisation de l'influence de la force de Coriolis



1 pompe, 2 réservoir d'eau, 3 affichage de la vitesse de rotation, 4 commutateur de modification du sens de rotation, 5 ajustage de la vitesse de rotation, 6 bras rotatif, 7 jet d'eau



1 buse pour jet d'eau, 2 pompe, 3 réservoir, 4 jet d'eau dévié, 5 pivot du bras, 6 jet d'eau avec bras à l'arrêt, 7 sens de rotation; A point de départ de la masse déplacée



Influence de la force de Coriolis: A point de départ de la masse déplacée,  $F_c$  force de Coriolis; en orange: système de référence en rotation, en rouge: direction de la force de Coriolis, en vert: mouvement instantané de la masse, en pointillés bleus: direction du mouvement sans mouvement de rotation, en bleu: direction de mouvement effectif avec une rotation

#### Spécification

- [1] visualisation de l'influence de la force de Coriolis
- [2] système de référence en rotation composé d'un réservoir transparent avec pompe submersible sur un bras rotatif
- [3] déviation du mouvement radial d'un jet d'eau en fonction de la vitesse de rotation et du sens de rotation
- [4] échelle graduée pour le relevé de la déviation du jet d'eau
- [5] circuit d'eau fermé
- [6] capteur de vitesse de rotation avec affichage numérique

#### Caractéristiques techniques

##### Bras rotatif

- vitesse de rotation ajustable en continu: 0...60min<sup>-1</sup>
- sens de rotation ajustable

##### Pompe submersible

- débit de refoulement: 10L/min

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

LxLxH: 420x400x320mm

Poids: env. 25kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu d'outils
- 1 documentation didactique

## TM 632

### Régulateur centrifuge



#### Description

- **visualisation de l'effet de la force centrifuge**
- **fonctionnement de différents systèmes centrifuges**
- **détermination des courbes caractéristiques et des courbes d'ajustage de différents régulateurs centrifuges**

Les régulateurs centrifuges utilisent les propriétés de la force centrifuge pour réguler la vitesse de rotation d'une machine. Une masse d'inertie en rotation tend avec la force centrifuge à s'éloigner de l'axe de rotation et est empêchée par des mécanismes d'action contraire. Selon les types de mécanisme, on distingue les régulateurs à poids et les régulateurs à ressort. Une déviation proportionnelle à la vitesse de rotation se produit sur le régulateur en raison de la cinématique. Cette déviation influence via un actionneur l'apport d'énergie à la machine afin de régler la vitesse de rotation de la machine.

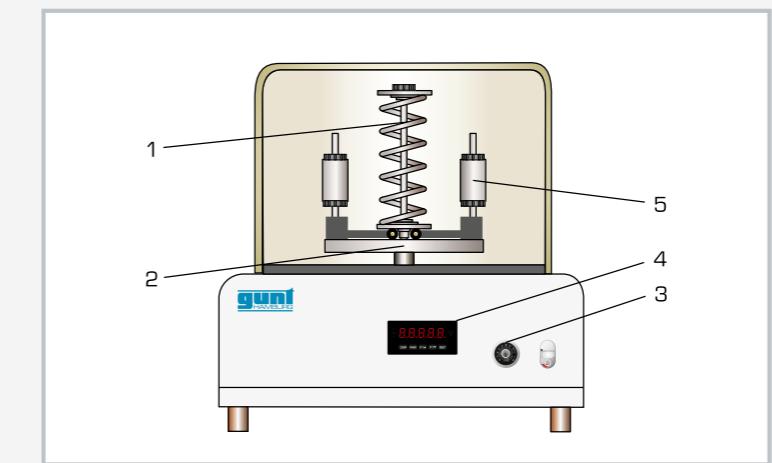
L'appareil d'essai TM 632 sert à présenter des systèmes centrifuges qui mettent en évidence les différents modes de fonctionnement des régulateurs à poids et à ressort.

#### Contenu didactique/essais

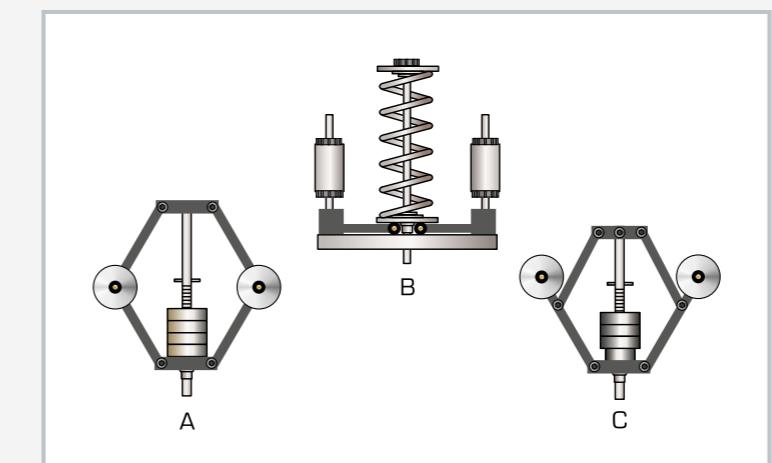
- cinétiqe et cinématique des systèmes centrifuges suivants
  - régulateur Porter
  - régulateur Proell
  - régulateur Hartnell
- ajustage des régulateurs centrifuges
- enregistrement des courbes caractéristiques du régulateur et courbes d'ajustage
- calcul de la disposition et ajustage de différents régulateurs centrifuges

Le boîtier contient un entraînement à moteur à régulation électronique. La vitesse de rotation est réglée en continu et affichée numériquement. Les régulateurs sont placés dans un mandrin sur l'entraînement. Les accessoires fournis permettent de faire varier les masses soumises à la force centrifuge, les forces de manchon et la précontrainte des ressorts selon le régulateur. On peut mesurer la course sur des marques se trouvant sur l'arbre de réglage.

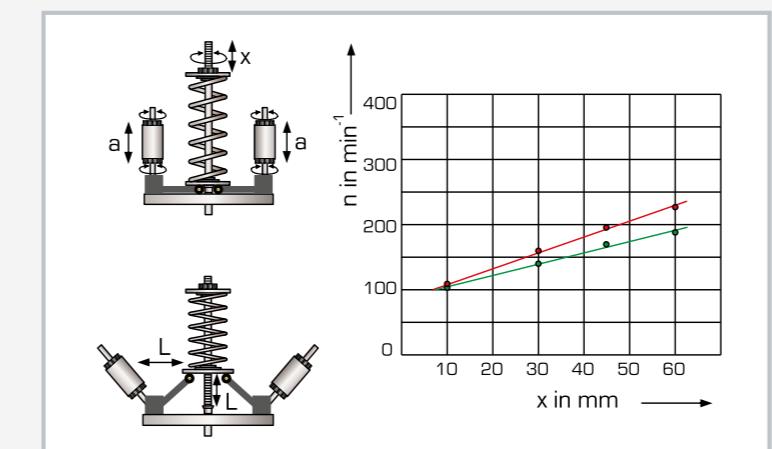
Un capot transparent au-dessus du régulateur centrifuge tournant assure la sécurité: l'utilisation de l'appareil n'est possible que si le capot est correctement en place.



1 ressort, 2 système centrifuge du régulateur Hartnell, 3 élément de commande pour l'ajustage de la vitesse de rotation, 4 élément d'affichage de la vitesse de rotation, 5 masse soumise à la force centrifuge



Différents systèmes centrifuges: A régulateur Porter, B régulateur Hartnell, C régulateur Proell



Paramètres et courbe caractéristique du régulateur Hartnell à bras de levier de force centrifuge constant: a: ajustage de la masse soumise à la force centrifuge, l: bras de levier de force centrifuge, n: vitesse de rotation, x: précontrainte du ressort; vert: vitesse de rotation croissante, rouge: vitesse de rotation décroissante

#### Spécification

- [1] mode de fonctionnement des systèmes centrifuges
- [2] 3 régulateurs centrifuges différents: régulateurs Porter, Proell et Hartnell
- [3] nombreuses variations possibles sur les régulateurs: ajustage de la masse soumise à la force centrifuge, de la force de manchon et de la précontrainte du ressort
- [4] ajustage en continu de la vitesse de rotation au moyen d'un potentiomètre
- [5] entraînement par moteur à courant continu
- [6] affichage numérique de la vitesse de rotation
- [7] un capot avec accouplement électronique sur l'entraînement garantit un fonctionnement sécurisé

#### Caractéristiques techniques

Moteur à courant continu  
■ puissance max. 35W

Régulation de vitesse de rotation: 60...400min⁻¹

#### Régulateur Proell

- masse des manchons: 3x100g
- masse soumise à la force centrifuge: 2x 150g

#### Régulateur Porter

- masse des manchons: 3x100g
- masse soumise à la force centrifuge: 2x400g

#### Régulateur Hartnell

- masse soumise à la force centrifuge: 2x400g
- 2 ressorts de pression, précontrainte ajustable

#### Plages de mesure

- vitesse de rotation: 0...600min⁻¹

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

LxLxh: 420x420x430mm

Poids: env. 30kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 3 régulateurs centrifuges
- 1 jeu d'outils
- 1 jeu de poids
- 1 documentation didactique

## Connaissances de base

# Vibrations

Les phénomènes de modification périodique d'une grandeur physique en fonction du temps sont désignés par le terme de vibrations. Ils s'accompagnent de la transformation de différentes formes d'énergies.

Lors de vibrations mécaniques, de l'énergie potentielle est périodiquement transformée en énergie cinétique et inversement. Toute vibration mécanique est un mouvement à accélération irrégulière. Elle est produite par l'apport d'énergie à un système vibrant, un pendule par exemple, auquel on a donné une impulsion.

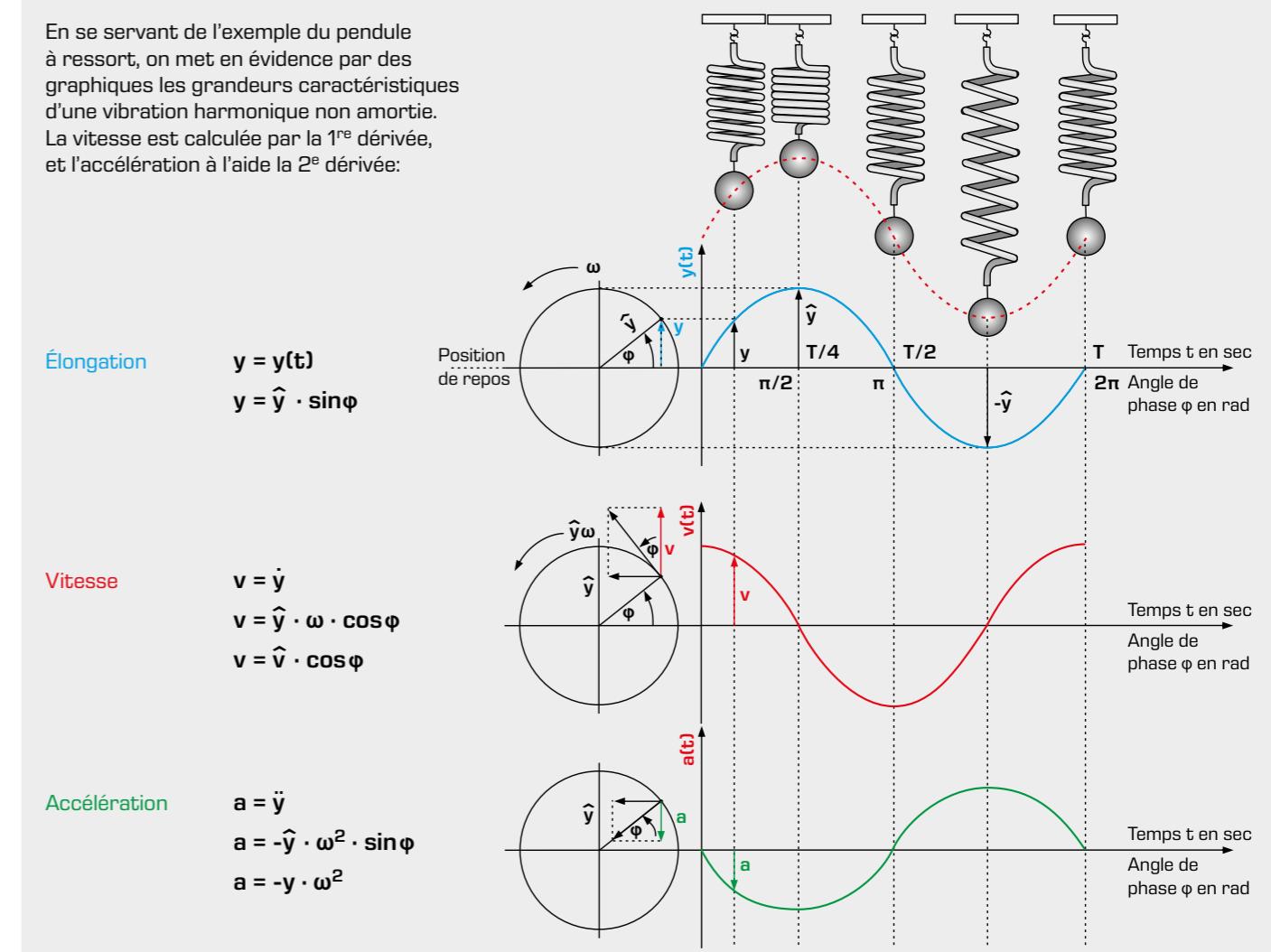
### Grandes caractéristiques d'une vibration

Grandeur caractéristique	Formule (signes)	Description
Élongation	$y = y(t)$	Distance momentanée du corps oscillant de sa position au repos ou de sa position d'équilibre
Amplitude	$\hat{y}$ oder $y_m$	Valeur maximale de l'élongation
Fréquence	$f = 1/t$	Nombre de vibrations par unité de temps $t$
Durée de vibration (durée de la période)	$T = 1/f$	Durée d'une vibration complète
Fréquence angulaire	$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$	Vitesse angulaire du mouvement circulaire dont la projection donne la vibration harmonique; indique l'angle de phase balayé de la vibration par intervalle de temps.
Angle de phase (phase)	$\phi = \omega \cdot t + \phi_0$	Indique l'état momentané d'un système oscillant harmoniquement ou d'un arbre (dans des unités d'angle comme le degré ou le radian); une période de vibration correspond à un angle de phase de $2\pi$
Angle de phase zéro (constante de phase)	$\phi_0$	Angle de phase à l'instant $t = 0$
Force de rappel	$F_R$	Force qui entraîne constamment le corps vibrant vers sa position de repos; elle est opposée à l'élongation
Grandeur de référence	$k$	Facteur de proportionnalité entre la force de rappel et l'élongation; identique à la rigidité de ressort dans le cas de vibrations élastiques
Fréquence propre		Fréquence à laquelle le système vibre selon un mode propre après une excitation unique
Amortissement		Réduction régie par des lois générales de l'amplitude au cours de la vibration

Si le système oscille en permanence avec une amplitude constante, il s'agit alors d'une vibration **non amortie**. Sauf si on lui apporte de l'énergie supplémentaire, toute vibration est plus ou moins amortie, c'est-à-dire que son amplitude diminue selon une loi générale. Lorsqu'il est possible de décrire la courbe de la vibration par une fonction sinus, on l'appelle vibration **harmonique**.

### Vibration harmonique non amortie

En se servant de l'exemple du pendule à ressort, on met en évidence par des graphiques les grandeurs caractéristiques d'une vibration harmonique non amortie. La vitesse est calculée par la 1<sup>re</sup> dérivée, et l'accélération à l'aide la 2<sup>e</sup> dérivée:



### Vibration de torsion

Lors d'une vibration de torsion, un corps solide pivotant vibre autour de ses axes (degré de liberté rotatif) contrairement à la vibration translationnelle. Les termes rotation et torsion sont utilisés en tant que synonymes. On utilise le terme de vibration de torsion dans le cas d'un arbre qui se tord (ou se torsionne).

La vibration de torsion est rendue possible par un **moment de redressement** qui est en permanence proportionnel, mais de direction opposée à l'angle de torsion.

En principe, les lois générales applicables à la vibration linéaire s'appliquent aussi aux vibrations de torsion.

Élongation	$y$	$\hat{e} \cdot \sin\phi$	Angle de torsion	$\epsilon = \hat{e} \cdot \sin\phi$
Vitesse	$v = \dot{y}$	$\hat{e} \cdot \omega \cdot \cos\phi$	Vitesse angulaire	$\dot{\epsilon} = \hat{e} \cdot \omega \cdot \cos\phi$
Accélération	$a = \ddot{y}$	$\hat{e} \cdot \omega^2 \cdot \sin\phi$	Accélération angulaire	$\ddot{\epsilon} = \hat{e} \cdot \omega^2 \cdot \sin\phi$

## TM 161

### Pendule à tige et pendule à fil



#### Description

- étude d'oscillations pendulaires
- comparaison du pendule physique et du pendule mathématique

Les pendules effectuent des oscillations de torsion. La force de gravité produit le moment de redressement. On fait la distinction entre le pendule mathématique et le pendule physique. Un pendule mathématique décrit un pendule à fil idéalisé. Sur le pendule physique, on tient compte de la forme et de la taille du corps de pendule. Les deux pendules sont des modèles théoriques destinés à décrire un pendule réel.

Le TM 161 permet d'étudier les oscillations pendulaires. On compare un pendule à fil (comme pendule mathématique) et un pendule à tige (comme pendule physique). L'appareil comprend une tige en métal avec une masse supplémentaire mobile. Il est possible d'ajuster le point de suspension au niveau du palier à couteau du pendule. La longueur du pendule à fil peut être facilement modifiée à l'aide d'un dispositif de blocage.

L'appareil d'essai est conçu pour être fixé au mur.

#### Contenu didactique/essais

- durée d'oscillation du pendule à fil et du pendule à tige
- détermination du centre de gravité du corps sur le pendule à tige
- longueur de pendule réduite et centre d'inertie du pendule à tige

#### Spécification

- [1] essais sur les oscillations pendulaires, comparaison d'un pendule physique et d'un pendule mathématique
- [2] pendule à tige (pendule physique) en métal logé dans un palier à couteau
- [3] palier à couteau mobile monté sur la tige pour variation de la longueur active du pendule
- [4] poids pour le pendule à tige, mobile
- [5] pendule à fil comme pendule mathématique
- [6] longueur ajustable du pendule à fil
- [7] chronographe pour la mesure de la durée de l'oscillation
- [8] support pour montage mural

#### Caractéristiques techniques

##### Pendule à fil

- longueur jusqu'à 2000mm
- fil en nylon
- poids
  - ▶ diamètre: 50mm
  - ▶ masse: 0,52kg

##### Pendule à tige

- longueur: 1000mm
- diamètre: 8mm
- masse: 0,39kg
- poids du pendule
  - ▶ diamètre: 50mm
  - ▶ masse: 0,49kg

Chronographe: 1/100s

LxLxH: 250x80x2000mm  
Poids: env. 5kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 documentation didactique

## TM 162

### Pendules à suspension bifilaire / trifilaire



#### Description

- pendule mathématique et pendule physique
- moment d'inertie dans l'essai de pendule rotatif

Sur une suspension bifilaire, un corps de pendule est suspendu à deux fils. Le corps de pendule oscille dans un plan translationnel sans rotation. Un tel pendule peut être considéré comme un pendule mathématique. Sur une suspension trifilaire (à trois fils), le corps de pendule effectue une oscillation de torsion. L'oscillation de torsion permet de déterminer le moment d'inertie de manière expérimentale.

Le TM 162 permet d'étudier les oscillations de pendules à suspension bifilaire ou trifilaire. Une poutre, un cylindre ou un anneau sert de corps de pendule. La longueur des fils peut être modifiée à l'aide de dispositifs de blocage. Les moments d'inertie des corps de pendules peuvent être calculés à partir de la durée mesurée des oscillations. La modification de la longueur des fils permet de varier la durée des oscillations.

L'appareil d'essai est conçu pour être fixé au mur.

#### Contenu didactique/essais

- influence de la longueur des fils sur la durée des oscillations
- détermination du moment d'inertie de masse

#### Spécification

- [1] étude du comportement d'oscillation de différents corps de pendule avec suspension bifilaire et trifilaire
- [2] étude d'un pendule mathématique (bifilaire) et d'un pendule physique (trifilaire)
- [3] 3 corps de pendule au choix: poutre, cylindre, anneau
- [4] modification de la longueur des fils grâce à un dispositif de blocage
- [5] chronographe de mesure de la durée d'oscillation
- [6] détermination du moment d'inertie de masse
- [7] fixation pour montage mural

#### Caractéristiques techniques

##### Corps de pendule

- poutre
  - ▶ LxLxH: 40x40x160mm
  - ▶ masse: 2kg
- cylindre
  - ▶ diamètre: 160mm
  - ▶ hauteur: 19mm
  - ▶ masse: 3kg
- anneau
  - ▶ diamètre extérieur: 160mm
  - ▶ diamètre intérieur: 100mm
  - ▶ hauteur: 41mm
  - ▶ masse: 4kg

Longueur des fils: jusqu'à 2000mm

Chronographe: 1/100s

LxLxH: 205x200x2000mm  
Poids: env. 12kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 documentation didactique

## TM 163

### Vibrations de torsion



#### Description

##### ■ vibrations de différentes barres de torsion

Lors des vibrations de torsion, un moment de redressement est produit par la torsion d'une barre du système vibrant; ce moment tend à ramener la masse en rotation vers sa position de repos.

Le TM 163 permet d'étudier les vibrations de torsion sur des barres de torsion de différents diamètres et longueurs. Les barres de torsion sont serrées à leur extrémité supérieure dans un mandrin à serrage rapide.

Un disque circulaire massif ou un anneau est fixé à l'extrémité inférieure de la barre au moyen d'un mandrin à serrage rapide. Ces derniers ont la même masse et le même diamètre, mais ils ont des moments d'inertie différents en raison de leur forme.

Les barres de torsion peuvent être rapidement et facilement échangées et leur longueur modifiée. La durée de vibration est mesurée.

L'appareil d'essai est conçu pour être fixé au mur.

#### Contenu didactique/essais

- détermination de la durée des vibrations en fonction
  - ▶ de la longueur de la barre de torsion
  - ▶ du diamètre de la barre de torsion
  - ▶ de la masse en rotation et de sa forme

#### Spécification

- [1] vibrations de torsion sur différentes barres de torsion
- [2] 5 barres de torsion en aluminium de différents diamètres
- [3] longueur active des barres de torsion ajustables
- [4] échange des composants grâce à des mandrins à serrage rapide
- [5] génération de la vibration de torsion par le biais d'un disque circulaire ou d'un anneau
- [6] chronographe pour la mesure de la durée de vibration
- [7] fixation pour montage mural

#### Caractéristiques techniques

- 5 barres de torsion
- aluminium
  - longueur: 1100mm
  - diamètre: 2mm, 3mm, 4mm, 5mm, 6mm

#### Anneau

- diamètre extérieur: 160mm
- diamètre intérieur: 100mm
- hauteur: 31mm
- moment d'inertie: 0,01335kgm<sup>2</sup>

#### Disque circulaire

- diamètre: 160mm
- hauteur: 19mm
- moment d'inertie: 0,0096kgm<sup>2</sup>

#### Chronographe: 1/100s

LxLxH: 700x200x200mm  
Poids: env. 12kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 documentation didactique

## TM 164

### Vibrations d'un ressort spiral



#### Description

##### ■ vibrations de torsion d'un système masse-ressort

Sur les ressorts de type spiral, la force de rappel est produite par la déformation élastique d'une bande métallique en forme de spirale d'Archimède. Lorsqu'une masse est fixée sur un ressort, on parle de système masse-ressort. La résistance exercée par le ressort contre la déformation élastique est ce qu'on appelle la rigidité de ressort. Elle est une grandeur caractéristique de ce dernier.

Le TM 164 est constitué d'un ressort spiral relié à un levier rotatif. Des masses peuvent être placées à différentes distances sur le levier. On obtient alors un système masse-ressort sur lequel on peut étudier l'influence de la rigidité de ressort, de la masse et de la distribution de la masse sur la fréquence de vibration. L'angle de déviation peut être lu sur une échelle d'angle.

L'appareil d'essai est conçu pour être fixé au mur.

#### Contenu didactique/essais

- détermination de la rigidité d'un ressort spiral
- détermination de la fréquence propre d'un système masse-ressort
- étude de l'influence de la masse et de la distribution de la masse

#### Spécification

- [1] étude des vibrations sur un système masse-ressort
- [2] levier avec masse mobile pour déviation du ressort spiral
- [3] distance ajustable de la masse par rapport à l'axe de rotation
- [4] échelle d'angle pour lecture de l'angle de déviation
- [5] chronographe pour la mesure de la durée de vibration
- [6] détermination de la fréquence propre et de la rigidité de ressort
- [7] fixation pour montage mural

#### Caractéristiques techniques

##### Ressort spiral

- coupe transversale: 10x1mm
- longueur du ressort: env. 800mm
- rayon interne: 10mm
- rayon externe: 50mm
- distance entre les spires: 8,5mm

Masse mobile: 2x 0,5kg

Distance séparant la masse de l'axe de rotation

- 36...150mm

##### Angle de déviation

- max. 360°
- graduation 1°

Chronographe: 1/100s

LxLxH: 250x200x360mm  
Poids: env. 6kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 documentation didactique

## TM 150 Système didactique sur les vibrations

La science des vibrations requiert une compréhension très fine des mathématiques et de la physique. Dans les métiers techniques, la science des vibrations est incontournable. Pour aider les étudiants à assimiler cette discipline, les expériences pratiques sont très utiles.

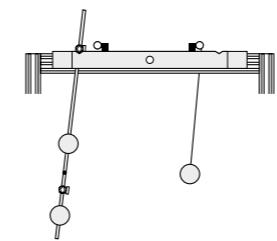
Le système didactique TM 150 sur les vibrations a été spécialement conçu pour l'étude de cette thématique complexe; il permet de traiter de manière expérimentale une grande diversité de sujets relatifs aux vibrations.

- oscillations pendulaires
- systèmes masse-ressort
- vibrations libres et vibrations forcées
- vibrations amorties
- vibrations de poutres
- systèmes à deux masses et effets d'absorption

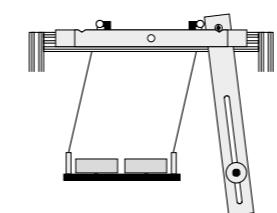
### TM 150 Système didactique sur les vibrations



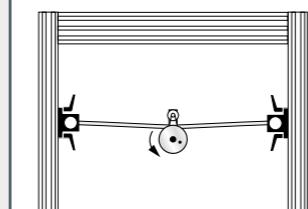
Pour permettre l'étude des **mouvements pendulaires**, le système didactique comporte différents types de pendules ainsi qu'un palier de pendule:



- 2 pendules à fil avec bille en acier et bille en bois
- 2 pendules à tige avec masses mobiles et paliers à couteau



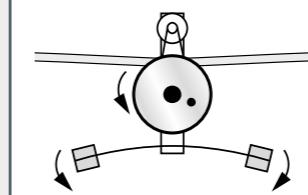
- 1 pendule physique en bois avec masses mobiles et palier à couteau
- 1 pendule à suspension bifilaire avec différentes masses



Étude des **vibrations forcées** au moyen d'un exciteur à balourd; fréquence et amplitude de force réglables de l'excitateur à balourd

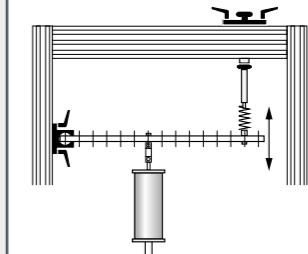


Absorbeur de vibrations réglable pour l'étude des **effets d'absorption**

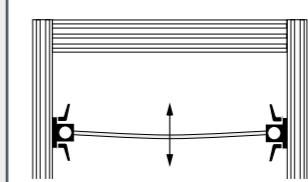


**Poutre élastique** comme continuum vibrant, logée dans un palier fixe ou libre à roulement à billes, pour un amortissement minimal du système

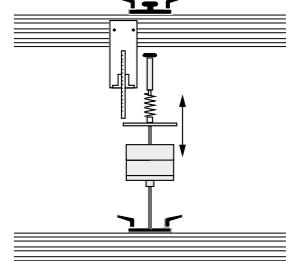
Pour la **poutre oscillante**, on dispose de deux types de poutres:



**Poutre rigide** comme oscillateur de rotation discret, logée dans un palier fixe, suspension à un ressort à vis. La trame perforée permet de reproduire une grande variété de configurations de fixation des ressorts, excitateurs et amortisseurs.



**Poutre élastique** comme continuum vibrant, logée dans un palier fixe ou libre à roulement à billes, pour un amortissement minimal du système



Étude d'un **système masse-ressort** avec

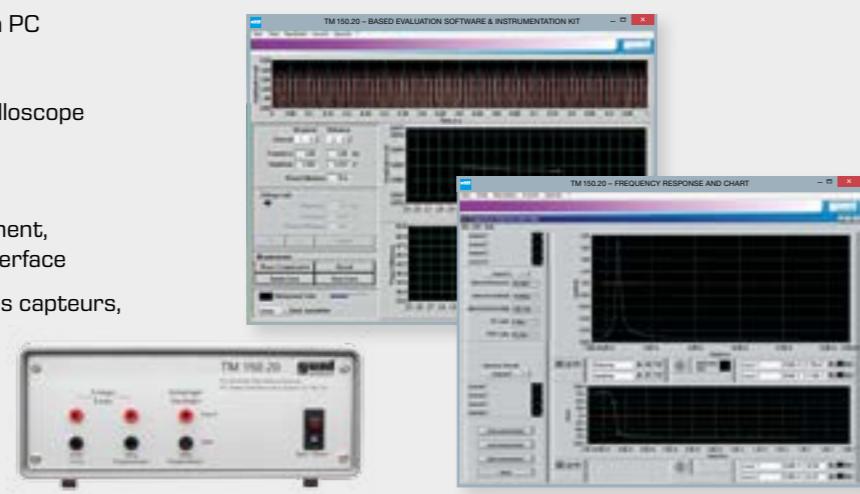
- fixation de ressort ajustable en hauteur
- fixation pour le positionnement de différentes masses
- ressorts à vis de rigidités différentes
- pied à coulisse pour la mesure de la déviation



**Vibrations amorties** par des amortisseurs visqueux ajustables ayant un frottement de Coulomb très faible

### TM 150.20 Système d'acquisition de données

- évaluation des signaux vibratoires sur un PC
- courbes de fréquence et de phase
- toutes les fonctions principales d'un oscilloscope à mémoire numérique
- spectres de fréquence des signaux
- composé du logiciel, capteur de déplacement, capteur de référence et d'un boîtier d'interface
- le boîtier d'interface alimente jusqu'à trois capteurs, prépare leurs signaux de mesure pour le PC et les affiche sur trois sorties analogiques



### Jeu d'accessoires TM 150.02



Les **vibrations de torsion** jouent un rôle important dans les systèmes d' entraînement et doivent être contrôlées pour éviter tout dommage. Le jeu d'accessoires TM150.02 permet de générer des **vibrations de torsion libres et amorties**, et d'étudier l'influence de la rigidité en torsion, de la masse et de l'amortissement sur la fréquence et l'amplitude.

- Le spectre d'essais comprend entre autres:
- la rigidité en torsion
  - les moments d'inertie de masse
  - les vibrations de torsion libres
  - les vibrations de torsion amorties
  - l'oscillateur avec différentes masses



Vous trouverez des détails sur le **TM 150.02** au chapitre 4.

Les pièces de montage sont à portée de main, et bien protégées dans un système de rangement.

## TM 150

### Système didactique sur les vibrations



#### Description

- spectre d'essais approfondi et complet en science des vibrations mécaniques
- expériences sur différents pendules, poutres oscillantes et systèmes masse-ressort
- amortissement, résonance et effets d'absorption sur des vibrations forcées

Les vibrations mécaniques représentent, en règle générale, un effet secondaire indésirable rencontré dans de nombreux domaines techniques. On peut mentionner par exemple les vibrations des véhicules sur une route accidentée, ou encore les vibrations d'un moteur. La science des vibrations est un domaine particulièrement complexe de la mécanique.

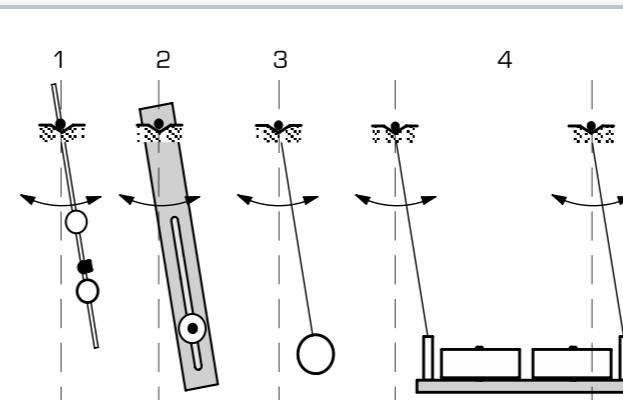
Avec le système didactique TM 150 sur les vibrations, il est possible de traiter de nombreuses thématiques de la

#### Contenu didactique/essais

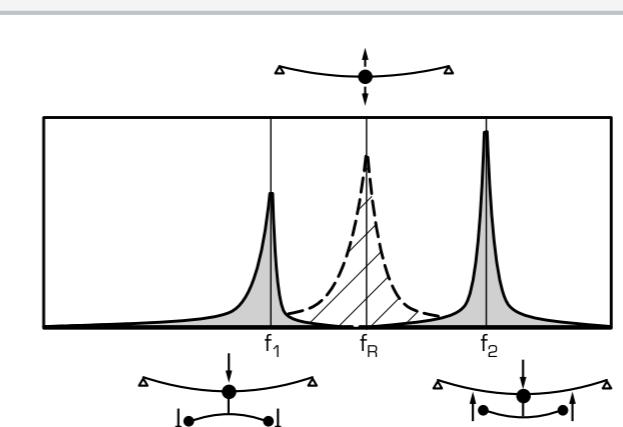
- essais avec des pendules
  - ▶ pendule de Kater (réversible)
  - ▶ longueur de pendule réduite
  - ▶ système masse-ressort
- poutre oscillante
  - ▶ vibration non amortie
  - ▶ vibration amortie
  - ▶ vibrations forcées
- résonance amortie et résonance non amortie
- effet d'absorption sur un oscillateur à plusieurs masses



1 palier de pendule, 2 poutre oscillante, 3 réservoir de l'amortisseur à huile, 4 appareil de commande pour exciteur à balourd, 5 rangement pour autres pendules, 6 exciteur à balourd, 7 traceur à tambour, 8 ressort



1 pendule à tige, 2 pendule en bois avec masse supplémentaire mobile, 3 pendule à fil, 4 pendule à fil bifilaire suspendu avec masses supplémentaires



Effet d'absorption des masses supplémentaires: la zone hachurée montre pour  $f_R$  la résonance d'une poutre oscillante non influencée.  
Les deux zones à fond gris pour  $f_1$  et  $f_2$  sont les nouvelles résonances du système.  
Pour  $f_R$ , l'amplitude du nouveau système de vibrations créé par l'absorbeur de vibrations disparaît presque totalement.

#### Spécification

- [1] système didactique sur les vibrations avec essais sur l'amortissement, la résonance, le système à deux masses et l'absorption de vibrations
- [2] 6 pendules oscillants, 2 poutres oscillantes, 1 oscillateur masse-ressort
- [3] excitateur à balourd électrique
- [4] appareil de commande pour excitateur à balourd avec affichage de fréquence numérique et sortie TTL pour le déclenchement d'appareils externes
- [5] absorbeur de vibrations réglable avec ressort à lame
- [6] amortisseur à huile ajustable
- [7] traceur à tambour électrique pour l'enregistrement des vibrations libres
- [8] traceur de courbes polaires pour la détermination de l'amplitude et de la phase des vibrations forcées

#### Caractéristiques techniques

Poutre, rigide: LxLxh: 700x25x12mm, 1,6kg  
Poutre, élastique: LxLxh: 25x4x700mm, 0,6kg

Ressorts de traction-compression

- 0,75N/mm
- 1,5N/mm
- 3,0N/mm

Exciteur à balourd

- 0...50Hz
- 100cmg

Amortisseur à huile: 5...15Ns/m

Absorbeur de vibrations

- ressort à lame: Lxh: 20x1,5mm
- masse totale: env. 1,1kg
- réglable: 5...50Hz

Traceur à tambour: 20mm/s, largeur 100mm  
Traceur de courbes polaires: Ø=100mm

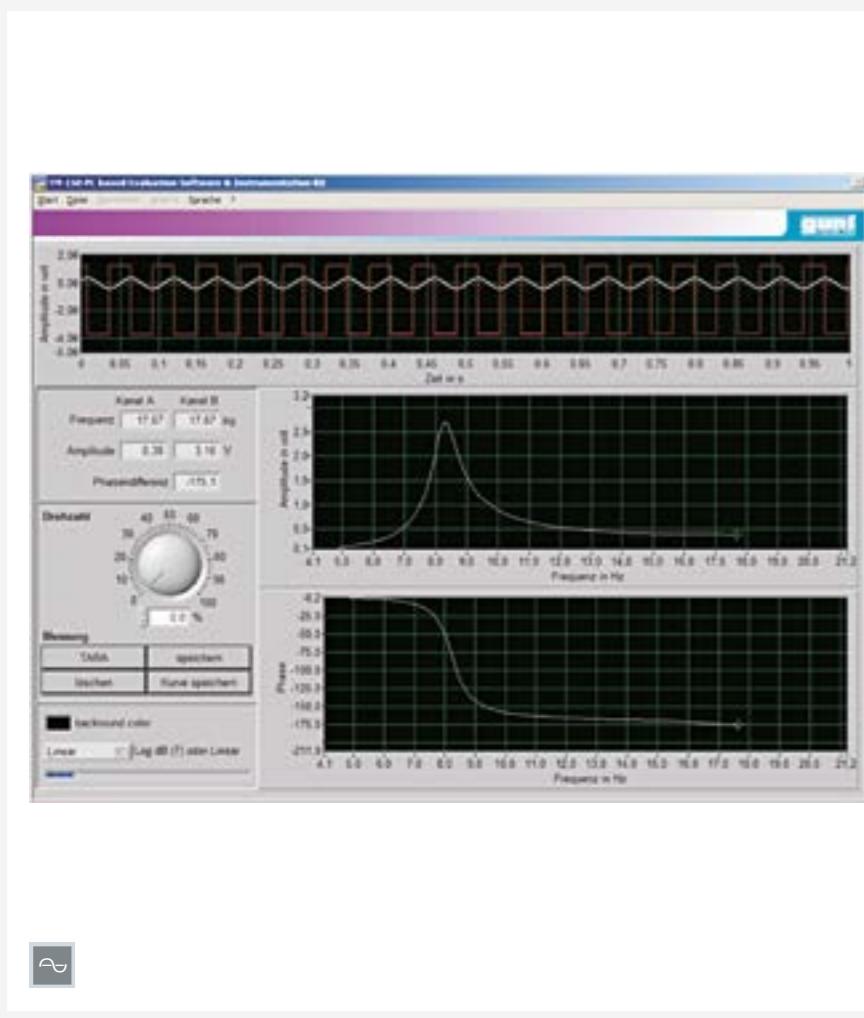
230V, 50Hz, 1 phase  
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase  
UL/CSA en option  
LxLxh: 1010x760x1800mm  
Ouverture du bâti Lxh: 870x650mm  
Poids: env. 150kg

#### Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 6 pendules
- 2 poutres
- 3 ressorts
- 1 appareil de commande pour exciteur à balourd
- 1 exciteur à balourd
- 1 amortisseur à huile
- 2 traceurs de courbes
- 1 documentation didactique

## TM 150.20

### Système d'acquisition de données



#### Description

- mesure et représentation de courbe déphasage-fréquence
- oscilloscope à mémoire numérique

Ce système d'acquisition de données complète le système didactique sur les vibrations TM 150, et permet d'évaluer les signaux vibratoires sur un PC. Ce système permet de générer, enregistrer et éditer facilement des courbes de fréquence et de phase. Le système offre en outre toutes les fonctions importantes d'un oscilloscope à mémoire numérique, et peut calculer les spectres de fréquence des signaux.

En plus du logiciel, d'un capteur de déplacement et d'un capteur de référence, un boîtier d'interface est compris dans la liste de livraison. Ce dernier alimente jusqu'à trois capteurs, prépare leurs signaux de mesure pour le PC et les affiche sur trois sorties analogiques.

Tous les composants structurels du système sont disposés à portée de main et protégés dans un système de rangement.

#### Nécessaire pr le fonctionnement

PC avec Windows

#### Liste de livraison

CD avec logiciel GUNT + câble USB,  
1 boîtier d'interface, 1 capteur de déplacement, 1 capteur de référence, 1 jeu de câbles, 1 système de rangement, 1 no-

#### Contenu didactique/essais

- essais supportés sur le système TM 150
  - vibration propre d'une poutre oscillante
  - vibration amortie d'une poutre oscillante
  - vibration forcée d'une poutre oscillante (résonance amortie et non amortie)
  - mesures de la fréquence et des périodes
  - pendule réversible

#### Spécification

- [1] interprét. des données pour TM 150
- [2] mesure, enregistrement et interprétation de courbe de fréquence et de fonction de transfert
- [3] fonctionnement pareil à celui d'un oscilloscope à mémoire numérique
- [4] 3 entrées de capteurs, 3 sorties analogiques
- [5] 1 capteur de déplacement inductif (amplitude), 1 capteur de référence (force d'excitateur)
- [6] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

#### Caractéristiques techniques

Canaux d'entrée de capteur: 3  
Entrées mode opératoire de l'oscilloscope: 2  
Base de temps: 10...750ms/DIV  
Plage de saisie: 2000 valeurs mesurées

#### Capteur de déplacement

- plage de mesure: 5...10mm
- gamme des fréquences: 0...50Hz

230V, 50Hz, 1 phase  
230V, 60Hz, 1 phase  
120V, 60Hz, 1 phase; UL/CSA en option  
LxLxh: 260x110x260mm (boîtier d'interface); Poids: env. 7kg  
LxLxh: 600x400x170mm (système de rangement)

#### Nécessaire pr le fonctionnement

PC avec Windows

#### Liste de livraison

CD avec logiciel GUNT + câble USB,  
1 boîtier d'interface, 1 capteur de déplacement, 1 capteur de référence, 1 jeu de câbles, 1 système de rangement, 1 no-

## SE 110.58

### Vibrations libres sur une poutre en flexion



L'illustration montre le SE 110.58 dans un bâti semblable au SE 112.

#### Description

- fréquences propres d'une poutre en flexion en vibration libre
- méthode d'approximation selon Rayleigh

Un oscillateur laissé à lui-même après une excitation unique effectue des vibrations libres. La fréquence de la vibration libre est la fréquence propre de l'oscillateur.

Sur le SE 110.58, une poutre en flexion est utilisée comme oscillateur du système. La poutre en flexion peut être placée en position verticale debout ou suspendue, ou en position horizontale dans le bâti de montage SE 112.

Sa fréquence propre peut être influencée aussi bien par le biais de la longueur de serrage que par des masses mobiles. La poutre en flexion est déviée manuellement et effectue des vibrations amorties libres. Les amplitudes résultantes sont enregistrées par des jauge de contrainte et un amplificateur de mesure. Les valeurs de mesure sont transmises vers un PC, où, à l'aide du logiciel GUNT fourni, elles sont enregistrées, puis les résultats des essais y sont évalués graphiquement.

#### Contenu didactique/essais

- vibration libre d'une poutre en flexion verticale et horizontale
- détermination des fréquences propres selon Rayleigh
- influence de la longueur de serrage et de la masse sur la fréquence propre

#### Spécification

- [1] étude de la vibration libre d'une poutre en flexion
- [2] poutre en flexion élastique avec poids mobiles
- [3] la poutre en flexion peut être fixée sur les 4 côtés du bâti
- [4] mesure de l'amplitude par jauge de contrainte et amplificateur de mesure
- [5] représentation des résultats de mesure sur un PC
- [6] échelle de mesure des longueurs fixable
- [7] système de rangement pour les pièces
- [8] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

#### Caractéristiques techniques

Poutre en flexion  
■ LxLxh: 635x20x3mm  
■ matériau: AlMgSi0,5F22

#### Poids

- 10x 100g

230V, 50Hz, 1 phase  
230V, 60Hz, 1 phase  
120V, 60Hz, 1 phase  
UL/CSA en option  
LxLxh: 720x480x180mm (système de rangement)  
Poids: env. 14kg (total)

#### Nécessaire pr le fonctionnement

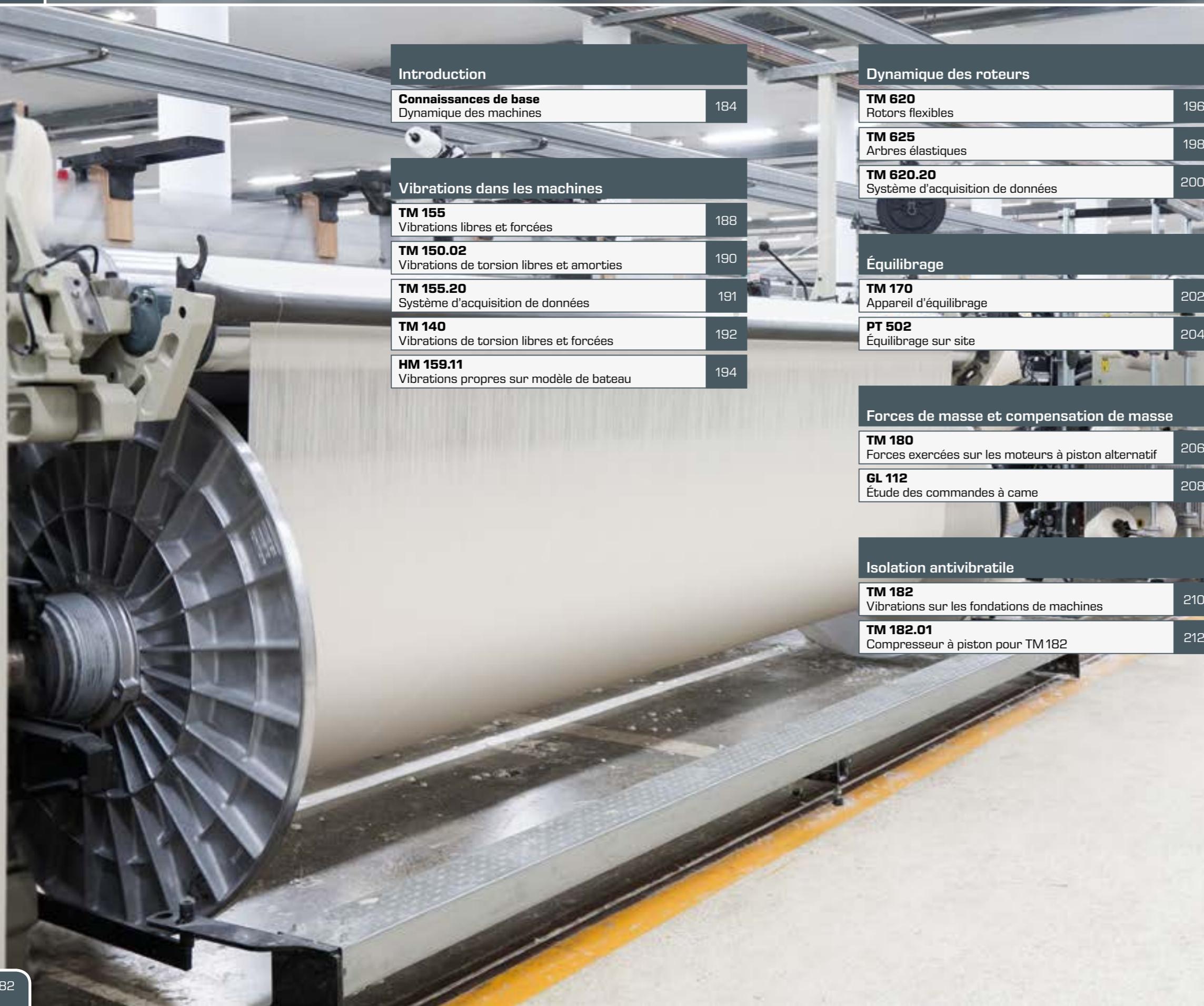
PC avec Windows

#### Liste de livraison

- 1 poutre en flexion
- 1 amplificateur de mesure
- 1 jeu de poids
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

# 4

# Dynamique des machines



## Introduction

<b>Connaissances de base</b>	
Dynamique des machines	184
<b>Vibrations dans les machines</b>	
<b>TM 155</b>	188
Vibrations libres et forcées	
<b>TM 150.02</b>	190
Vibrations de torsion libres et amorties	
<b>TM 155.20</b>	191
Système d'acquisition de données	
<b>TM 140</b>	192
Vibrations de torsion libres et forcées	
<b>HM 159.11</b>	194
Vibrations propres sur modèle de bateau	

## Dynamique des rotors

<b>TM 620</b>	196
Rotors flexibles	
<b>TM 625</b>	198
Arbres élastiques	
<b>TM 620.20</b>	200
Système d'acquisition de données	
<b>Équilibrage</b>	
<b>TM 170</b>	202
Appareil d'équilibrage	
<b>PT 502</b>	204
Équilibrage sur site	
<b>Forces de masse et compensation de masse</b>	
<b>TM 180</b>	206
Forces exercées sur les moteurs à piston alternatif	
<b>GL 112</b>	208
Étude des commandes à came	
<b>Isolation antivibratile</b>	
<b>TM 182</b>	210
Vibrations sur les fondations de machines	
<b>TM 182.01</b>	212
Compresseur à piston pour TM 182	

## Diagnostic de machines

<b>Aperçu</b>	214
Diagnostic de machines	
<b>PT 501</b>	220
Dommages sur les paliers à roulement	
<b>Aperçu</b>	222
PT 500 Système de diagnostic de machine	
<b>PT 500</b>	224
Système de diagnostic de machines, appareil de base	
<b>Série PT 500</b>	226
Jeux d'essai et les composants nécessaires ou optionnels	
<b>PT 500.01</b>	227
Chariot mobile	
<b>PT 500.04</b>	228
Analyseur de vibrations assisté par ordinateur	
<b>PT 500.05</b>	230
Dispositif de freinage et de charge	
<b>PT 500.10</b>	232
Jeu d'accessoires: arbre élastique	
<b>PT 500.11</b>	234
Jeu d'accessoires: arbre fissuré	
<b>PT 500.12</b>	236
Jeu d'accessoires: dommages sur les paliers à roulement	
<b>PT 500.13</b>	238
Jeu d'accessoires: accouplements	
<b>PT 500.14</b>	240
Jeu d'accessoires: courroie d'entraînement	
<b>PT 500.15</b>	242
Jeu d'accessoires: dommages aux engrenages	
<b>PT 500.16</b>	244
Jeu d'accessoires: système bielle-manivelle	
<b>PT 500.17</b>	246
Jeu d'accessoires: cavitation dans les pompes	
<b>PT 500.18</b>	248
Jeu d'accessoires: vibrations dans les ventilateurs	
<b>PT 500.19</b>	250
Jeu d'accessoires: vibrations électromécaniques	

## Connaissances de base

# Dynamique des machines



Dans le génie mécanique moderne, la dynamique des machines joue un rôle prééminent. Les exigences posées par les constructions légères et l'augmentation constante de la densité de puissance exposent de plus en plus les machines à des vibrations nuisibles. La dynamique des machines offre des moyens et outils qui aident à maîtriser ces problématiques.

## Qu'est-ce que la dynamique des machines?

La dynamique des machines est la discipline qui traite du mouvement d'un système en tenant compte des forces qui agissent sur ce dernier.

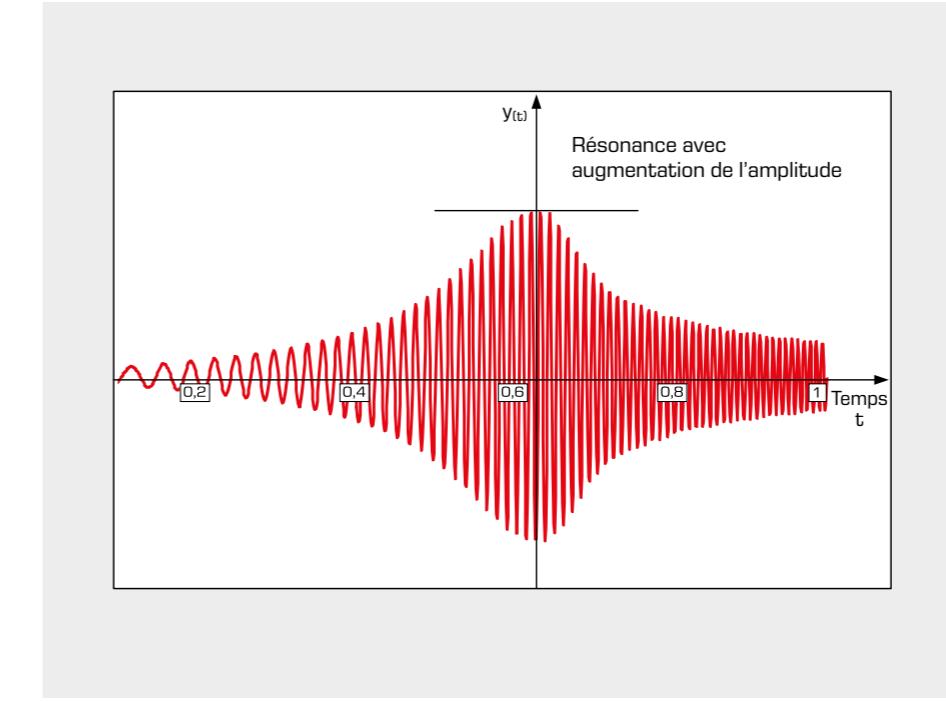
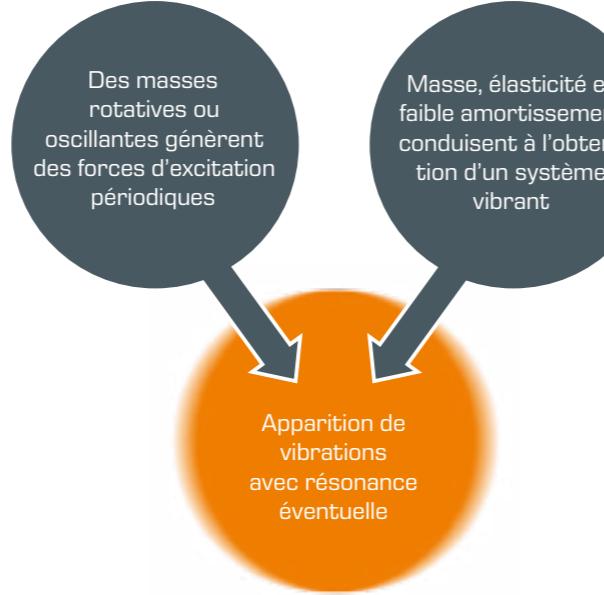
La dynamique des machines met en pratique les connaissances de la mécanique appliquée, en particulier de la dynamique, pour traiter les problèmes de machines réelles. L'action de l'inertie de masse et la présence de vibrations jouent ici un rôle important. La dynamique des machines permet de prévoir le comportement vibratoire d'une machine et de l'influencer de manière positive. Selon le cahier des charges, les vibrations peuvent être souhaitées (vibrateur, convoyeur oscillant) ou indésirables (moteurs, turbines).

Pour être en mesure d'analyser et d'évaluer les vibrations, on emploie des méthodes issues de la technique de mesure des vibrations. Il existe également des liens étroits avec les domaines de la conception mécanique, des éléments de machine ou de la technique d'entraînement.

## Quand les problèmes de vibration apparaissent-ils?

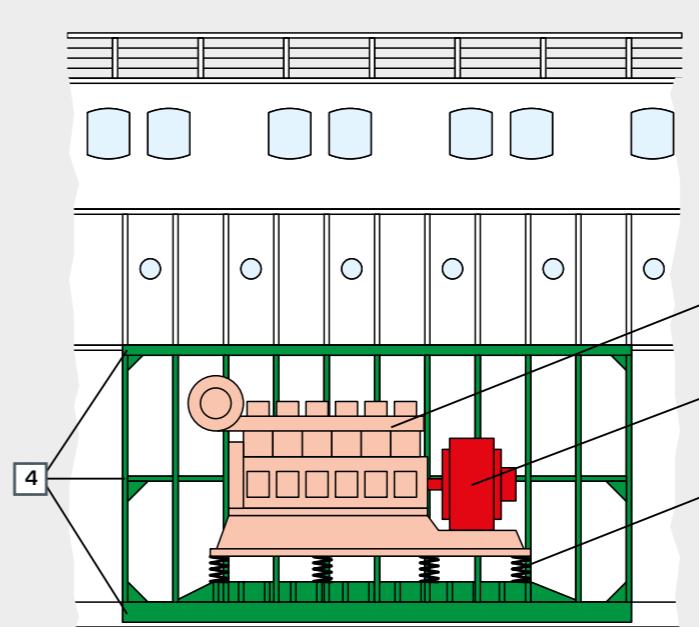
Lorsque les deux conditions suivantes sont remplies, des problèmes de vibrations sont possibles:

- forces d'excitation périodiques
- système vibrant



L'illustration montre l'augmentation des vibrations au passage de la résonance d'un système vibrant. Les amplitudes de vibration très élevées peuvent entraîner la destruction de la machine. Dans la pratique, il faut donc, au cas où elles ne peuvent être évitées, traverser rapidement ces résonances ou vitesses critiques.

## Mesures visant à éviter les problèmes de vibrations



Exemple de minimisation des vibrations indésirables sur une machine de bateau:

- 1 moteur diesel équipé d'une compensation de masse,
- 2 générateur équilibré, 3 palier à ressort pour l'isolation des vibrations,
- 4 structure renforcée du bateau pour rigidification du système

Dans la mesure du possible, il faut lutter contre les vibrations à la source. Les champs d'action prioritaires sont donc les suivants:

- minimiser les forces d'excitation par la compensation des masses ou l'équilibrage
- empêcher la transmission des forces en isolant les vibrations ou en les absorbant
- réduire la capacité vibratoire du système en rigidifiant les composants, en fixant une masse supplémentaire ou en utilisant des amortisseurs

**Connaissances de base**

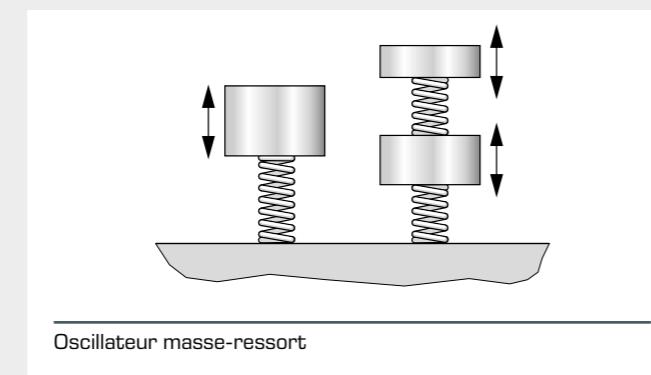
# Dynamique des machines

En dynamique des machines, les machines réelles sont représentées par des modèles théoriques. Mais les machines sont souvent très compliquées et pas faciles à calculer. Par le biais de la simplification et de l'abstraction, on peut élaborer des modèles

mathématiques aussi bien pour les systèmes vibrants que pour les sources des forces d'excitation. Ces modèles mathématiques permettent de prévoir assez rapidement et facilement le comportement de la machine.

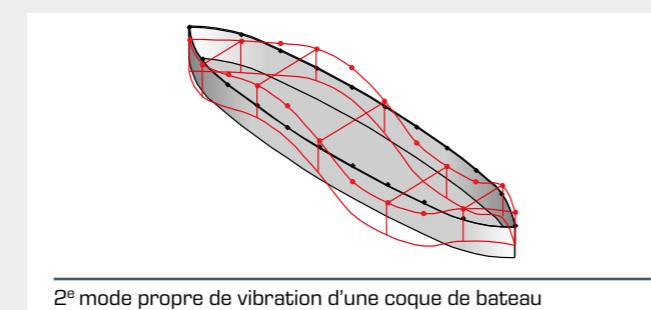
## Oscillateurs linéaires avec un ou plusieurs degrés de liberté

Le modèle le plus simple de système vibrant est l'oscillateur masse-ressort. On peut tirer de ce modèle de nombreux enseignements sur le comportement d'un système vibrant. La distribution de la rigidité et de la masse d'un système réel sont souvent décrites de manière satisfaisante en utilisant des masses ponctuelles concentrées et des ressorts sans inertie.



## Oscillateurs continus

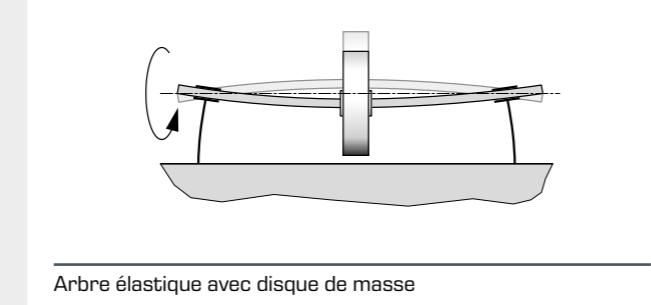
Des systèmes simples similaires existent pour les systèmes continus de vibrations comme la coque d'un bateau. Ici, un modèle simple de poutres donne de premières indications sur le comportement d'oscillation en cas d'excitation par la houle. Les fréquences propres et les modes propres correspondants sont ici intéressants à observer.



## Dynamique des rotors

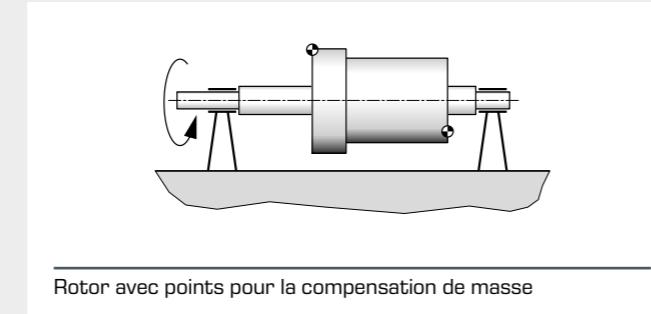
Les machines rotatives peuvent provoquer des vibrations sous l'effet des masses tournantes. Sur les rotors élastiques, les forces dues à la masse circulaire peuvent entraîner des flexions alternées et des résonances. De même, une rotation irrégulière peut provoquer des vibrations de torsion.

Connaitre les vitesses critiques en flexion et en torsion est très important pour la construction et l'exploitation consécutives de la machine.



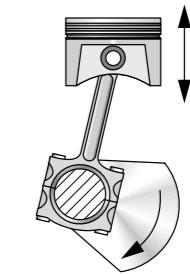
## Équilibrage de rotors

Les vibrations des machines rotatives peuvent être réduites au moyen d'équilibrages. Cela consiste à minimiser les forces d'excitation provoquées par les masses tournantes. On essaye d'ajuster le centre de gravité et l'axe d'inertie du rotor par rapport à son axe de rotation en ajoutant ou retirant des masses. Cette mesure est d'autant plus pertinente que l'équilibrage élimine la cause des vibrations.



## Machines à piston rotatif

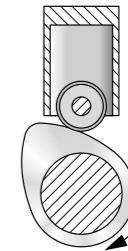
Dans les machines à piston rotatif, la dynamique des machines joue un rôle prééminent. Des forces diverses dues à la masse se forment suite au mouvement de va-et-vient et de rotation de masses de grande taille; en cas de dimensionnement inadéquat, des problèmes massifs de vibrations peuvent apparaître. La distribution des masses sur de nombreux cylindres, des rapports cinématiques adaptés et la disposition de masses de compensation permettent de maintenir les forces dues à la masse, qui en résultent à un niveau réduit. Cela permet d'obtenir un fonctionnement à vibrations limitées de la machine à piston rotatif.



Mécanisme bielle-manivelle

## Commande à came

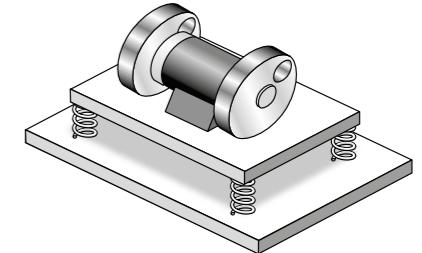
Les commandes à came sont utilisées pour transformer un mouvement de rotation dans le mouvement de va-et-vient que l'on souhaite. Les commandes à came sont utilisées comme actionneurs de soupape des moteurs ou dans les machines d'emballage. Les commandes à came mal dimensionnées produisent des accélérations élevées et des forces dues à la masse. Il en résulte bruits et vibrations. L'utilisation de la dynamique des machines permet de définir un dimensionnement qui limite au maximum les sollicitations et les vibrations.



Arbre à cames avec pousoir rond

## Fondations de machine et paliers pour l'isolation des vibrations

Les fondations ou les paliers de machine sont conçus de manière à empêcher en large partie le transfert des vibrations de la machine vers son environnement. Cela évite les vibrations désagréables des bâtiments, installations ou véhicules. On parle ici d'isolation des vibrations. Avec les méthodes de la dynamique des machines, on détermine les propriétés du palier de la machine, et on calcule les effets sur l'environnement.



Excitateur à balourd sur fondation à ressort

## Contenus de la dynamique des machines

Oscillateurs linéaires avec un degré de liberté	TM 150, TM 150.02, TM 155
Oscillateurs linéaires avec plusieurs degrés de liberté	TM 150, TM 140, TM 182
Vibrations des systèmes continus	HM 159.11, TM 625
Dynamique du rotor, vitesses critiques en flexion	TM 620, TM 625, PT 500.10
Technique d'équilibrage	TM 170, PT 500, PT 500.10, PT 502
Dynamique des machines de la machine à piston rotatif	TM 180, PT 500.16
Vibrations de commandes à came	GL 112
Isolation antivibratile	TM 182, TM 182.01
Technique de mesure des vibrations, principes de base de l'analyse des fréquences	PT 500 et ss., HM 159.11, TM 182
Surveillance de l'état des machines	PT 500 et ss., PT 501

GUNT propose une gamme très complète d'appareils d'essai sur le thème de la dynamique des machines. Elle s'oriente sur le programme de cours classique de dynamique des machines. En plus, des appareils sur les thèmes de la technique de mesure des vibrations et du diagnostic de machine sont également proposés.

## TM 155

### Vibrations libres et forcées



#### Description

- démonstration des principes de base élémentaires de la technique des vibrations mécaniques
- amortissement et résonance sur des vibrations forcées
- deux principes différents pour la génération de vibrations

Dans le domaine technique, on rencontre une grande diversité de vibrations forcées. Tandis que ces vibrations peuvent être dans certains cas souhaitées (tamiseuses à vibrations, convoyeurs oscillants...), elles sont à l'inverse souvent indésirables sur les moteurs ou autres machines rotatives. L'appareil d'essai TM 155 permet d'expliquer avec une grande clarté les principes de base relatifs aux vibrations libres et vibrations forcées. Les différences entre les deux types principaux d'excitation pour les vibrations forcées peuvent être clairement montrées sur un modèle de vibration simple.

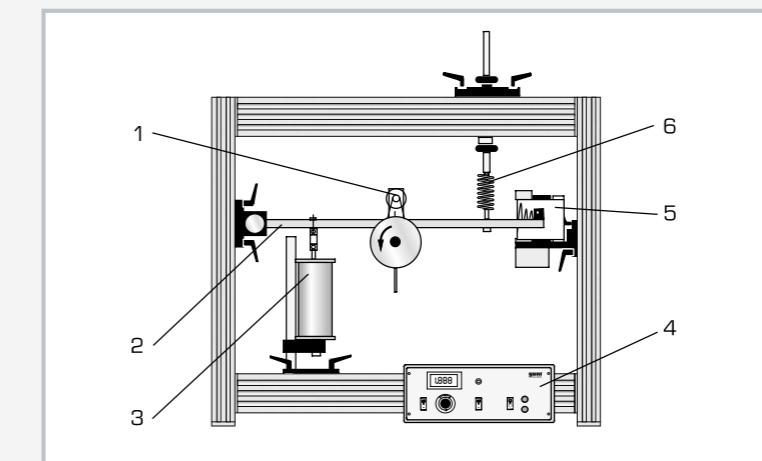
L'élément central de l'appareil d'essai est un cadre profilé stable en aluminium, sur lequel on peut fixer les différents montages expérimentaux. On utilise une poutre oscillante comme système de vibration.

#### Contenu didactique/essais

- vibrations libres
- vibrations amorties
- excitation de force due à la masse et excitation à déplacement
- vibrations forcées
- résonance
- réponse en amplitude et courbe de phase

Cette dernière peut être configurée facilement, et avec une grande flexibilité. Les ressorts, l'amortisseur et le générateur de vibrations peuvent être installés aux positions que l'on souhaite. Un exciteur à balourd et un exciteur à déplacement sont disponibles, au choix, pour l'excitation ponctuelle du pied du ressort.

La fréquence d'excitation est ajustée et affichée sur un appareil de commande. Un amortisseur hydraulique à huile permet d'obtenir des vibrations amorties avec un degré d'amortissement ajustable. Un traceur à tambour mécanique offre la possibilité d'enregistrer les vibrations. Avec le système d'acquisition de données TM 155.20 disponible en option, les valeurs de mesure peuvent être affichées et évaluées sur un PC. Un kit de travaux pratiques sur les vibrations de torsion (TM 150.02) est disponible comme accessoire.



1 excitateur à balourd, 2 poutre rigide comme oscillateur discret, 3 amortisseur, 4 appareil de commande pour excitateur à balourd, 5 traceur à tambour pour l'enregistrement des vibrations, 6 ressort de suspension et de vibration

#### Spécification

- [1] principes de base de la technique des vibrations mécaniques, vibrations libres amorties et vibrations forcées
- [2] poutre oscillante
- [3] 3 ressorts hélicoïdaux
- [4] exciteur à balourd avec moteur CC
- [5] exciteur à déplacement avec moteur CC
- [6] appareil de commande électronique avec affichage numérique, fréquence d'excitation ajustable
- [7] amortisseur rempli d'huile
- [8] traceur à tambour électrique
- [9] mesureur d'amplitude avec contact électrique pour l'activation d'appareils
- [10] système de rangement pour les pièces

#### Caractéristiques techniques

Poutre oscillante: LxLxh: 700x25x12mm, 1,6kg

Ressorts hélicoïdaux

- 0,75N/mm
- 1,5N/mm
- 3,0N/mm

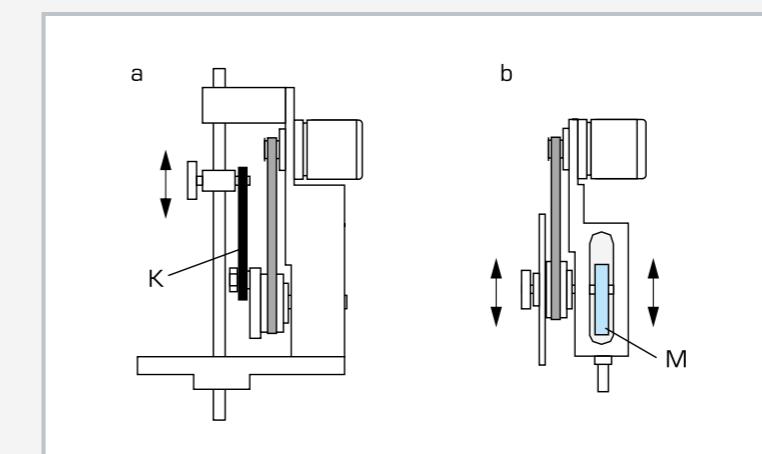
Fréquence d'excitation: 0...50Hz, à régulation électrique

Balourd de l'exciteur à balourd: 0...1000mmg

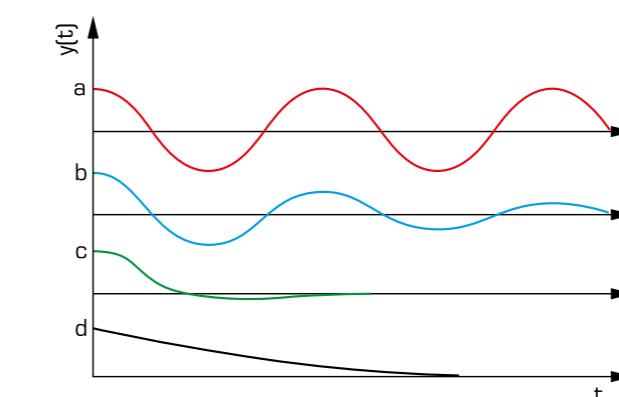
Course de l'exciteur de déplacement: 20mm  
Constante de l'amortisseur: 5...15Ns/m, rempli d'huile

Traceur à tambour mécanique

- avancée: 20mm/s
- largeur de la bande de papier: 100mm



a) exciteur à déplacement avec barre de couplage rigide K, b) exciteur à balourd avec disque de masse d'inertie monté de manière excentrique M



Formes de vibration avec différents amortissements D: a) pas d'amortissement, D = 0, vibration permanente, b) vibration faible, 0 < D < 1, c) D=1, cas limite apériodique, d) fort amortissement, D > 1, flage; y elongation, t temps

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

LxLxh: 1000x420x900mm

Ouverture du bâti l'h: 870x650mm

Poids: env. 52kg

Système de rangement:

LxLxh: 1170x480x237mm

Poids: env. 12kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 poutre oscillante
- 3 ressorts hélicoïdaux
- 1 exciteur à balourd
- 1 exciteur à déplacement
- 1 appareil de commande pour excitateur à balourd
- 1 amortisseur
- 1 mesureur d'amplitude
- 1 traceur à tambour
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

## TM 150.02

### Vibrations de torsion libres et amorties



#### Description

##### ■ influence de la masse, de la rigidité en torsion et de l'amortissement sur le comportement d'un oscillateur de torsion

Les vibrations de torsion jouent un rôle important dans les systèmes d'entraînement. Des fréquences propres mal réglées peuvent produire des phénomènes de résonance, qui peuvent à leur tour provoquer des dommages importants.

Le TM 150.02 permet de générer des vibrations de torsion libres, et d'étudier l'influence de la rigidité en torsion, de la masse et de l'amortissement sur la fréquence et l'amplitude. Le jeu d'accessoires est destiné au montage des systèmes didactiques sur les vibrations TM 150 ou TM 155.

#### Contenu didactique/essais

- fréquence propre d'un oscillateur de torsion
- influence de la rigidité en torsion, de la masse et de l'amortissement

#### Spécification

- [1] essai sur les vibrations de torsion, qui vient en complément des systèmes didactiques sur les vibrations TM 150 et TM 155
- [2] 3 barres de torsion avec différents diamètres, longueur active au choix
- [3] 3 disques de masse différents avec mandrins
- [4] 3 paliers avec roulements à billes et mandrins
- [5] amortisseur à huile pour vibrations amorties
- [6] dispositif d'écriture pour l'enregistrement des vibrations dans TM 150/TM 155

#### Caractéristiques techniques

Barres de torsion, acier inox  
 ■ diamètres: 3mm, 5mm, 6mm  
 ■ longueur: 800mm

Disques de masse  
 ■ petit: Ø=150mm avec env. 2,7kg  
 ■ grand: Ø=228mm avec env. 4,8kg

Mandrins: Ø=0,5...8,0mm

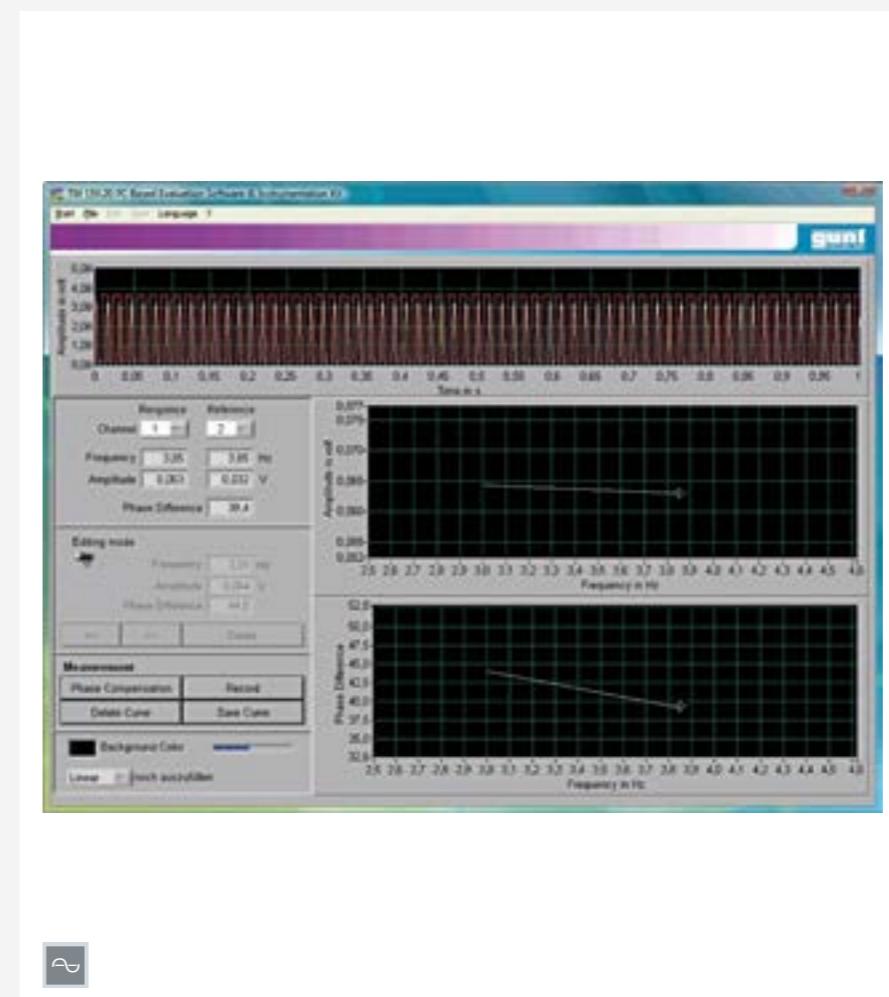
LxLxH: 480x240x1180mm (monté)  
 Poids: env. 33kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 documentation didactique

## TM 155.20

### Système d'acquisition de données



#### Description

##### ■ mesure et représentation de courbe déphasage-fréquence ■ oscilloscope à mémoire numérique

Ce système d'acquisition de données complète le système didactique sur les vibrations TM 155, et permet d'évaluer les signaux vibratoires sur un PC. Ce système permet de générer, enregistrer et éditer facilement des courbes de fréquence et de phase.

Le système offre en outre toutes les fonctions importantes d'un oscilloscope à mémoire numérique, et peut calculer les spectres de fréquence des signaux.

En plus du logiciel, d'un capteur de déplacement et d'un capteur de référence, un boîtier d'interface est compris dans la liste de livraison.

Ce dernier alimente jusqu'à trois capteurs, prépare leurs signaux de mesure pour le PC et les affiche sur trois sorties analogiques. Toutes les pièces de montage sont à portée de main, et bien protégées dans un système de rangement.

#### Contenu didactique/essais

- essais supportés sur le système TM 155
  - ▶ vibration propre d'une poutre oscillante
  - ▶ vibration amortie d'une poutre oscillante
  - ▶ vibration forcée d'une poutre oscillante (résonance amortie et non amortie)
  - ▶ mesures de la fréquence et des périodes

#### Spécification

- [1] interprétation des données pour TM 155
- [2] mesure, enregistrement et interprétation de courbe de fréquence et de fonction de transfert
- [3] fonctionnement pareil à celui d'un oscilloscope à mémoire numérique
- [4] 3 entrées de capteurs, 3 sorties analogiques
- [5] 1 capteur de déplacement inductif (amplitude), 2 capteurs de référence (force d'excitation)
- [6] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

#### Caractéristiques techniques

Canaux d'entrée de capteur: 3  
 Entrées mode opératoire de l'oscilloscope: 2

Base de temps: 10...750ms/DIV  
 Plage de saisie: 2000 valeurs mesurées  
 Capteur de déplacement

■ plage de mesure: 5...10mm  
 ■ gamme des fréquences: 0...50Hz

230V, 50Hz, 1 phase  
 230V, 60Hz, 1 phase  
 120V, 60Hz, 1 phase; UL/CSA en option  
 LxLxH: 260x110x260mm (boîtier d'interface); Poids: env. 7kg  
 LxLxH: 600x400x170mm (système de rangement)

#### Nécessaire pr le fonctionnement

PC avec Windows

#### Liste de livraison

CD avec logiciel GUNT + câble USB,  
 1 boîtier d'interface, 1 capteur de déplacement, 2 capteurs de référence, 1 jeu de câbles, 1 système de rangement, 1 notice

## TM 140

### Vibrations de torsion libres et forcées



#### Description

- étude de la rigidité en torsion et des vibrations de torsion
- comportement des oscillateurs de torsion avec deux à trois masses

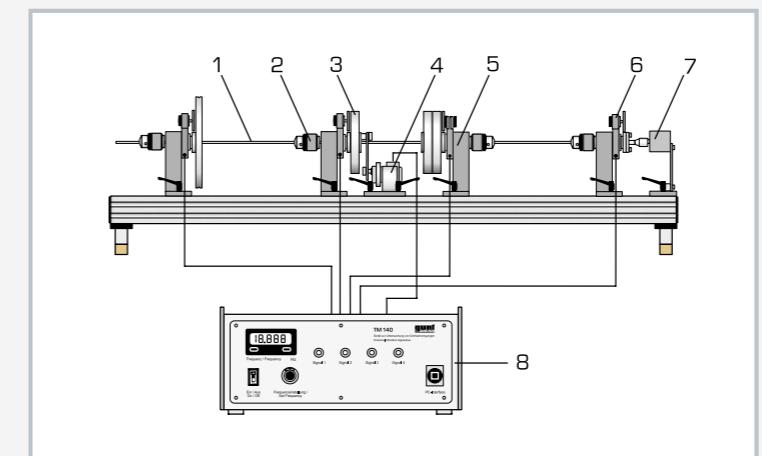
Des vibrations de torsion sont souvent observées dans les systèmes d' entraînement. En cas d'excitation suffisante des résonances, des amplitudes de vibration importantes peuvent apparaître, qui peuvent entraîner de fortes sollicitations des arbres et des engrenages, et peuvent même les endommager.

Le TM 140 permet de générer des vibrations de torsion libres et forcées, et d'étudier l'influence de la rigidité en torsion, de la masse et de l'amortissement sur la fréquence et l'amplitude.

L'élément central de l'appareil d'essai est une barre de torsion en métal. Des mandrins de serrage permettent de fixer sur la barre des disques de masse ayant des inerties de torsion différentes. On construit ainsi un système à vibrations de torsion avec trois masses maximum. La rigidité en torsion peut être ajustée en variant la longueur active de la barre.

#### Contenu didactique/essais

- détermination de la rigidité en torsion d'une barre de torsion
- détermination de moments d'inertie de masse
- évolution des vibrations de torsion dans le temps
- détermination de l'amortissement sur les vibrations de torsion
- vibrations de torsion forcées, résonance
- systèmes à vibrations de torsion à plusieurs masses
  - ▶ oscillateur de torsion à deux masses
  - ▶ oscillateur de torsion à trois masses



1 barre de torsion, 2 mandrin, 3 disque de masse, 4 unité d'excitation, 5 unité de palier, 6 capteur d'angle de rotation, 7 unité d'amortissement, 8 appareil d'affichage et de commande

#### Spécification

- [1] appareil d'essai pour l'étude des vibrations de torsion et de la rigidité en torsion
- [2] 3 disques de masse
- [3] 4 unités de paliers à roulement sur billes avec mandrins
- [4] amortisseur à huile fermé
- [5] unité d'excitation avec manivelle d'entraînement, amplitudes d'excitation 1,4°, 1,8°, 2,4°
- [6] 4 capteurs d'angle de rotation, 0,03V/°
- [7] appareil de commande d'excitation électrique pour l'ajustage et l'affichage de la fréquence d'excitation et l'alimentation du capteur de vibration de torsion
- [8] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8, 1, 10

#### Caractéristiques techniques

##### Barre de torsion

- 1300mm
- Ø=6mm
- acier inox

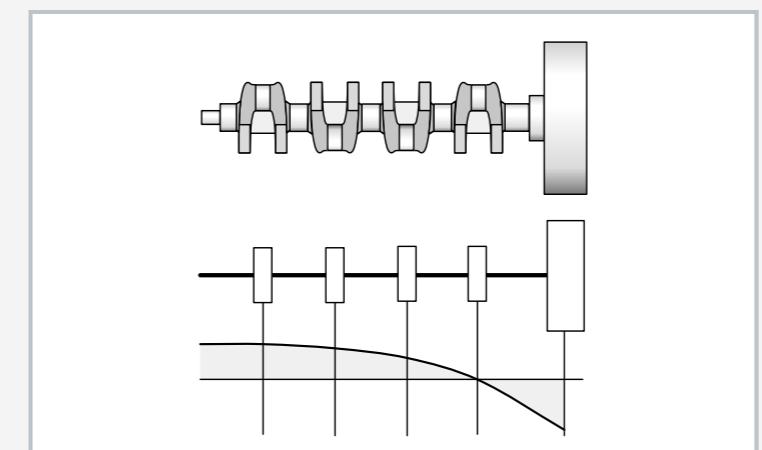
Rigidité: env. 1,0Nm/rad/m

##### Disques de masse

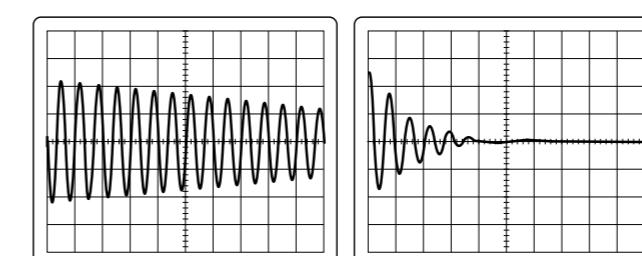
- Ø=150mm, env. 2,7kg
- Ø=228mm, env. 4,8kg

Fréquence d'excitation: 1...20Hz

Coefficient d'amortissement: 0,25...3,5Nm/rad/s



Vilebrequin comme exemple d'oscillateur de torsion



Exemple d'oscillogramme: à gauche - vibration de torsion d'une barre de torsion avec disque de masse, faiblement amortie; à droite - la même vibration avec fort amortissement

230V, 50Hz, 1 phase  
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase  
UL/CSA en option  
LxLxh: 1400x410x400mm  
Poids: env. 50kg

#### Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows recommandé

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 4 unités de palier
- 1 barre de torsion
- 3 disques de masse
- 1 excitateur
- 1 amortisseur tournant
- 1 appareil de commande
- 1 jeu de câbles
- 1 tournevis hexagonal de 4
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

## HM 159.11

### Vibrations propres sur modèle de bateau



#### Description

- comportement dynamique d'une structure de bateau
- la forme simple du bateau facilite le traitement mathématique
- différents signaux d'excitation possibles
- points d'excitation et de mesure au choix

L'analyse expérimentale des vibrations fait aujourd'hui partie intégrante de la construction et du développement dans l'industrie navale.

Le HM 159.11 permet d'effectuer les premiers pas dans le domaine de l'analyse expérimentale des vibrations, et de l'analyse modale des structures. Ce banc d'essai permet d'étudier le comportement dynamique d'une structure de bateau, et d'enseigner de manière générale les principes de base de l'analyse expérimentale des vibrations.

Avec le HM 159.11, on peut mesurer et enregistrer les fréquences propres et modes propres d'un modèle de bateau. La forme simple et stylisée du bateau facilite le traitement par calculs du problème.

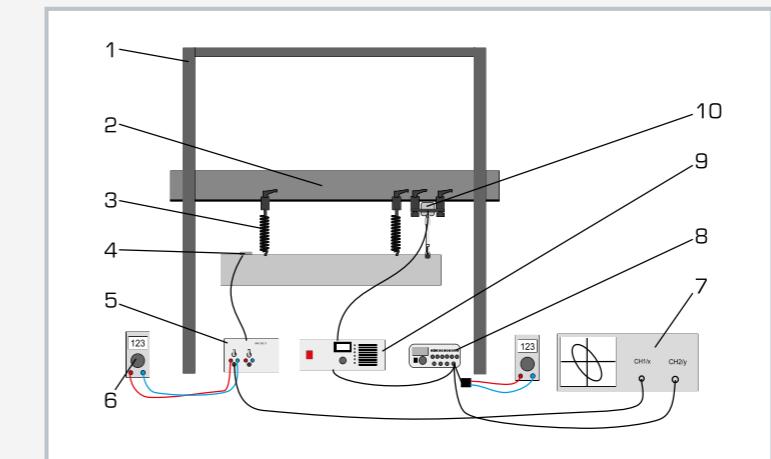
#### Contenu didactique/essais

- mesure et enregistrement des fréquences propres et des modes propres du modèle de bateau (dans l'air)
- comportement de vibration du modèle de bateau dans l'air
- comparaison de la théorie (formule d'approximation pour la détermination de la 1<sup>re</sup> fréquence propre en flexion) et de la pratique (fréquence propre mesurée)
- influence des masses supplémentaires discrètes ou du ballast sur la fréquence propre et le mode propre (ballast et masses supplémentaires non comprises dans la liste de livraison)
- comportement de vibration du modèle de bateau sur l'eau (possible avec un réservoir supplémentaire)

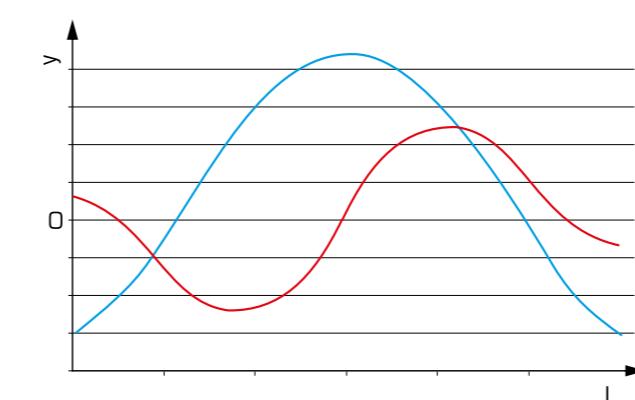
Le modèle de bateau en plastique est pourvu de neuf gouttières de pont, et a un plan horizontal de flottaison elliptique. Le modèle est fixé à une traverse rigide au moyen de ressorts. Grâce au caisson fermé de grande rigidité, la traverse possède une fréquence propre élevée qui ne perturbe pas les mesures.

Un générateur de vibrations électrodynamique produit des vibrations sur le modèle de bateau. Un générateur de fonctions produit le signal d'excitation qui est ajustable en amplitude et en fréquence. Un capteur d'accélération fixé à la position souhaitée mesure la réponse du modèle au signal d'excitation. Ce qui permet de générer pas à pas les fonctions de transmission pour différents points du modèle de bateau. On déduit ensuite de ces dernières les modes propres de vibration pour les différentes fréquences propres.

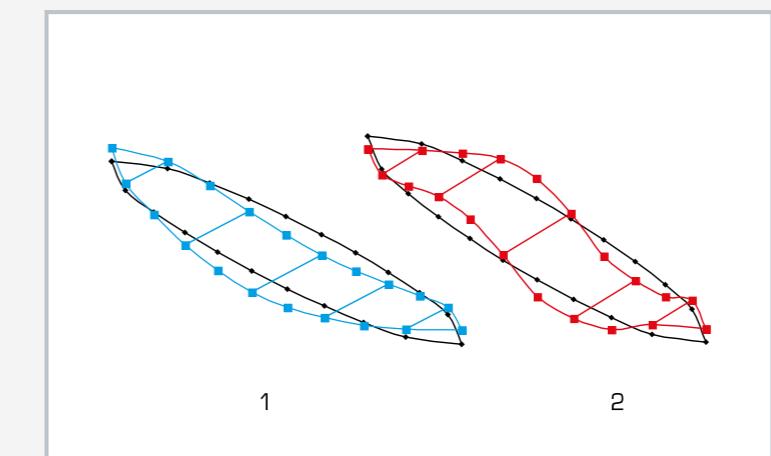
On peut également effectuer des essais dans de l'eau. On a besoin pour cela d'un réservoir supplémentaire (non compris dans la liste de livraison). Des essais complémentaires sont également possibles avec un ballast supplémentaire et des masses supplémentaires.



1 bâti, 2 traverse réglable en hauteur, 3 ressorts de suspension du modèle de bateau, 4 capteur d'accélération, 5 amplificateur de mesure, 6 multimètre, 7 oscilloscope (non compris dans la liste de livraison), 8 générateur de fonctions, 9 amplificateur de puissance pour générateur de vibrations, 10 générateur de vibrations



Élongation y de la vibration, représentée sur la longueur L du modèle de bateau en bleu: fréquence propre du 1<sup>er</sup> ordre, en rouge: fréquence propre du 2<sup>e</sup> ordre



1 en bleu: fréquence propre du 1<sup>er</sup> ordre, 2 en rouge: fréquence propre du 2<sup>e</sup> ordre

#### Spécification

- [1] comportement de vibration d'un modèle de bateau dans l'air et dans l'eau (avec réservoir supplémentaire)
- [2] modèle de bateau fixé à des ressorts, génération de vibrations et mesure de l'accélération aux points souhaités
- [3] bâti avec traverse réglable en hauteur pour la fixation du modèle
- [4] fréquence propre élevée de la traverse grâce au caisson élevé de grande rigidité et de faible poids
- [5] modèle de bateau en plastique avec un plan horizontal de flottaison elliptique et 9 gouttières de pont
- [6] capteur d'accélération capacitif avec amplificateur de mesure, positionnement au choix
- [7] générateur de vibrations avec amplificateur de puissance adapté et générateur de fonctions: signal sinusoïdal, triangulaire ou rectangulaire
- [8] représentation possible des valeurs de mesure sur un oscilloscope (non compris dans la liste de livraison)

#### Caractéristiques techniques

##### Générateur de vibrations

- de type électrodynamique avec aimant permanent
- force max.: 8,9N
- plage de fréquence: 5...12000Hz

##### Générateur de fonctions

- fréquence, amplitude et décalage ajustables
- sortie: 0...10Vss, 50 Ohm

##### Capteur d'accélération

- plage de mesure: ±5g
- plage de fréquence: 0...400Hz

##### Modèle de bateau

- gouttières de pont pourvues de trous de fixation pour le capteur de valeurs de mesure et suspension

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

LxLxh: 1800x400x1700mm (bâti)

LxLxh: 1200x200x150mm (modèle de bateau)

Poids: env. 50kg

#### Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 modèle de bateau
- 4 ressorts
- 1 amplificateur de mesure
- 1 amplificateur de puissance
- 1 générateur de vibrations
- 1 générateur de fonctions
- 2 multimètres
- 1 capteur d'accélération
- 1 jeu de câbles
- 1 documentation didactique

## TM 620 Rotors flexibles



### Description

- étude des flexions alternées sur des rotors
- détermination des vitesses de rotation critiques
- position du palier du rotor et masse rotative ajustables

La vitesse de rotation critique et la résonance sont des phénomènes qui jouent un rôle important dans de nombreuses machines et installations. Sur les arbres rotatifs et les rotors en particulier, à certaines vitesses de rotation, apparaissent des états de résonance ayant des amplitudes de vibration trop élevées, et qui sont susceptibles d'endommager ou même de détruire la machine. Pour éviter ce problème, le système fonctionne à une vitesse nettement supérieure ou inférieure à la vitesse de rotation critique, et la plage de vitesse de rotation critique est rapidement franchie. C'est pourquoi il est important de connaître les vitesses de rotation critiques et les formes de vibration, pour la construction et l'exploitation de machines comportant des rotors flexibles.

L'appareil d'essai TM 620 permet de démontrer de manière explicite les phénomènes de résonance, d'auto-centrage et de forme de vibration. Le montage sous forme de modèle du rotor d'essai, composé d'un arbre élastique mince et de disques de masse rigides, permet de bien comprendre la théorie liée aux phénomènes de vibration.

L'influence des différents paramètres peut être étudiée en variant librement la disposition des paliers et des disques. On peut également démontrer la limitation des amplitudes en cas de traversée rapide des résonances.

Un moteur triphasé entraîne un arbre de rotor sur lequel sont fixées une ou deux masses à des distances variables. L'arbre de rotor est monté dans deux roulements à billes à rotule, et relié au moteur par un accouplement flexible. La vitesse de rotation à régulation électrique est préconfigurable et ajustable en continu au moyen de deux potentiomètres. Elle est indiquée sur un affichage numérique.

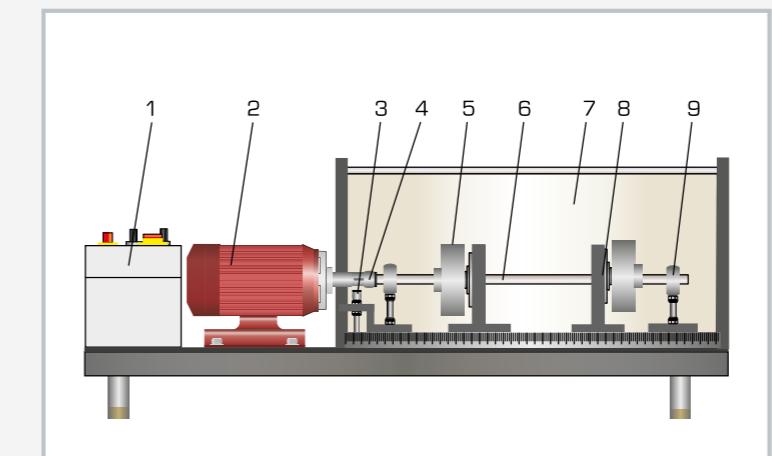
Une échelle installée parallèlement à l'arbre de rotor permet de lire la position des éléments fixés sur l'arbre de rotor et les distances qui les séparent.

Un capot de protection transparent, ainsi que des paliers d'arrêt se trouvant juste à côté des masses fixées sur l'arbre de rotor, assurent la sécurité de fonctionnement.

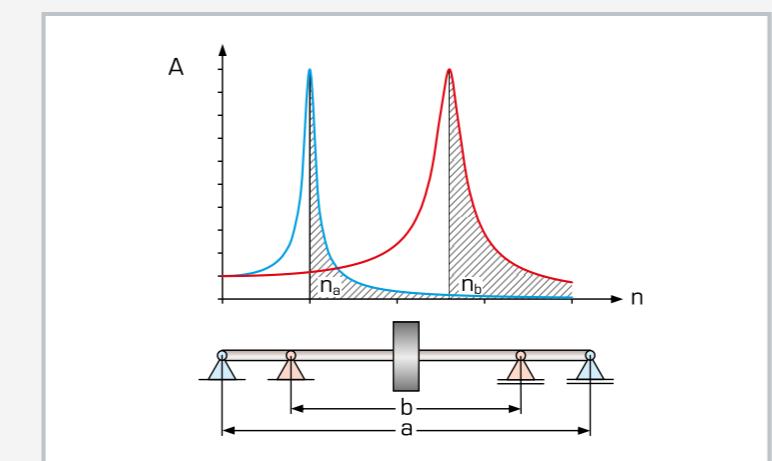
Avec le système d'acquisition de données TM 620.20 disponible en option, les valeurs de mesure peuvent être affichées et évaluées sur un PC.

### Contenu didactique/essais

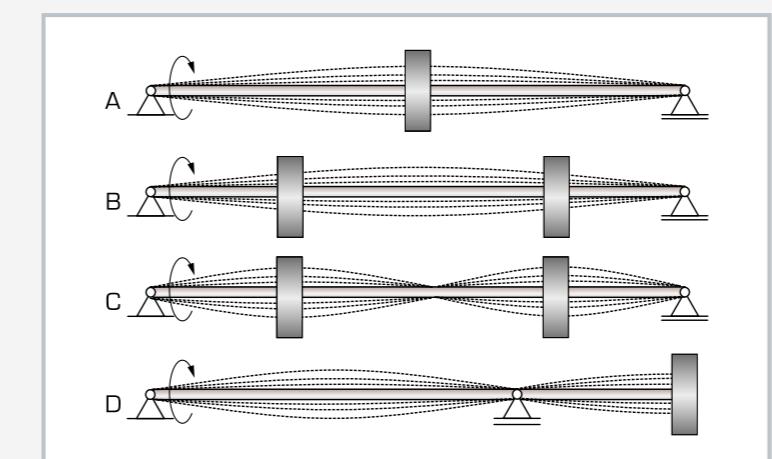
- étude des flexions alternées et de la résonance sur un arbre rotatif
- détermination des vitesses de rotation critiques pour différentes dispositions des paliers et des masses sur l'arbre de rotor, et comparaison avec la théorie
- étude de l'auto-centrage de l'arbre de rotor



1 armoire de commande, 2 moteur, 3 capteur de vitesse de rotation inductif, 4 accouplement flexible, 5 disque de masse, 6 arbre de rotor, 7 capot de protection, 8 palier d'arrêt, 9 roulement à billes à rotule



Lorsque l'on réduit la distance du palier, la vitesse de rotation critique augmente; A amplitude, n vitesse de rotation;  $n_a$  vitesse de rotation critique à la distance de palier a,  $n_b$  vitesse de rotation critique à la distance de palier b, zone hachurée: vitesse de rotation surcritique



Different arrangements for studying critical speed: A disk of mass in central position, B two disks of mass at first critical speed position, C two disks of mass at second critical speed position, D disk of mass on bearing stop

### Spécification

- [1] étude des flexions alternées et de la résonance des rotors
- [2] 2 roulements à billes à rotule pour le logement de l'arbre de rotor, positionnables à l'endroit souhaité
- [3] 2 masses à fixer à la position souhaitée
- [4] paliers d'arrêt et capot de protection transparent pour un fonctionnement sécurisé
- [5] moteur triphasé: 2 plages de vitesse de rotation pré-sélectionnables et commutables, vitesse de rotation réglable électriquement et ajustable en continu
- [6] affichage numérique de la vitesse de rotation
- [7] système d'acquisition de données (TM 620.20) disponible en option

### Caractéristiques techniques

Moteur triphasé

- puissance: 0,25kW
- vitesse de rotation max.:  $3000\text{min}^{-1}$

#### Arbre de rotor

- $L=500\text{mm}$
- $\varnothing=6\text{mm}$
- acier haute résistance

#### 2x masses, en forme de disques

- $m=965\text{g}$
- $\varnothing=80\text{mm}$
- acier trempé

#### Paliers de l'arbre

- 2x roulements à billes à rotule
- 2x paliers d'arrêt
- jeu des paliers d'arrêt:  $\pm 3\text{mm}$
- distance ajustable des paliers: 300...470mm

#### Plages de mesure

- vitesse de rotation: 300...3000min $^{-1}$
- échelle de mesure d'écart: 0...500mm

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

LxLxH: 1150x390x375mm

Poids: env. 49kg

### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 documentation didactique

# TM 625

## Arbres élastiques



### Description

- étude des modes propres sur différents arbres avec affectation continue de masses, et étude du rotor de Laval
- visibilité optimale et protection grâce au capot de protection transparent

Il est souvent question de vitesses de rotation critiques et de résonance à propos des systèmes rotatifs. La résonance apparaît lorsque la fréquence propre et la fréquence d'excitation coïncident. La fréquence propre d'un système vibrant est la fréquence à laquelle le système peut, après une seule excitation, vibrer avec le mode propre correspondant. Avec ses amplitudes de vibration élevées, le fonctionnement à vitesse critique peut endommager le système. Pour étudier plus en détail le phénomène des vibrations d'arbres, deux modèles de calcul simplifiés sont disponibles: dans le premier cas, la masse de l'arbre élastique est distribuée de manière homogène sur sa longueur, et dans le second cas l'arbre est composé de parties d'arbre élastiques sans masse et les masses sont réunies en disques de masse discrets.

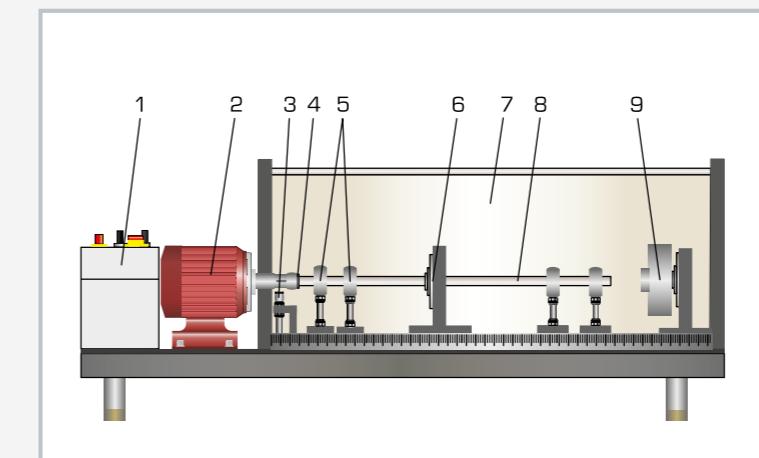
L'appareil d'essai TM 625 permet d'étudier les modes propres de ces différents modèles. Les essais, très explicites, aident à bien comprendre et approfondir le phénomène de résonance et les états surcritiques et sous-critiques d'un système oscillant. On dispose de six arbres dont les longueurs et diamètres sont différents. Quatre roulements à rotule sur billes peuvent être articulés sur l'arbre, et ce dernier peut être affecté d'une masse pour former un rotor de Laval. Les positions axiales sont lues sur une échelle installée parallèlement à l'arbre. Un moteur triphasé entraîne l'arbre par le biais d'un accouplement flexible. La vitesse de rotation à régulation électrique est préconfigurable et ajustable en continu au moyen de deux potentiomètres. Elle est affichée numériquement.

Un capot de protection transparent, ainsi que des paliers d'arrêt, assurent un fonctionnement sécurisé.

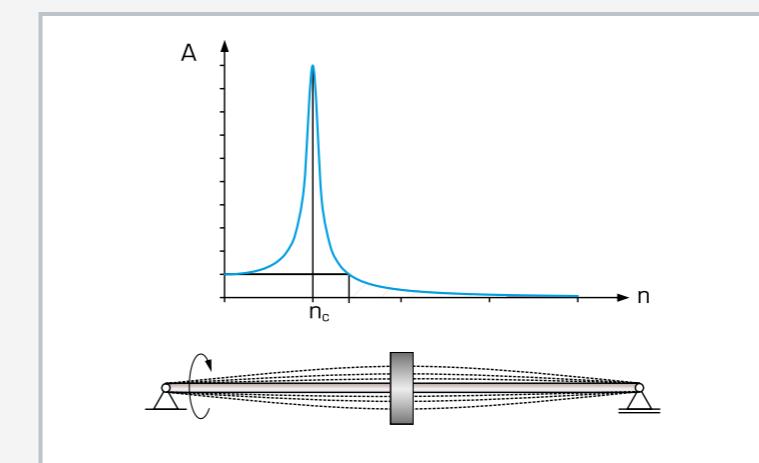
Avec le système d'acquisition de données TM 620.20 disponible en option, les valeurs de mesure peuvent être affichées et évaluées sur un PC.

### Contenu didactique/essais

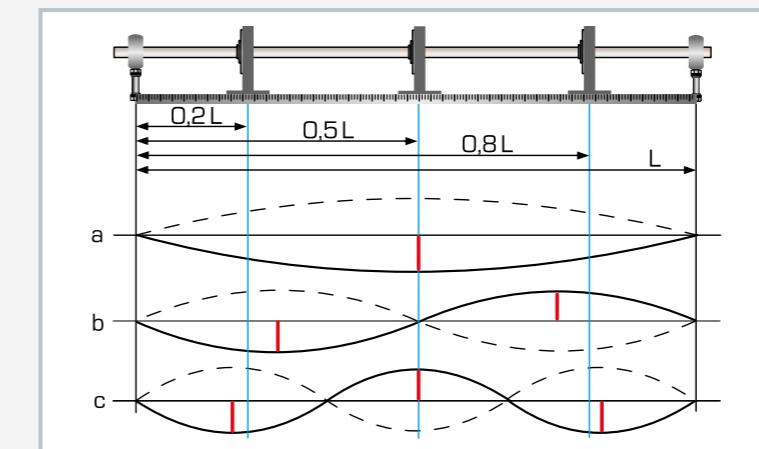
- étude d'un rotor de Laval
  - ▶ vitesse de rotation critique
  - ▶ auto-centrage
- modes propres sur un arbre avec affectation de masses continues avec
  - ▶ différentes distances entre les paliers
  - ▶ différents diamètres de l'arbre
  - ▶ différentes longueurs de l'arbre



1 armoire de commande, 2 moteur, 3 capteur de vitesse de rotation inductif, 4 accouplement élastique, 5 roulement à rotule sur billes, 6 palier d'arrêt, 7 capot de protection, 8 arbre, 9 disque de masse



Comportement de vibration d'un rotor de Laval: n vitesse de rotation, A amplitude,  $n_c$  vitesse de rotation critique avec résonance, zone hachurée: vitesse de rotation surcritique, zone hachurée en rouge: vitesse de rotation surcritique avec auto-centrage



Modes propres d'un arbre avec affectation continue de masses: a) 1<sup>er</sup> mode propre, b) 2<sup>er</sup> mode propre, c) 3<sup>er</sup> mode propre; en rouge: amplitude de la vibration, en bleu: positionnement des paliers d'arrêt; L distance des paliers de l'arbre

### Spécification

- [1] appareil d'essai servant à la détermination de vitesses de rotation critiques et à l'étude des modes propres d'un arbre
- [2] 6 arbres en acier haute résistance
- [3] jusqu'à 4 roulements à rotule sur billes pouvant être positionnés à l'endroit voulu pour logement de l'arbre
- [4] 1 masse servant à la construction d'un rotor de Laval
- [5] 3 paliers d'arrêt et capot transparent pour un fonctionnement sûr
- [6] moteur triphasé: 2 plages de vitesse de rotation présélectionnables et commutables, vitesse de rotation régulée électriquement et ajustable en continu
- [7] affichage numérique de la vitesse de rotation
- [8] système d'acquisition de données TM 620.20 disponible en option

### Caractéristiques techniques

- 6 arbres de rotor
- Ø: 3mm, 6mm, 7mm
- L: 600mm, 900mm
- acier haute résistance

#### Masse, en forme de disques

- Ø: 80mm
- m: 965g
- acier haute résistance

#### Moteur

- puissance: 0,25kW
- vitesse de rotation max.:  $6000\text{min}^{-1}$
- vitesse de rotation régulée électriquement

#### Palier de l'arbre

- 4x roulements à rotule sur billes
- 3x paliers d'arrêt

#### Plages de mesure

- vitesse de rotation:  $0\ldots6000\text{min}^{-1}$
- échelle de mesure des distances:  $0\ldots1000\text{mm}$

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

LxLxh: 1550x380x450mm

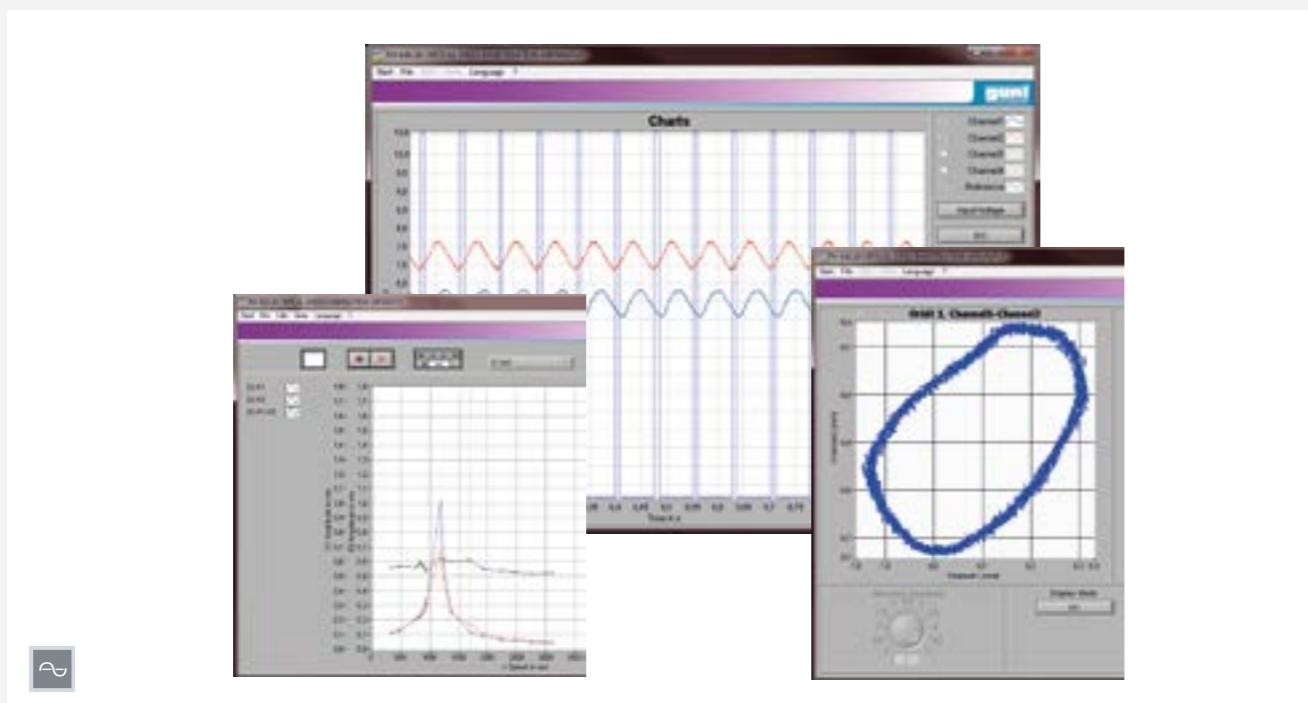
Poids: env. 65kg

### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 6 arbres
- 1 jeu d'outils
- 1 documentation didactique

## TM 620.20

### Système d'acquisition de données



#### Description

- mesure et représentation des vibrations des arbres en fonction de la vitesse de rotation
- représentation d'un oscilloscope numérique
- adapté à tous les essais des appareils d'essai TM 620 et TM 625

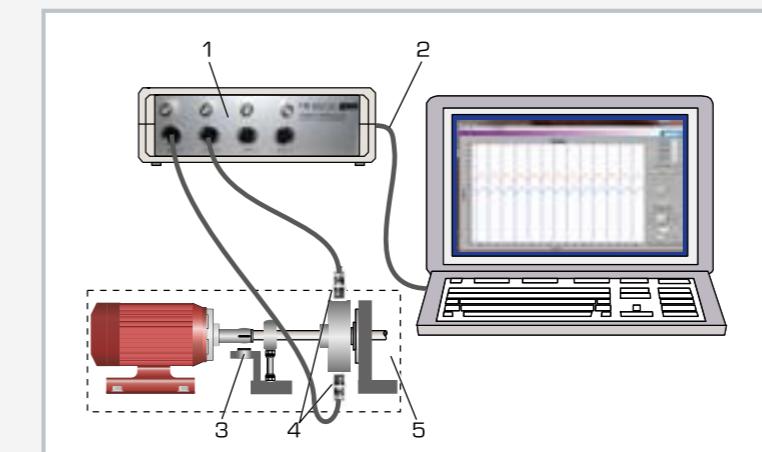
Le système d'acquisition de données TM 620.20, utilisé comme accessoire avec les appareils d'essai TM 620 et TM 625, permet l'enregistrement et l'évaluation des vibrations. Ce système est constitué de deux capteurs de déplacement inductifs, d'un amplificateur de mesure, ainsi que d'un logiciel de traitement et de représentation des valeurs de mesure.

Les deux capteurs de déplacement mesurent sans contact la déviation des disques de masse rotatifs sur l'arbre élastique du TM 620 ou du TM 625. Les deux capteurs de déplacement peuvent varier dans leur position à l'autre.

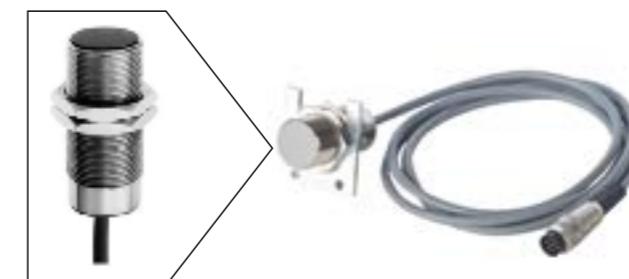
#### Contenu didactique/essais

- en combinaison avec l'appareil d'essai TM 620 ou TM 625, il est possible de couvrir les contenus didactiques suivants:
  - ▶ étude et représentation de l'amplitude de vibration d'un arbre rotatif
  - ▶ enregistrement de l'évolution de la courbe des signaux dans le temps
  - ▶ étude de la dépendance de l'amplitude à la vitesse de rotation et au lieu
  - ▶ représentation de l'orbite

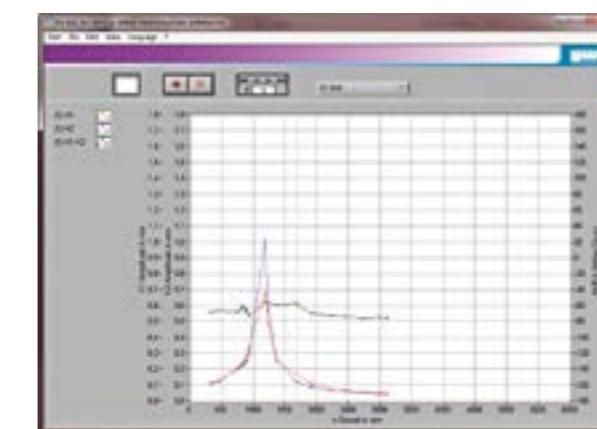
L'alimentation électrique des capteurs de déplacement est assurée par l'amplificateur de mesure. Tous les raccordements de câbles nécessaires sont fournis. Les essais sont expliqués dans la documentation didactique de TM 620 et TM 625.



1 amplificateur de mesure et convertisseur A/N, 2 sortie USB vers le PC, 3 capteur de vitesse de rotation, 4 capteurs de déplacement inductifs, 5 appareil d'essai TM 620



Technologie de capteurs: capteurs de déplacement inductifs



Capture d'écran du logiciel: représentation de l'amplitude en fonction de la vitesse de rotation

#### Spécification

- [1] acquisition de données et évaluation des vibrations des arbres pour le TM 620 et le TM 625
- [2] 2 capteurs de déplacement inductifs sans contact
- [3] amplificateur de mesure et convertisseur A/N pour le traitement du signal
- [4] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

#### Caractéristiques techniques

- 2 capteurs de déplacement
- principe de mesure: inductif, sans contact
- signal de sortie: analogique 1...9V
- distance de mesure: 5...10mm
- vitesse de mesure: 1,5mm/ms

#### Amplificateur de mesure

- 4 canaux d'entrée
- 4 canaux de sortie analogiques via BNC
- convertisseur A/N
- signal de sortie par USB

230V, 50Hz, 1 phase  
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase  
UL/CSA en option  
LxLxH: 230x200x80mm  
Poids: env. 2kg

#### Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

#### Liste de livraison

- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 2 capteurs de déplacement
- 1 amplificateur de mesure
- 1 jeu de câbles
- 1 notice

## TM 170

### Appareil d'équilibrage



#### Description

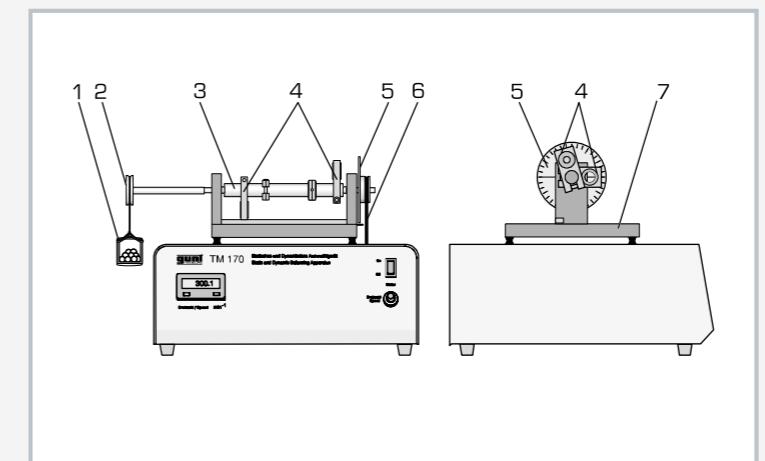
- **représentation des étapes fondamentales de la procédure d'équilibrage**
- **balourd statique et balourd dynamique**

Sur les machines rotatives, les balourds sont souvent à l'origine de vibrations et bruits gênants. Lors d'un balourd, l'axe principal d'inertie ou le centre de gravité de la pièce rotative de la machine est en dehors de son axe de rotation. L'ajout ou le retrait de masses permet de déplacer le centre de gravité, ou l'axe principal d'inertie, de manière à ce que les deux axes correspondent avec l'axe de rotation. Ce procédé est appelé équilibrage. La pièce de la machine est alors équilibrée et fonctionne sans vibration.

À l'aide de l'appareil d'essai TM 170, on peut démontrer de manière explicite le balourd et le procédé d'équilibrage. La différence entre un balourd statique et un balourd dynamique peut être montrée. Les balourds peuvent être déterminés et équilibrés par le biais de mesures adéquates.

#### Contenu didactique/essais

- démonstration des vibrations dues au balourd à des vitesses de rotation différentes
- comparaison d'un balourd statique, dynamique ou général
- détermination d'un balourd
- réalisation d'une procédure d'équilibrage



1 poids variable, 2 poulie de courroies, 3 arbre, 4 masses de balourd, 5 échelle d'angle, 6 courroie d' entraînement, 7 fondation pour palier élastique

#### Spécification

- [1] démonstration de balourd statiques et dynamiques
- [2] détermination des balourds
- [3] étapes de la procédure d'équilibrage
- [4] capot de protection transparent pour un fonctionnement sécurisé
- [5] fondation avec palier élastique
- [6] échelle intégrée de mesure des angles et des longueurs
- [7] affichage numérique de la vitesse de rotation

#### Caractéristiques techniques

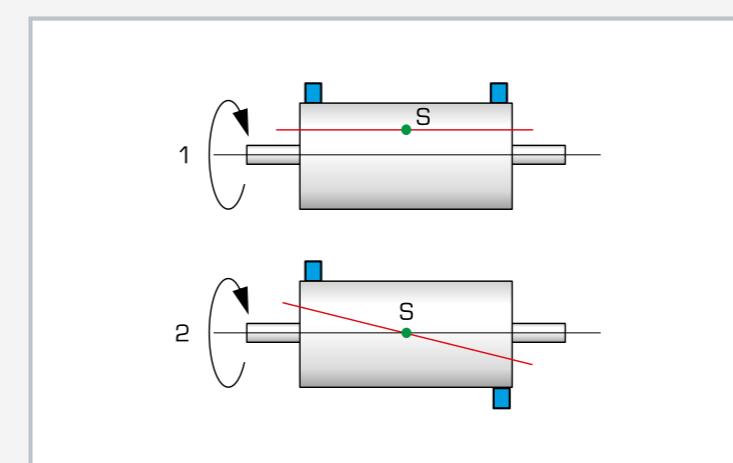
Nombre de masses de balourd: 4  
Balourd total maximum: 880cmg

Plages de mesure  
■ vitesse de rotation: 0...1400min<sup>-1</sup>

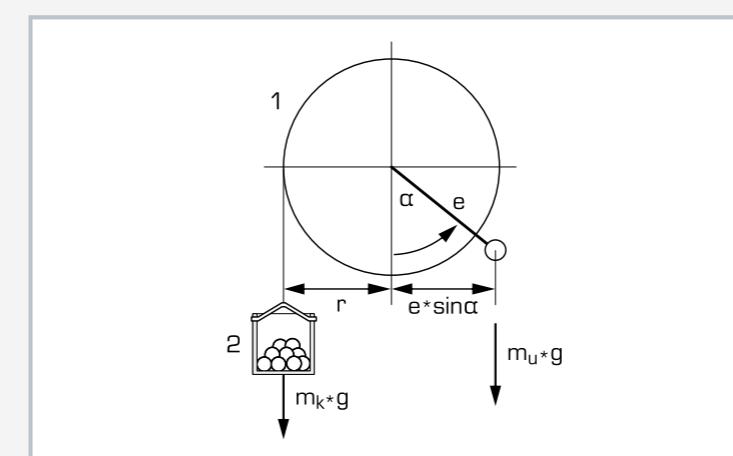
230V, 50Hz, 1 phase  
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase  
UL/CSA en option  
LxLxH: 420x400x380mm  
Poids: env. 26kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu d'outils
- 1 jeu de poids
- 1 documentation didactique



1 balourd statique, 2 balourd dynamique; S centre de gravité; en bleu: distribution de la masse, en rouge: axe principal d'inertie



Détermination des balourds: 1 poulie de courroies, 2 poids variable, r rayon, e excentricité,  $\alpha$  angle de la déviation,  $m_u$  masse de balourd,  $g$  accélération de la pesanteur,  $m_k$  masse du poids variable

## PT 502

### Équilibrage sur site



L'illustration montre le PT 502 sans capot de protection.

#### Description

- mesure des vibrations dues au balourd
- équilibrage sur un et deux plans

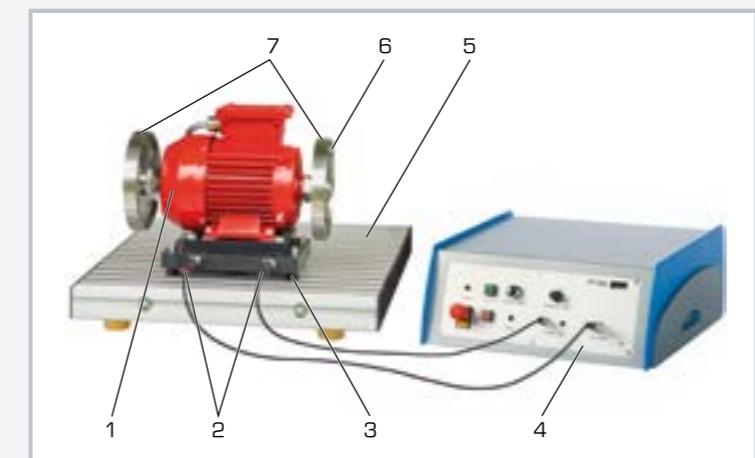
Sur les machines rotatives telles que les turbines ou les pompes, les vibrations dues au balourd limitent le confort et peuvent même entraîner des dommages dus à une sollicitation excessive. Le balourd d'une pièce rotative d'une machine peut provoquer des vibrations néfastes dans toute la machine. Un exemple courant est celui des pneus de voiture non équilibrés. Cela provoque des vibrations gênantes et désagréables de la direction. C'est la raison pour laquelle la quasi-totalité des pièces rotatives sont soumises à un équilibrage. Lorsque cet équilibrage n'a pas lieu dans une machine spécifique, mais directement sur place sur la machine en fonctionnement, on parle d'équilibrage sur site. L'équilibrage sur site s'effectue en quatre étapes. Dans un premier temps, on mesure les vibrations avec le balourd d'origine. Puis dans un deuxième temps, on rajoute des balourds test connus, et on mesure à nouveau. La troisième étape consiste à calculer et installer l'équilibrage à partir des deux mesures. Dans un quatrième temps, on vérifie le bon équilibrage en effectuant une marche d'essai.

#### Contenu didactique/essais

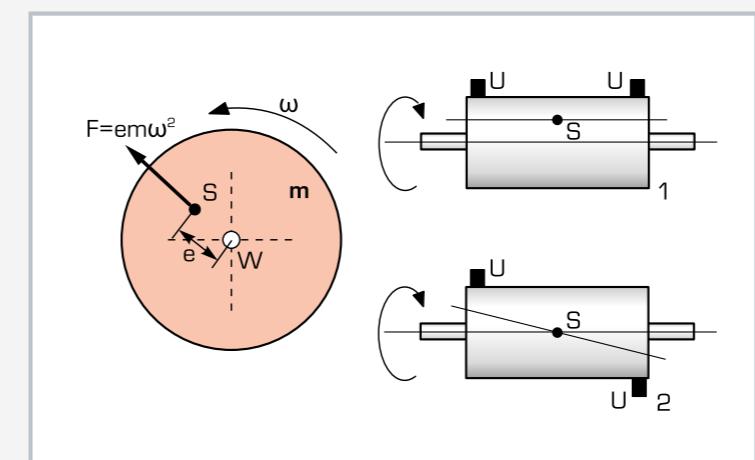
- mesure et évaluation des vibrations au niveau de la machine
- apparition de vibrations dues au balourd
- balourd statique, dynamique ou général
- influence de la position et de la taille du balourd sur la vibration due au balourd
- principes de base de l'équilibrage
- équilibrage sur site sur un plan
- équilibrage sur site sur deux plans
- évaluation de la qualité de l'équilibrage
- utilisation d'un appareil d'analyse des vibrations assisté par ordinateur

Le PT 502 est constitué pour l'essentiel de deux masses d'inertie entraînées par un moteur électrique. Des balourds définis peuvent être installés sur les masses d'inertie. Deux capteurs d'accélération positionnés au pied du moteur mesurent les vibrations dues au balourd. La vitesse de rotation est mesurée par un capteur optique. Le moteur est monté sur la plaque de base, sur des éléments en caoutchouc, qui amortissent les vibrations. L'entraînement est assuré avec une vitesse de rotation variable, par l'intermédiaire d'un convertisseur de fréquence.

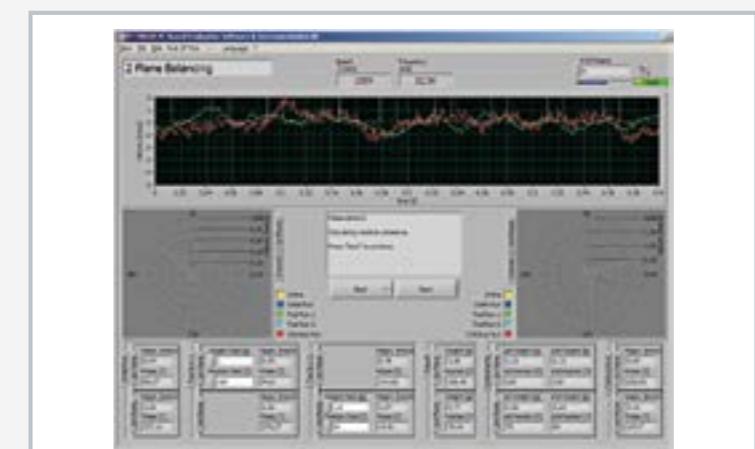
Les valeurs mesurées sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB. Le logiciel d'analyse présente les caractéristiques suivantes: oscilloscope à deux canaux pour études sur la plage de temps, analyseur de spectres à deux canaux pour études sur la plage de fréquence, appareil de mesure de l'intensité des vibrations et module d'équilibrage pour équilibrages sur un et deux plans.



1 moteur, 2 capteur d'accélération, 3 palier élastique, 4 appareil de commande, 5 plaque de base, 6 masse d'équilibrage, 7 masse d'inertie



À gauche: force de balourd  $F$  par excentricité  $e$  du centre de gravité  $S$ ; 1 balourd statique avec centre de gravité excentrique, 2 balourd dynamique avec axe d'inertie incliné;  $m$  masse,  $U$  balourd,  $W$  axe de rotation,  $\omega$  vitesse angulaire



Équilibrage sur deux plans à l'aide du logiciel GUNT d'analyse des vibrations

#### Spécification

- [1] équilibrage sur site dans un ou deux plans
- [2] 2 masses d'inertie avec trous de fixation pour les masses de balourd et d'équilibrage et graduation angulaire
- [3] masses de balourd et d'équilibrage de différentes tailles
- [4] entraînement avec vitesse de rotation variable par l'intermédiaire d'un convertisseur de fréquence
- [5] montage élastique du moteur d'entraînement
- [6] isolation vibratoire de la plaque de base grâce aux pieds en caoutchouc
- [7] appareil de commande avec amplificateur de mesure intégré
- [8] instruments: capteur de vitesse optique, 2 capteurs d'accélération pour la mesure des vibrations
- [9] fonctions logicielles: oscilloscope à 2 canaux, analyseur FFT à 2 canaux, courbe d'accélération, analyse d'ordre et équilibrage
- [10] logiciel GUNT d'analyse des vibrations sous Windows 7, 8.1, 10

#### Caractéristiques techniques

##### Masses d'inertie

- 2x masse: 1,675kg
- rayon pour masse d'équilibrage: 60mm
- graduation angulaire: 15°

##### Moteur d'entraînement

- vitesse de rotation: 100...3000min⁻¹
- puissance: 370W

##### Masses de balourd et d'équilibrage

- 2...10g
- balourd total max.: 2x 42cmg

##### Capteur d'accélération

- plage de fréquence: 1...10000Hz
- sensibilité: 100mV/g

##### Capteur de vitesse optique

- plage de détection: 3...150mm
- laser classe II: 675nm

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

LxLxH: 510x400x330mm (appareil d'essai)

LxLxH: 420x400x180mm (Bediengerät)

Poids: env. 25kg (total)

#### Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 appareil de commande
- 1 jeu d'accessoires
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

## TM 180

### Forces exercées sur les moteurs à piston alternatif



#### Description

- étude des forces et moments d'inertie sur un moteur à piston alternatif
- ajustage en continu de l'angle de calage des manivelles
- simulation de moteurs à un, deux ou quatre cylindres

Tout moteur à piston alternatif produit des forces de masse. Tandis que les forces de masse des masses en rotation peuvent être facilement équilibrées, les forces de masse des masses oscillantes ne peuvent pas être complètement équilibrées. L'utilisation de plusieurs cylindres permet un équilibrage réciproque des forces, mais peut générer des moments d'inertie perturbateurs.

L'appareil d'essai TM 180 permet d'étudier les forces et moments d'inertie en utilisant un moteur à piston alternatif avec un, deux ou quatre cylindres.

Le modèle de moteur dispose de pistons avec des douilles coulissantes en plastique; ces pistons n'ont pas besoin d'être lubrifiés. Pour chaque cylindre, l'angle de calage des manivelles est ajustable en continu, et des marquages à 0°, 90°, 180° et 270° aident à se repérer.

#### Contenu didactique/essais

- effet des forces de masse
  - ▶ dépendance des forces de masse à la vitesse de rotation
  - ▶ dépendance des forces de masse à la masse du piston
  - ▶ forces de masse de 1<sup>er</sup> et de 2<sup>e</sup> ordre
- comparaison entre différents mécanismes bielle-manivelle
  - ▶ quatre cylindres, symétrique, angle de calage des manivelles de 180°
  - ▶ quatre cylindres, asymétrique, angle de calage des manivelles de 90°
  - ▶ deux cylindres, angle de calage des manivelles de 180°
  - ▶ un cylindre

On peut modifier les masses oscillantes en plaçant des poids supplémentaires sur le piston. L'arbre de manivelle à quatre coude est entraîné par un moteur via une courroie dentée. La vitesse de rotation est régulée électroniquement et affichée numériquement. Les forces et moments d'inertie sont enregistrés électroniquement par des capteurs de force au niveau du palier du modèle. L'appareil d'affichage et de commande intègre toutes les fonctions électriques et dispose également d'une interface USB pour l'acquisition des données.

Le logiciel GUNT permet l'analyse détaillée des signaux des forces et des moments.



1 cylindre, 2 piston, 3 angle de calage des manivelles, 4 plaque de fondation, 5 appareil d'affichage et de commande, 6 capteur de force, 7 moteur d'entraînement

#### Spécification

- [1] appareil d'essai pour l'étude de forces oscillantes et en rotation sur un moteur à piston alternatif à 4 cylindres maximum
- [2] simulation de moteurs à un, deux ou quatre cylindres
- [3] moteur d'entraînement à commutation électrique et à régulation de vitesse de rotation avec affichage numérique de la vitesse de rotation
- [4] ajustage en continu de l'angle de calage des manivelles
- [5] mesure des forces et des moments avec des capteurs de force
- [6] isolation des oscillations au moyen d'éléments en caoutchouc et d'une syntonisation basse
- [7] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

#### Caractéristiques techniques

##### Moteur à piston alternatif

- nombre de cylindres: 4
- masse du piston: 40g
- masse supplémentaire: 41g

##### Mécanisme bielle-manivelle

- masse de la bielle: 18g
- distance du milieu du cylindre: 35mm
- rayon de la manivelle: 15mm
- longueur de la bielle: 70mm

##### Plages de mesure

- vitesse de rotation: 100...3000min<sup>-1</sup>
- force: 0...500N

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

LxLxh: 420x370x350mm

Poids: env. 40kg

LxLxh: 230x230x80mm (appareil d'affichage et de commande)

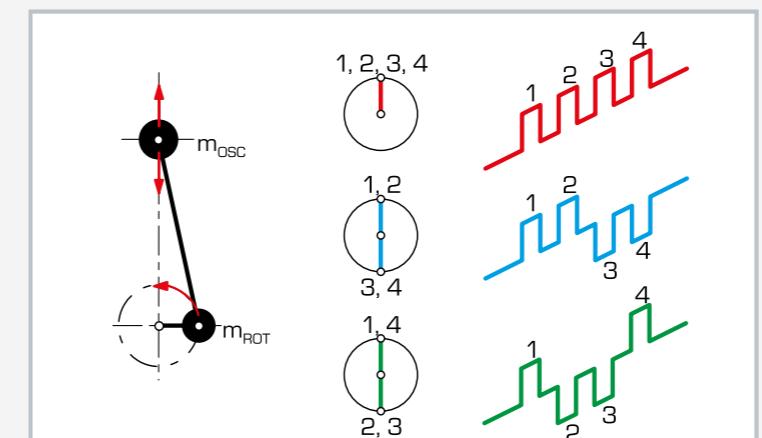
Poids: env. 1kg

#### Nécessaire pour le fonctionnement

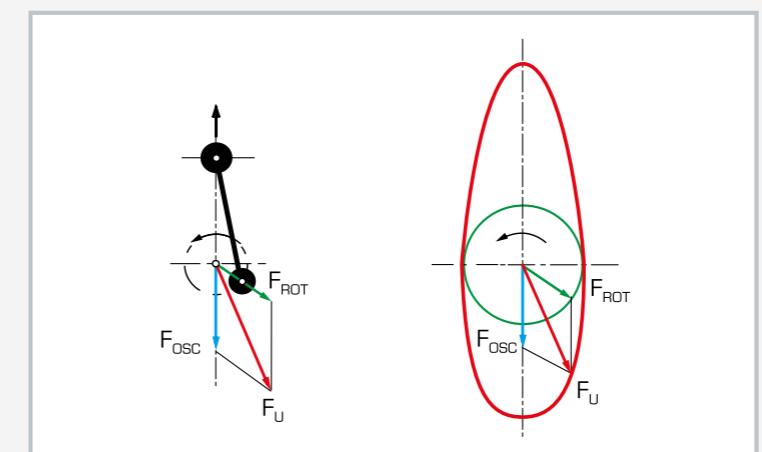
PC avec Windows

#### Liste de livraison

- 1 modèle de moteur
- 1 appareil d'affichage et de commande
- 1 jeu d'accessoires (outillage, masses supplémentaires)
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique



À gauche: définition des masses en rotation ( $m_{ROT}$ ) et des masses oscillantes ( $m_{OSC}$ ) sur le mécanisme bielle-manivelle, à droite: configurations possibles de l'angle de calage des manivelles: en rouge: un cylindre, en bleu: deux cylindres, en vert: quatre cylindres



À gauche: effet des forces de masse oscillantes (en bleu,  $F_{OSC}$ ) et en rotation (en vert,  $F_{ROT}$ ) et leur somme vectorielle par rapport à la force d'inertie (en rouge,  $F_U$ ).

À droite: tracé des forces de masse en fonction de la rotation d'un vilebrequin

## GL 112

### Étude des commandes à came



#### Description

- **enregistrement de courbes de levée de mécanismes à came**
- **quatre corps de came différents, deux éléments suiveurs différents**
- **influence de la rigidité de ressort et de la masse sur le comportement dynamique**

En génie mécanique, les commandes à came jouent un rôle important pour la transformation du mouvement rotatif en mouvement oscillant. Les commandes à came sont le plus souvent utilisées pour l'actionnement des soupapes dans la construction de moteurs. Ce cas d'application est hautement dynamique: les soupapes doivent s'ouvrir et se refermer dans un délai extrêmement court. Le contact entre la soupape et un ergot (corps de came) ne doit jamais être rompu, faute de quoi des vibrations incontrôlées, appelées affolement de soupapes, peuvent se produire et endommager éventuellement le moteur.

L'appareil d'essai GL 112 permet l'étude dynamique d'une commande à came à différentes vitesses de rotation. On compare le comportement de déplacement de quatre corps de came classiques en forme d'ergots avec éléments suiveurs adaptés.

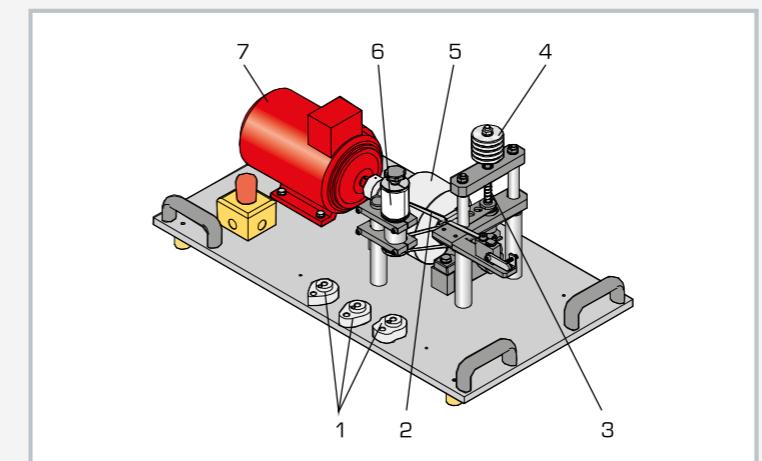
#### Contenu didactique/essais

- courbes de levée pour un élément suiveur non adapté
- courbe de levée pour un élément suiveur sautant
- détermination de la vitesse de rotation limite et comparaison avec la théorie
- influence de la masse en mouvement sur le mouvement du corps de came / poussoir
- influence de la rigidité du ressort de rappel et de la précontrainte sur le mouvement du corps de came / poussoir
- comparaison des courbes de levée de différentes formes de cames
- comparaison des courbes de levée avec la théorie

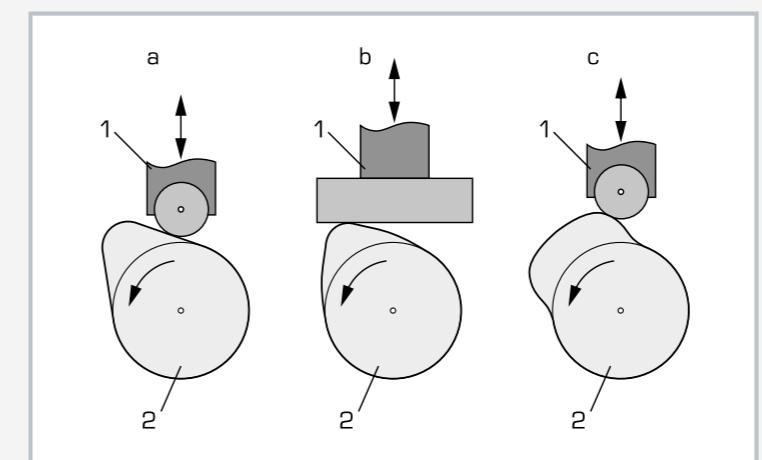
Une masse et un ressort simulent la soupape. En variant la rigidité de ressort, la précontrainte du ressort et la masse oscillante, on peut étudier les limites dynamiques de chacun des corps de came. Le processus de déplacement ainsi que la levée des corps de came peuvent être montrés de manière très claire à l'aide d'un stroboscope (non compris dans la liste de livraison).

Un dispositif d'écriture synchronisé avec le corps de came trace la courbe de levée réelle de la commande à came. Un moteur d' entraînement à régulation de vitesse de rotation ayant une masse d'inertie élevée génère une vitesse de rotation aussi constante que possible. La forme de construction ouverte permet d'observer tous les détails des mouvements. Un capot de protection transparent assure un fonctionnement sécurisé.

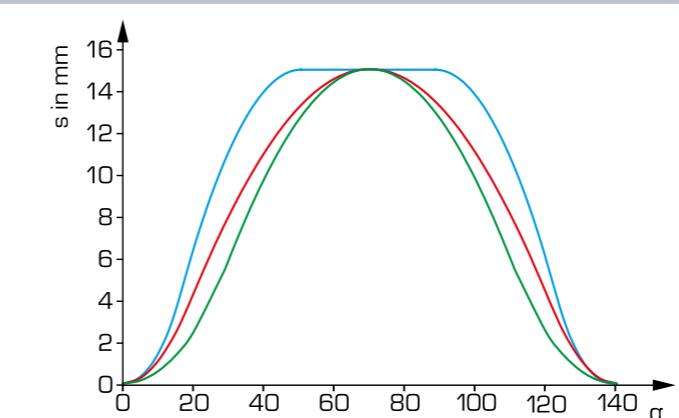
L'appareil d'essai a été conçu à des fins de démonstration pour la formation technique. Il ne convient pas à une utilisation comme banc de test dans le domaine des essais d'endurance/de tribologie.



1 corps de came en forme d'ergots échangeables, 2 plume d'écriture, 3 ressort, 4 disques de masse, 5 masse d'inertie, 6 tambour, 7 moteur d'entraînement



1 élément suiveur (élément rond avec poussoir ou élément plat avec poussoir), 2 corps de came en forme d'ergots; a came tangentielle avec poussoir rond, b came en arc de cercle avec poussoir plat, c came creuse avec poussoir rond



Courbes de levée; s course,  $\alpha$  angle d'ouverture; en bleu: came creuse, en rouge: came en arc de cercle, en vert: came tangentielle

#### Spécification

- [1] étude de commandes à came
- [2] corps de came: came tangentielle, came creuse, 2 cames en arc de cercle avec rayon de tête différent
- [3] 2 éléments suiveurs différents: élément plat avec poussoir ou élément rond avec poussoir
- [4] 3 ressorts de rappel échangeables et précontrainte du ressort
- [5] moteur d' entraînement à vitesse de rotation variable
- [6] la masse oscillante peut être augmentée avec 5 poids supplémentaires
- [7] traceur à tambour mécanique avec plume d'écriture et papier couché
- [8] capteur de vitesse optique
- [9] capot de protection transparent pour un fonctionnement sécurisé

#### Caractéristiques techniques

- Moteur d' entraînement
- moteur asynchrone triphasé avec convertisseur de fréquence
  - puissance: 250W
  - vitesse de rotation: 60...670min<sup>-1</sup>
- Corps de came en forme d'ergots
- course respective: 15mm
  - angle d'ouverture respectif: 140°
- Rigidité de ressort
- dure: 5,026N/m
  - moyenne: 2,601N/m
  - souple: 613N/m
- Masses
- poids supplémentaire: 200g
  - poussoir: 530g
  - élément plat: 93g
  - élément rond: 20g
- Traceur: transmission à courroie dentée

230V, 50Hz, 1 phase  
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option  
Lxlxh: 800x440x440mm (système de rangement)  
Lxlxh: 360x320x160mm (appareil d'affichage et de commande)

Poids: env. 68kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 appareil d'affichage et de commande
- 4 corps de came en forme d'ergots
- 2 éléments suiveurs
- 3 ressorts de rappel
- 3 blocs de papier
- 1 jeu d'outils
- 1 documentation didactique

## TM 182

### Vibrations sur les fondations de machines



#### Description

##### ■ génération de vibrations par des balourds

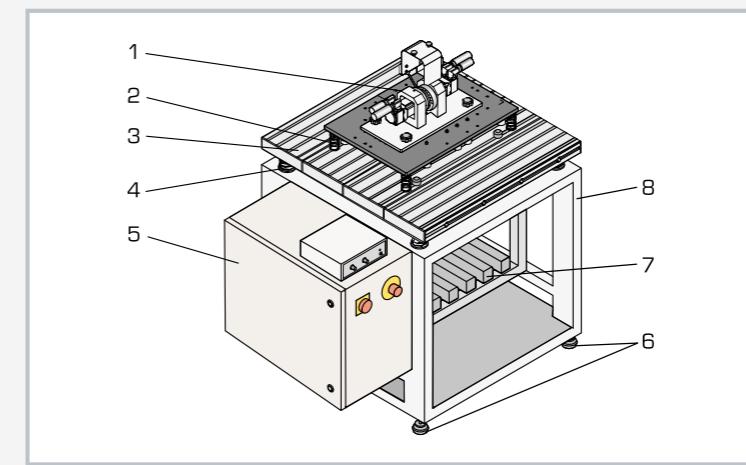
En construction mécanique, la réduction des vibrations est essentielle. Ainsi par exemple, une installation avec isolation vibratoire élastique de la machine permet d'empêcher la transmission de vibrations gênantes pour l'environnement.

Avec le TM 182, on étudie les problèmes liés aux fondations et à l'isolation vibratoire à travers un exemple pratique. À cet effet, des vibrations sont produites de manière ciblée sur une machine installée sur ressorts, puis l'on mesure leur transmission sur la fondation. Divers accords peuvent ensuite être testés avec différents ressorts, et les effets d'absorption étudiés à l'aide d'absorbeurs de vibrations.

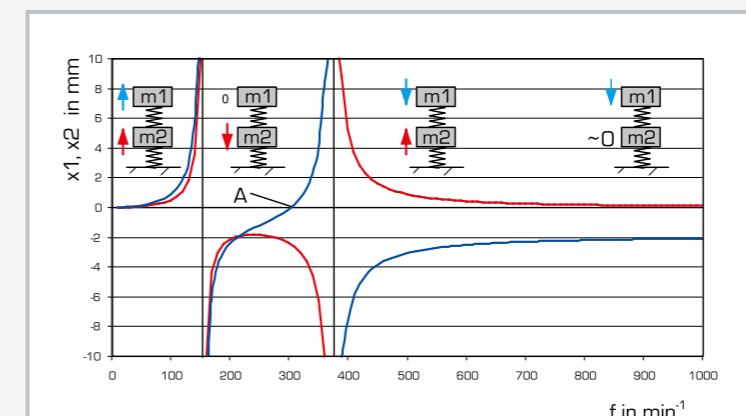
Le montage expérimental est constitué de la machine, de la fondation et du bâti. Un générateur de vibrations fait office de machine; il est composé de deux balourds entraînés séparément. Les balourds sont entraînés par des servomoteurs de manière à générer les forces d'excitation et les directions de forces souhaitées.

#### Contenu didactique/essais

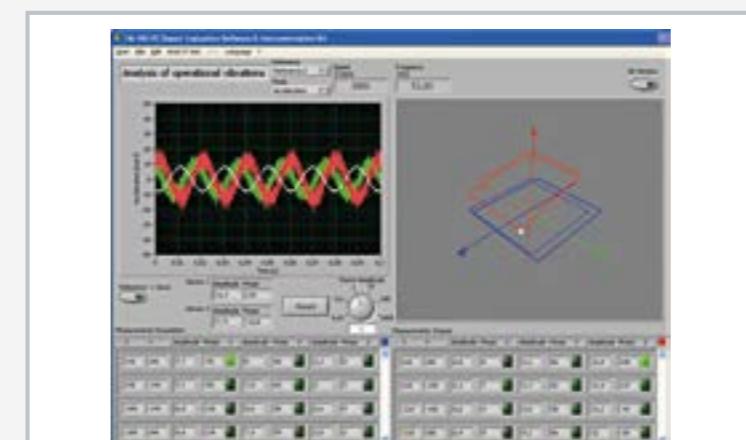
- introduction aux phénomènes vibratoires sur les fondations de machines
- accord de la fondation pour différentes forces excitatrices
- étude de l'absorbeur de vibrations
- étude de l'influence d'un amortissement supplémentaire
- comparaison entre les ressorts en métal et les ressorts en caoutchouc
- mesure et évaluation des vibrations
- détermination des formes de vibration de fonctionnement



1 générateur de vibrations comme machine, 2 ressorts hélicoïdaux, 3 fondation, 4 ressort hélicoïdal, 5 armoire de commande, 6 paliers élastiques, 7 masses supplémentaires pour la fondation, 8 bâti



Courbe amplitude-fréquence avec excitation à balourd et effet des absorbeurs de vibrations  
m: masse, amplitude bleue x1: masse 1, amplitude rouge x2: masse 2, A: point d'absorption



Capture d'écran du logiciel: mesure et représentation de formes de vibration de fonctionnement

#### Spécification

- [1] représentation et étude de vibrations sur les fondations de machines
- [2] le générateur de vibrations génère des vibrations par le biais d'un balourd
- [3] fonctionnement sans vibrations dans le laboratoire grâce à une isolation supplémentaire de la fondation contre les vibrations
- [4] 2 servomoteurs haute puissance sans balais comme entraînement du générateur de vibrations
- [5] excentricité, fréquence de rotation, direction de rotation, position de phase et rapport de fréquence ajustables
- [6] disposition variable d'absorbeurs de vibrations pour l'absorption des vibrations
- [7] mesure des vibrations avec un capteur d'accélération
- [8] un capteur de déplacement inductif enregistre l'excentricité des masses de balourd
- [9] logiciel GUNT avec fonctions de commande et acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10
- [10] compresseur à piston TM 182.01 comme alternative de générateur de vibrations "réel"

#### Caractéristiques techniques

##### Moteurs d'entraînement

- vitesse de rotation max.: 6000min⁻¹
- couple max.: env. 3,40Nm

##### "Machine" montée sur une plaque

- masse: max. 26kg (y compris poids supplémentaires 4x 2kg)
- balourd max.: 2x 500cmg

- force de balourd max.: 2x 500N (jusqu'à 3000min⁻¹)

##### Fondation

- masse: max. 73kg (y compris poids supplémentaires 5x 9,4kg)
- fréquence propre min.: 2,66Hz

##### Ressorts de compression

- rigidité de ressort C: 2,44N/mm...139,53N/mm
- rigidité transversale Cq: 0,30N/mm...90,0N/mm

##### Plages de mesure

- accélération: 490m/s²

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 230V, 60Hz, 3 phases

UL/CSA en option

LxLxH: 1140x800x1170mm

Poids: env. 311kg

#### Nécessaire pr le fonctionnement

PC avec Windows

#### Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 générateur de vibrations
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

## TM 182.01

### Comresseur à piston pour TM 182



#### Description

- un compresseur à piston comme "machine réelle" produit les vibrations pour le banc d'essai TM 182

Un compresseur à piston est typique une machine sur laquelle les balourds et les masses oscillantes génèrent des vibrations. La réduction des vibrations obtenues par un équilibrage de la "machine" est insuffisante. Une fondation à isolation antivibratile permet dans ce cas d'éviter la transmission des vibrations indésirables à l'environnement.

Le compresseur à piston TM 182.01 sert de modèle de "machine réelle" pour le banc d'essai TM 182. Le compresseur à piston est utilisé uniquement comme "machine" produisant des vibrations sur la fondation. La fonction de production d'air comprimé n'est pas utilisée.

Le TM 182.01 est disponible comme unité complète et se compose d'un compresseur monocylindre à moteur intégré. Le compresseur à piston est équipé d'un variateur de fréquence qui permet de générer des vibrations à différentes fréquences.

#### Contenu didactique/essais

- en combinaison avec le banc d'essai TM 182
  - ▶ production de vibrations avec une "machine réelle" sur des fondations de machines

#### Spécification

- [1] compresseur à piston monocylindre refroidi par air à monter dans le banc d'essai TM 182
- [2] compresseur à piston comme générateur de vibrations
- [3] simulation des vibrations d'une machine par un générateur de vibrations
- [4] vitesse de rotation ajustable via un variateur de fréquence

#### Caractéristiques techniques

Compresseur à piston monocylindre refroidi par air avec variateur de fréquence

- masse: 16kg
- vitesse de rotation: 500...1800min<sup>-1</sup>

230V, 50Hz, 1 phase  
230V, 60Hz, 1 phase  
120V, 60Hz, 1 phase  
UL/CSA en option  
LxLxH: 420x300x300mm  
Poids: env. 22kg

#### Liste de livraison

- 1 compresseur à piston avec variateur de fréquence
- 1 notice



# Une installation et une mise en service

## Sans faille vous sont garanties par l'expertise des collaborateurs de GUNT

Assurez-vous qu'un personnel compétent se charge de la mise en service de vos nouveaux équipements.

Nos collaborateurs mettent volontiers leurs expertise à votre service.

La mise en service des équipements inclut les prestations suivantes:

- montage des équipements dans le laboratoire
- raccord aux systèmes d'alimentation du laboratoire
- mise en service des appareils
- marche d'essai des appareils

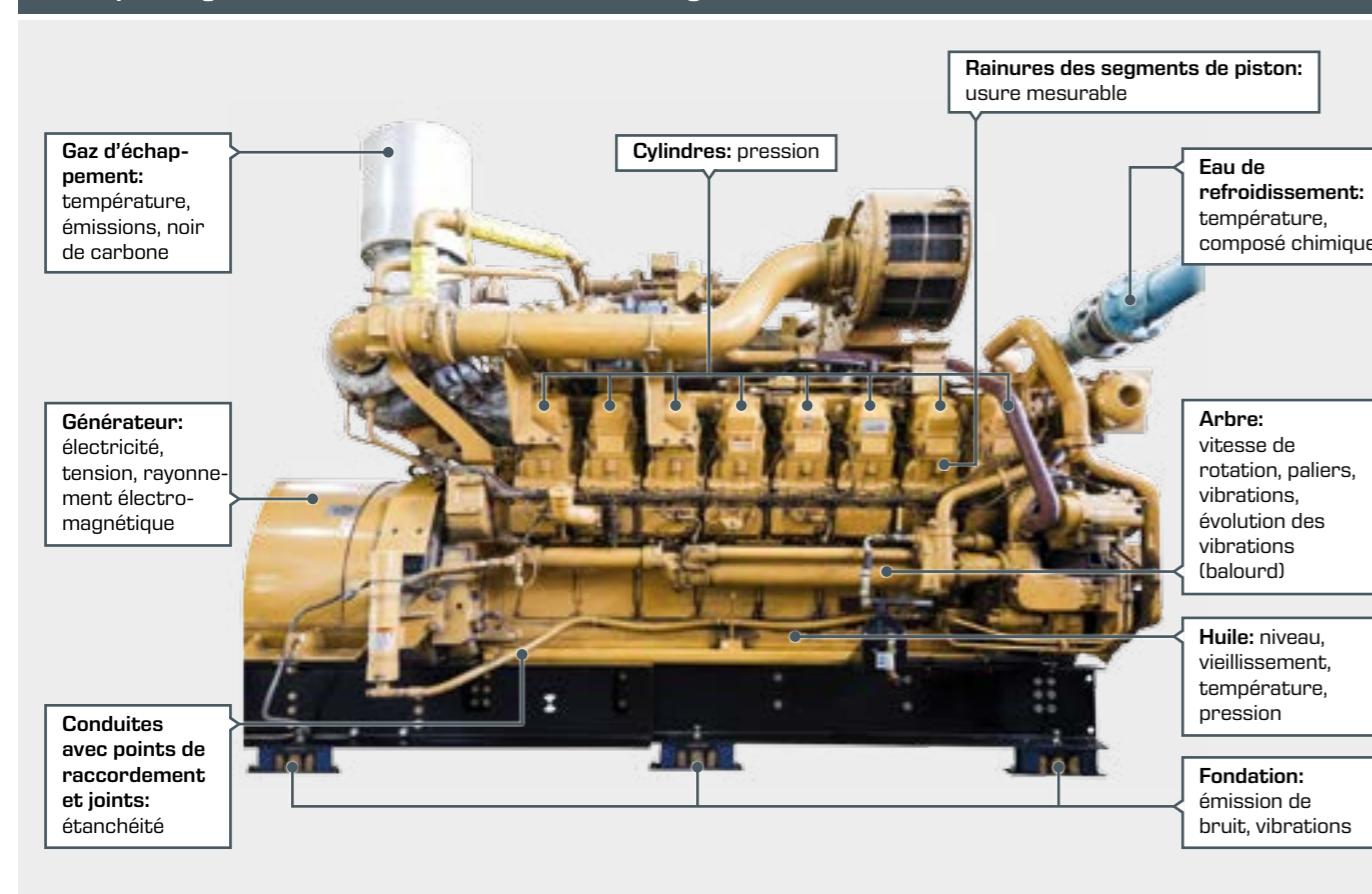
# Diagnostic de machines

L'objectif du diagnostic de machine, également appelé surveillance de l'état des machines ou en anglais CMS (Condition Monitoring System), consiste à réaliser une maintenance ou une remise en état adaptée aux besoins, afin de minimiser les temps de réparation et d'arrêt d'une machine. Les dommages doivent

être détectés dès leur apparition. Cela permet d'augmenter le taux de rendement global (OEE Overall Equipment Effectiveness), qui est indicateur de création de valeur d'une installation, et d'optimiser la structure des coûts.

## Qu'est-ce qui caractérise l'état d'une machine?

Exemple de grandeurs d'état mesurables sur un générateur diesel:



## Le diagnostic de machine sert à

- analyser les points faibles, pour optimiser un processus ou identifier en amont les évolutions défavorables prévisibles
- effectuer une maintenance en phase avec l'état de la machine; il s'agit par exemple de remplacer les pneus d'une voiture lorsque leurs profils ont une épaisseur inférieure à la valeur minimum prescrite
- éviter ou minimiser les pannes par le biais d'opérations de maintenance prédefinies; exemple: vidange d'huile à intervalles fixes ou après un kilométrage déterminé des véhicules

## Le diagnostic de machine permet

- d'augmenter et optimiser l'exploitation de la durée de service des installations et des machines
- d'améliorer la sécurité de fonctionnement
- d'augmenter la disponibilité des installations
- d'optimiser les processus opérationnels
- de réduire les dysfonctionnements
- de diminuer les coûts

## Le diagnostic de machine est réalisé sur

- une machine à l'arrêt en effectuant:
  - un démontage et un contrôle visuel
  - une mesure de l'usure
  - des essais de fissuration (radio, ultrasons, courants magnétiques, mesure de la fréquence propre)

- une machine en service en effectuant:
  - une mesure des grandeurs d'état, p.ex. une mesure des vibrations
  - une mesure acoustique
  - un décalage de l'arbre
  - une analyse des produits lubrifiants

## La signification des vibrations dans le diagnostic de machine

On obtient une bonne évaluation de l'état mécanique d'une machine, ou des pièces de la machine, en étudiant le type et l'ampleur des vibrations qu'elle produit. À cet effet, les vibrations sont enregistrées et évaluées au moyen de capteurs et d'instru-

ments de mesure. Pour bien interpréter des signaux de mesure, il est essentiel de bien comprendre les mécanismes d'action et d'avoir une certaine expérience en la matière.

Origines des vibrations	Exemples issus de la pratique pour le dépannage
<b>1. Forces périphériques ou périodiques dues à</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>une compression ou un poinçonnage</li> <li>des blocages ou des erreurs d'alignement</li> </ul>	 Palier élastique avec amortissement des vibrations de la machine, afin de prévenir / minimiser la transmission des vibrations.
<b>2. Forces d'inertie produites par des masses rotatives ou oscillantes</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>mouvements de va-et-vient de pistons</li> <li>balourds rotatifs</li> </ul>	 Les pneus sont équilibrés pour corriger les balourds.
<b>3. Chocs</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>jeu au niveau des zones de contact et surfaces adjacentes variables en cas de transmission de force mécanique</li> <li>perte de contact en cas de transmission de force par adhérence</li> <li>roulement sur des endroits défectueux de la surface</li> </ul>	 Les paliers précontraints permettent d'avoir un guidage des arbres encore plus exact, augmentent la rigidité et minimisent le jeu de palier.   Une bonne lubrification est essentielle pour minimiser l'endommagement des roues dentées, p.ex. dans les engrenages, et pour éviter l'apparition d'endroits défectueux à la surface.
<b>4. Forces dues aux gaz</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>déformation de la construction due à des forces dynamiques elles-mêmes dues aux gaz et à l'excitation de vibrations longitudinales et de flexions alternées</li> <li>rotation irrégulière et excitation de vibrations de torsion</li> </ul>	 Dans le carter de vilebrequin, on voit apparaître des forces qui sont dues à la transmission des forces elles-mêmes dues aux gaz de la tête de cylindre aux paliers des vilebrequins. Les carters de vilebrequin raidis et les vis flexibles évitent les vibrations et la fatigue du matériau.
<b>5. Forces d'écoulement</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>turbulences avec variations de pression sous la forme d'ondes de choc (bourdonnement, bruissement, sifflement) qui excitent des surfaces: le contraire étant le rayonnement sonore</li> <li>forces d'écoulement périodiques avec aubes mobiles</li> </ul>	 Lorsque l'on conçoit des rotors destinés p.ex. à des ventilateurs ou à des compresseurs, il faut tenir compte des vibrations qui peuvent éventuellement apparaître, pour définir le nombre et la forme des aubes mobiles.
<b>6. Forces électromagnétiques</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>champs magnétiques dynamiques ou modifications cycliques de la géométrie (faces polaires)</li> <li>similarité avec l'excitation par les variations de pression (vrombissement du transformateur, vibrations du stator sur un moteur)</li> </ul>	 Moteur asynchrone: en cas de lame d'air asymétrique, les forces magnétiques circulaires excitent des vibrations de rotation et des flexions alternées. En variant la lame d'air entre le stator et le rotor, il est possible de modifier les vibrations mécaniques produites.

# Diagnostic de machines

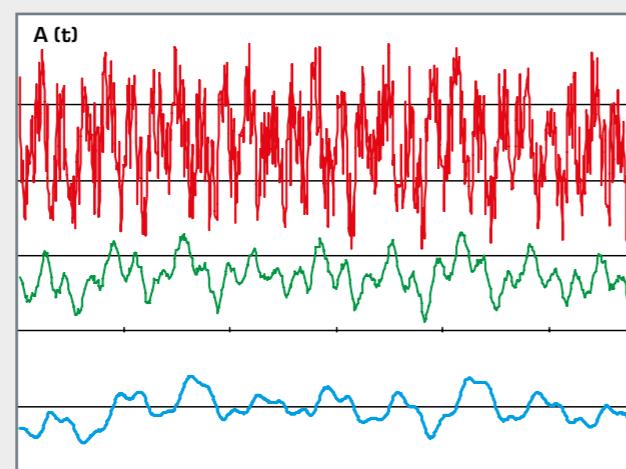
## Méthode du diagnostic de machine

Pour le diagnostic de machine, il faut s'intéresser aux **forces et énergies internes** de la machine. Il est impossible de mesurer ces grandeurs directement, mais l'on peut mesurer leurs effets, c'est-à-dire les **vibrations**. Pour se faire une idée de ces forces, on utilise donc la mesure et l'analyse de ces forces. On peut déduire des mesures des vibrations la manière dont les forces sont structurées, ce qui les a provoquées, ainsi que leur évolution dans le temps. Les signaux de mesure sont le plus souvent des spectres de fréquence qui sont formés par la superposition

de différentes vibrations de fréquences différentes. Certaines de ces vibrations font partie intégrante du fonctionnement normal de la machine, d'autres sont renforcées ou même provoquées par des défauts. L'interprétation des signaux de mesure permet d'évaluer l'état de la machine et d'identifier un défaut éventuel.

Concernant le diagnostic de machine, on distingue la **surveillance des valeurs caractéristiques** et l'**analyse des fréquences**.

Lors de la **surveillance des valeurs caractéristiques**, on compare l'amplitude du signal de vibration mesuré avec une valeur limite. La surveillance des valeurs caractéristiques peut s'effectuer de manière continue et automatique. Elle est facile à mettre en place, et l'utiliser demande peu de connaissances spécialisées. Une valeur caractéristique couramment utilisée est la valeur efficace de la vitesse de vibration sur la plage de fréquence comprise entre 10 et 1000 Hertz. Elle est utilisée dans la DIN ISO 10816-3, qui est applicable à la technique d'entraînement. Pour les groupes standards simples, la surveillance des valeurs caractéristiques suffit pour le diagnostic. Mais pour les installations plus complexes, la fiabilité de cette méthode n'est quelquefois pas suffisante.



Signaux typiques de vibration sur une plage de temps

— Accélération  
— Vitesse  
— Trajectoire

### Contenus didactiques

Vibrations mécaniques	Origines, mécanismes de formation, balourd, rotor de Laval, résonance, amortissement, choc
Technique de mesure des vibrations	Capteur de mesure, amplificateur de mesure, représentation, oscilloscope, mesure de la vitesse de rotation
Analyse des vibrations	Accélération, vitesse des vibrations, trajet des vibrations, valeurs caractéristiques, représentation sur la plage de temps et de fréquence, spectre, FFT (Fast Fourier Transformation), ordres, analyse de suivi, analyse d'enveloppe, orbite, trajectoire
Diagnostic de machine	Vibrations des paliers et des arbres, intensité de vibration admissible, dommage des paliers à roulement, vibrations électromécaniques, vibrations dues au balourd et équilibrage, dommages des engrenages, vibrations sur les entraînements par courroie, cavitation dans les pompes, vibrations des pales, vibrations et chocs dans les mécanismes bielle-manivelle, vibrations dépendantes de la vitesse de rotation

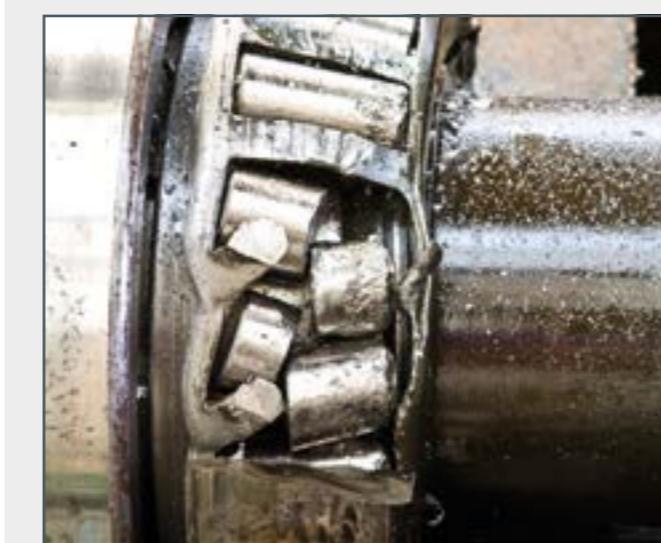
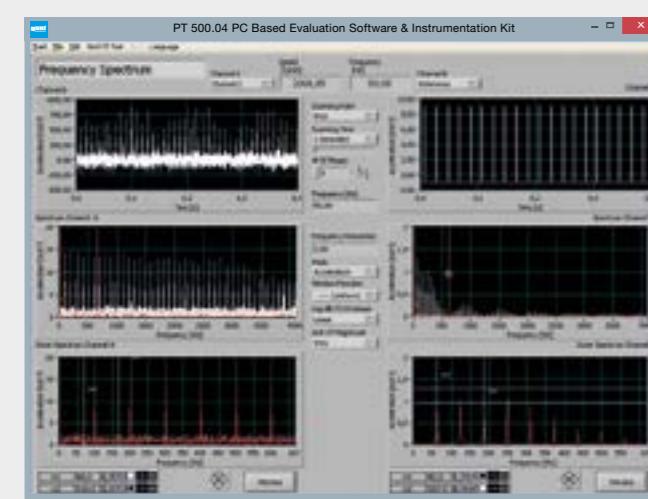
L'enseignement porte par ailleurs sur les aptitudes et expériences pratiques dans la manipulation et le montage des éléments de machine tels que paliers, arbres et accouplements. La construction des machines mécaniques est également étudiée.

Les problématiques posées permettent d'acquérir une expérience précieuse pour la pratique ultérieure dans l'industrie:

- quel capteur de mesure utiliser?
- où attendre un signal de mesure exploitable?
- comment masquer efficacement des signaux perturbateurs?

### Endommagement des éléments d'entraînement, exemple des paliers

L'utilisation de l'**analyse sur la plage de fréquence** est nettement plus complexe, mais aussi plus performante. Cette analyse permet d'identifier le type de dommage, ce qui permet de mettre en place des mesures de réparation ciblées. La réalisation d'une analyse des fréquences requiert une bonne compréhension des mécanismes efficaces ainsi que de l'expérience pour être en mesure d'interpréter les résultats. La méthode d'analyse des fréquences est le plus souvent utilisée en complément de la surveillance des valeurs caractéristiques.



Parmi les signes d'endommagement des éléments d'entraînement, on peut avoir:

- des dépôts sur les surfaces de roulement, p.ex. corrosion de contact de l'orifice d'une bague intérieure
- corrosion due à l'humidité et à l'arrêt du palier
- altération de la surface prenant la forme de piqûres
- dommage sur les paliers en raison de glissements
- fissures ou éclats

Si les premiers signes d'endommagement de la machine sont ignorés, le dommage devient plus important et peut entraîner une rupture.

# Diagnostic de machines

## Résultats d'essai typiques en diagnostic de machine

### 1. Identification de dommages sur les paliers

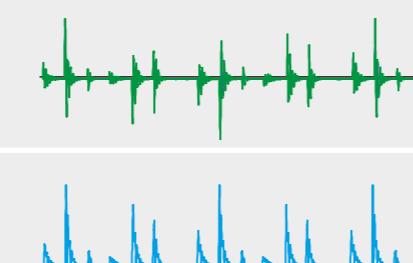
#### Analyse d'enveloppe

L'analyse d'enveloppe est utilisée par exemple pour identifier des dommages sur les paliers à roulement et les engrenages. Les dommages provoquent des chocs ayant des parts de vibrations à très haute fréquence. La basse fréquence de choc à considérer

pour le diagnostic de dommages n'est pratiquement pas, ou même pas du tout, identifiable dans le spectre normal. L'analyse d'enveloppe démodule le signal de choc haute fréquence, et permet ainsi de mesurer la fréquence de choc.

#### Déroulement de l'analyse d'enveloppe

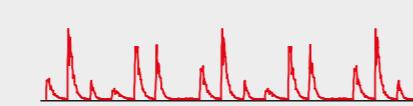
Mesure du signal de choc haute fréquence et du filtrage passe-haut pour atténuer les signaux perturbateurs à basse fréquence (balourd, erreur d'alignement)



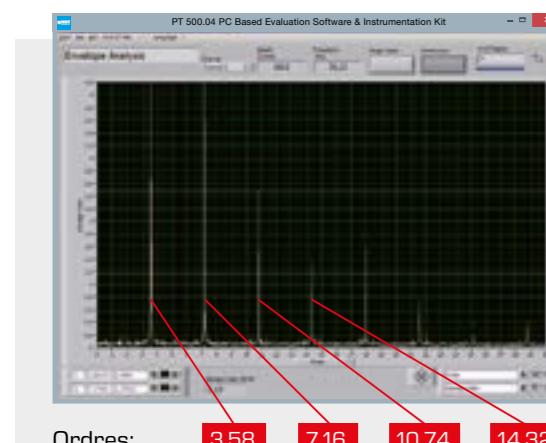
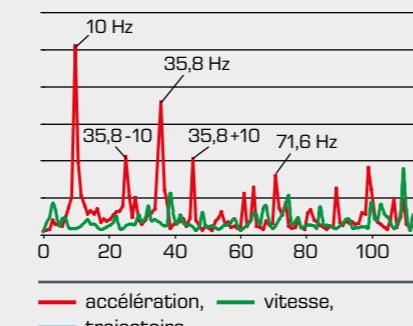
Redressement du signal haute fréquence



Génération de l'enveloppe du signal redressé par filtrage passe-bas



Réalisation d'une FFT pour l'obtention du spectre de l'enveloppe. La vitesse de rotation (10Hz) et la fréquence de choc (35,8Hz) sont clairement visibles. Les bandes latérales à distance de la vitesse de rotation (35,8-10, 35,8+10) montrent une modulation d'amplitude. Il s'agit d'un endommagement de la bague externe avec charge circulaire.



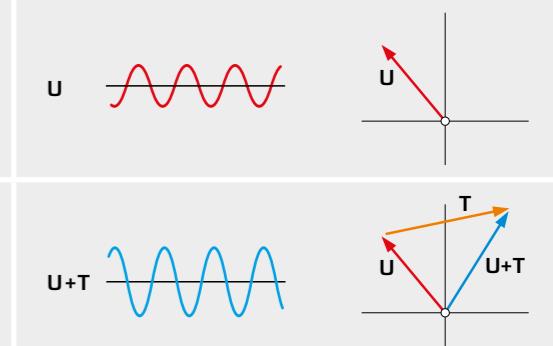
L'illustration montre le spectre de l'enveloppe d'un dommage typique sur les paliers. Pour obtenir une représentation indépendante de la fréquence de rotation, on a choisi l'ordre en abscisse. Un signal de fréquence de rotation est d'ordre 1. On lit des lignes de fréquence en prenant les multiples de l'ordre 3,58. Cela indique un dommage sur la bague externe du palier. Les lignes des bandes latérales manquantes à la distance d'un ordre suggèrent une direction constante de la force, ici la tension de courroie, et n'indiquent pas de charge de balourd.

### 2. Équilibrage sur site

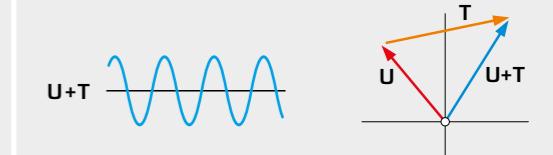
Lorsque l'on effectue un équilibrage, on essaye de réaligner le centre de gravité du rotor sur son axe de rotation. À cet effet, on ajoute ou on retire des masses du rotor. Pour pouvoir déterminer la position et la taille des masses d'équilibrage requises,

on doit d'abord connaître le balourd. Étant donné qu'on ne peut pas mesurer directement un balourd, il faut le déduire de manière indirecte des vibrations de paliers qui, elles, sont mesurables.

Mesure des vibrations de paliers de la machine non équilibrée (balourd initial U).



Mesure des vibrations de paliers après que la machine a été pourvue d'un balourd supplémentaire connu (balourd test T). On calcule le balourd initial en comparant les deux mesures.



Calcul de la taille et de la position des masses d'équilibrage à ajouter ou à retirer (C). Mesure de contrôle (A) après réalisation de la correction des masses. Selon le succès de l'équilibrage, on recommence la procédure jusqu'à ce que les valeurs limites souhaitées pour la vibration de palier soient respectées.



### 3. Identification de fissures dans les arbres

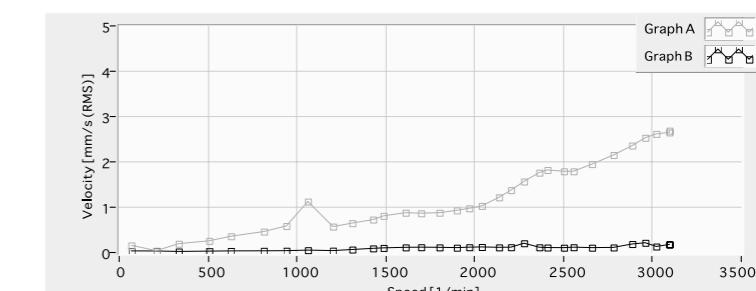
Les arbres présentant des fissures génèrent un signal de vibration caractéristique qui peut être utilisé pour identifier la fissure. Une méthode d'analyse possible est l'**analyse de suivi**, qui

consiste à enregistrer le signal de vibration sur une plage de vitesse de rotation plus étendue, et à l'étudier dans un filtre spécial selon les différents ordres de fréquence de rotation.

Le graphique A montre la part de la vibration de palier de 1<sup>er</sup> ordre ( $1\Omega$ ), tandis que le graphique B montre la part de 2<sup>e</sup> ordre ( $2\Omega$ ).

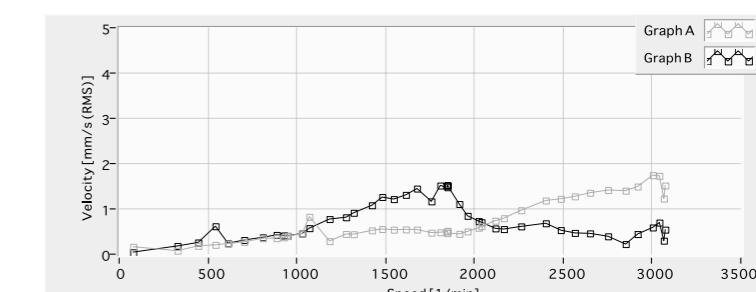
#### État sans fissure:

Les vibrations de paliers de 1<sup>er</sup> ordre augmentent tout à fait normalement avec la vitesse de rotation en raison du balourd. Les vibrations de paliers de 2<sup>e</sup> ordre sont très faibles.



Analyse de suivi d'un arbre sans fissure

**État avec fissure profonde:** tandis que les vibrations de paliers de 1<sup>er</sup> ordre présentent un comportement similaire à celui d'un arbre sans fissure, pour le 2<sup>e</sup> ordre sur la plage de vitesse intermédiaire, on observe une augmentation très forte, ce qui indique clairement la présence d'une fissure.



Analyse de suivi d'un arbre avec fissure

## PT 501

### Dommages sur les paliers à roulement



#### Description

- évaluation de l'état des paliers par l'analyse des vibrations
- comparaison de paliers présentant des dégradations différentes

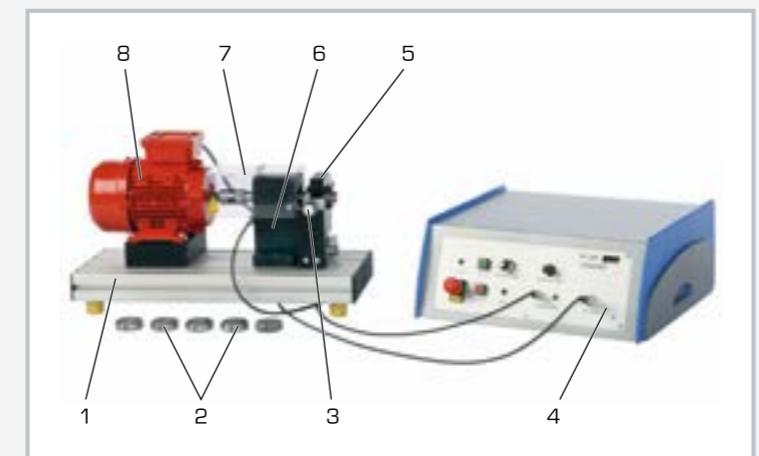
L'analyse des vibrations est un outil important pour évaluer l'état d'un palier à roulement. La lente modification du spectre des vibrations fournit des critères d'évaluation de la durée de vie restante d'un palier et de son remplacement. La distribution spectrale peut fournir des indications précises sur le type et le lieu du dommage.

PT 501 comprend six paliers à roulement interchangeables, sur lesquels on peut dépister différentes dégradations et les expliquer. La charge radiale du palier est ajustée par le biais du dispositif de charge sur une plage étendue.

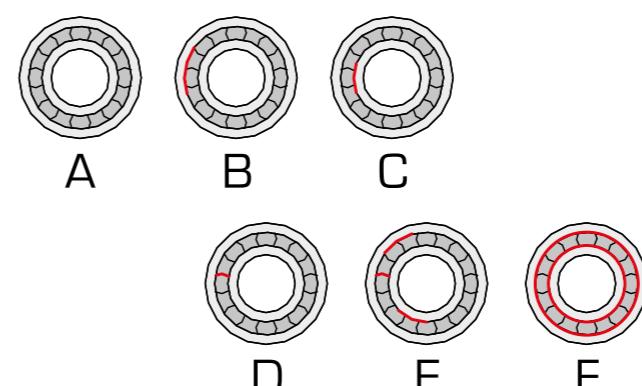
L' entraînement est assuré par un moteur électrique à vitesse de rotation variable via un convertisseur de fréquence. Un capteur d'accélération avec amplificateur de mesure sert à mesurer les vibrations sur le logement du palier. La vitesse de rotation est mesurée par un capteur optique.

#### Contenu didactique/essais

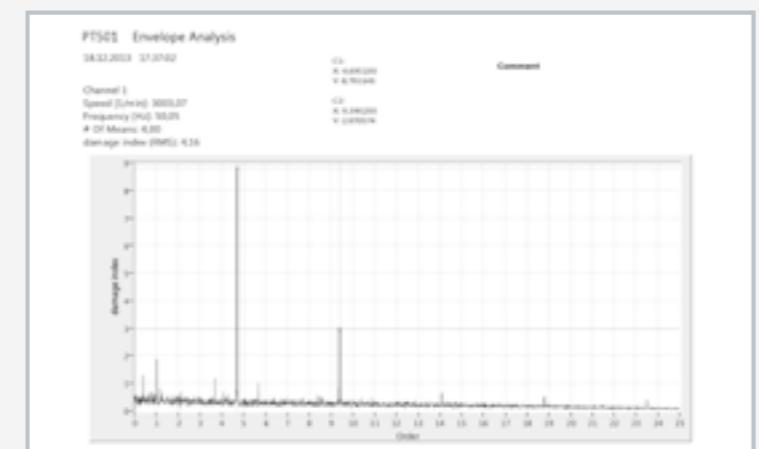
- distribution spectrale des vibrations sur des paliers à roulement
- apprentissage d'analyse d'enveloppe impact de la dégradation du joint torique externe, du joint torique interne ou du corps de roulement sur le spectre
- estimation de la durée de vie de paliers à roulement
- influence du produit lubrifiant sur le spectre des vibrations
- identification de paliers à roulement déteriorés
- compréhension et interprétation des spectres de fréquence
- utilisation d'un appareil d'analyse des vibrations assisté par ordinateur



1 plaque de fondation, 2 palier à roulement, 3 dispositif de charge, 4 appareil de commande, 5 accueil du palier à étudier, 6 logement de l'arbre, 7 couvercle transparent, 8 moteur



A) palier non détérioré, B) palier avec détérioration sur le joint torique externe, C) palier avec détérioration sur le joint torique interne, D) palier avec détérioration sur un corps de roulement, E) palier avec détérioration sur le corps de roulement, le joint torique externe et le joint torique interne, F) palier avec forte usure



Analyse d'enveloppe d'un palier à roulement avec dommages sur le joint torique externe (B) à  $f=3000\text{min}^{-1}$

#### Spécification

- [1] étude des vibrations de paliers à roulement
- [2] palier à roulement avec joint torique externe détérioré
- [3] palier à roulement avec joint torique interne détérioré
- [4] palier à roulement avec corps de roulement détérioré
- [5] palier à roulement avec dommage combiné
- [6] palier à roulement ayant déjà longuement servi
- [7] palier à roulement neuf et intact
- [8] moteur d' entraînement à vitesse de rotation variable par convertisseur de fréquence
- [9] charge radiale du palier par dispositif de charge ajustable
- [10] isolation des vibrations de la plaque de fondation au moyen de pieds en caoutchouc
- [11] instruments: capteur optique de vitesse de rotation, capteur d'accélération pour la mesure des vibrations
- [12] fonctions du logiciel: oscilloscope à deux canaux, analyseur FFT à deux canaux, analyse d'enveloppe, courbe d'accélération et analyse d'ordre
- [13] logiciel GUNT pour l'analyse des vibrations sous Windows Vista ou Windows 7, 8.1, 10

#### Caractéristiques techniques

Roulement à billes à rouleaux cylindriques de type NU204-E-TVP2

- diamètre intérieur:  $\varnothing=20\text{mm}$
- diamètre extérieur:  $\varnothing=47\text{mm}$
- largeur: 14mm
- nombre de rainures: 12
- Moteur d' entraînement
- vitesse de rotation:  $100\ldots3000\text{min}^{-1}$
- puissance: 370W
- Capteur d'accélération
- plage de fréquence: 1...10000Hz
- sensibilité: 100mV/g
- fréquence de résonance: 32kHz
- Capteur optique de vitesse de rotation
- portée de détection: 3...150mm
- laser de classe II, 675nm

230V, 50Hz, 1 phase  
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase  
LxLxh: 510x200x330mm (appareil d'essai)  
LxLxh: 420x400x180mm (appareil de commande)  
Poids: env. 25kg (total)

#### Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai, 1 appareil de commande
- 6 paliers à roulement
- 1 jeu d'accessoires
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

## PT 500 Système de diagnostic de machine

On obtient une bonne évaluation de l'état d'une machine, ou des pièces de la machine, en étudiant le type et la taille de ses vibrations. À cet effet, les vibrations sont enregistrées et évaluées au moyen de capteurs et d'instruments de mesure. Pour bien interpréter les signaux de mesure, il est essentiel de bien comprendre les mécanismes d'action, et d'avoir une certaine expérience en la matière.

Avec le système didactique PT 500, GUNT offre un système d'exercices modulaire, qui traite et explique de manière expérimentale cette thématique complexe de l'enseignement technique. Le système didactique de diagnostic de machines PT 500 permet de simuler, mesurer et analyser de manière ciblée des signaux de vibration caractéristiques de différents dysfonctionnements et défauts, ce qui permet de bien s'exercer à l'interprétation des signaux de mesure.

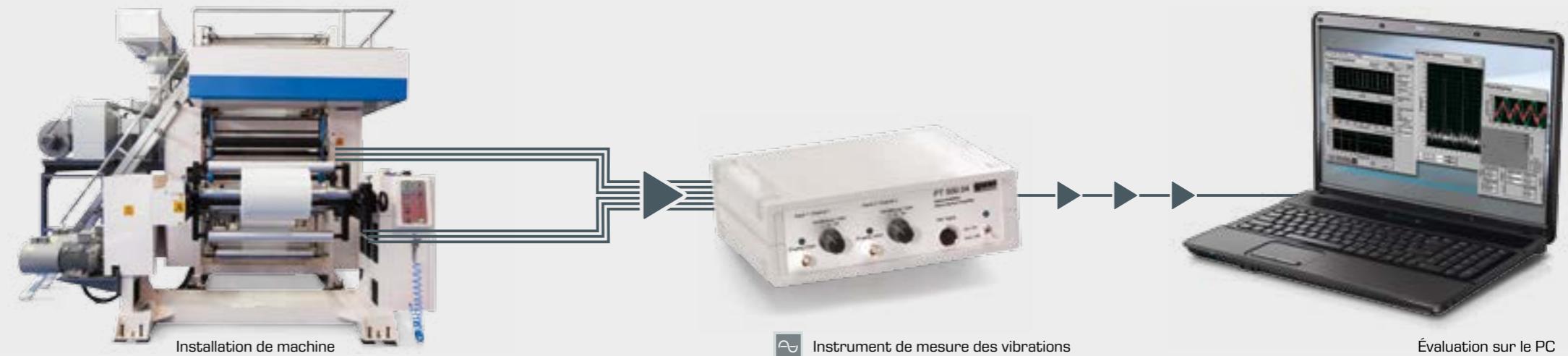
Des techniques de mesure professionnelles facilitent la transposition de l'expérience acquise à la réalité du métier.



Vous trouverez une vue d'ensemble de toutes les options du système modulaire dans notre brochure PT 500 disponible par téléchargement sur [www.gunt.de](http://www.gunt.de).

L'unité de base PT 500 est l'élément principal du système didactique. Les composants de l'unité de base PT 500, associés à l'analyseur de vibrations assisté par ordinateur PT 500.04, permettent la réalisation d'une série d'exercices sur le thème du diagnostic de machine. Les jeux d'accessoires PT 500.10 à PT 500.19 permettent en outre la simulation reproductible de différents dommages. Outre les exercices de mesure des vibrations (mesure de la déviation, de la vitesse et de l'accélération de la vibration sur la plage de temps ou de fréquence), il est possible de s'exercer à l'équilibrage sur site de rotors rigides, et à l'alignement de lignes d'arbres. Une vaste gamme d'accessoires permet de traiter pratiquement tous les thèmes touchant au diagnostic de machine.

L'unité de base comprend une plaque de fixation à vibrations amorties, un moteur d' entraînement à régulation de vitesse de rotation avec tachymètre, un arbre avec deux disques de masse et deux unités de paliers, un accouplement et des masses pour l'équilibrage.



Instrument de mesure des vibrations

Évaluation sur le PC

### Accessoires associés à l'unité de base

<b>PT 500.10</b> <b>Jeu d'accessoires: arbre élastique</b>  Vibrations dues au balourd d'un arbre flexible, résonance, vitesse de rotation critique, équilibrage	<b>PT 500.15</b> <b>Jeu d'accessoires: dommages aux engrenages</b>  Identification de dommages sur les engrenages à partir du signal de vibration, influence du type de denture et de la lubrification
<b>PT 500.11</b> <b>Jeu d'accessoires: arbre fissuré</b>  Comportement de vibration d'un arbre fissuré, identification de la fissure à partir du signal de vibration	<b>PT 500.16</b> <b>Jeu d'accessoires: système bielle-manivelle</b>  Vibrations dans les mécanismes bielle-manivelle, forces libres dues à la masse, coups et chocs dus au jeu de palier et à l'usure
<b>PT 500.12</b> <b>Jeu d'accessoires: dommages sur les paliers à roulement</b>  Identification de dommages sur les paliers à roulement; différents paliers à roulement déjà endommagés sont compris dans la liste de livraison	<b>PT 500.17</b> <b>Jeu d'accessoires: cavitation dans les pompes</b>  Bruits et dommages dus à la cavitation, conditions de la cavitation
<b>PT 500.13</b> <b>Jeu d'accessoires: accouplements</b>  Propriétés de différents types d'accouplements, influence des erreurs de battement radial, de battement axial et de pas sur le comportement de vibration	<b>PT 500.18</b> <b>Jeu d'accessoires: vibrations dans les ventilateurs</b>  Vibrations dans les ventilateurs, démonstration de l'excitation de vibrations par le passage d'aubes, influence de l'effet gyroscopique
<b>PT 500.14</b> <b>Jeu d'accessoires: courroie d'entraînement</b>  Vibrations sur les entraînements par courroie, résonance et vitesse de rotation critique, influence de la tension de courroie, du battement radial et de l'alignement	<b>PT 500.19</b> <b>Jeu d'accessoires: vibrations électromécaniques</b>  Interaction d'un système mécanique électromagnétique, influence de la charge, de la géométrie des lames d'air et de l'asymétrie électrique

## PT 500

### Système de diagnostic de machines, appareil de base



L'illustration montre le système PT 500 prêt pour l'essai avec le chariot mobile PT 500.01.

#### Description

- **unité de base pour la réalisation de nombreux essais de diagnostic de machines avec utilisation de jeux d'accessoires modulaires**
- **plaquette de base en profilé d'aluminium pour le montage rapide et flexible des différents expériences**

Afin d'éviter tout endommagement important des machines et d'assurer la réalisation en temps et en heure des opérations de maintenance, il faut avoir connaissance de l'état des machines. De manière générale, on obtient une bonne évaluation de l'état d'une machine ou des pièces de la machine en étudiant le type et la taille de ses vibrations. Le système de diagnostic de machines permet de simuler certains dommages et d'étudier leurs répercussions sur le spectre des vibrations.

L'appareil de base PT 500 permet de réaliser des exercices de mesure de vibrations (mesure du déplacement, de la vitesse de vibration et de l'accélération dans le domaine temporel-fréquentiel). Il peut également être utilisé pour l'équilibrage "in situ" de rotors rigides et l'alignement d'arbres.

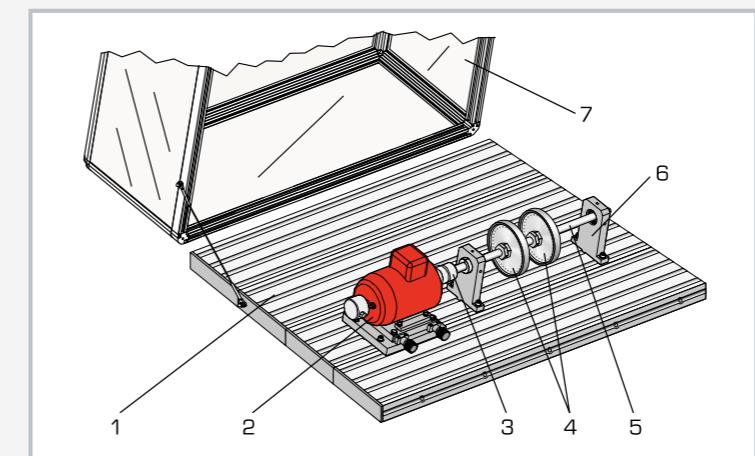
#### Contenu didactique/essais

- introduction à la technique de mesure des vibrations sur des systèmes de machines en rotation:
  - ▶ principes de base de la mesure de vibrations d'arbres et de paliers
  - ▶ grandeurs de base et paramètres
  - ▶ capteurs et instruments de mesure
  - ▶ influences de la vitesse de rotation et de la disposition des arbres
  - ▶ influences de la position des capteurs
- équilibrage sur site d'arbres rigides
- influence de l'alignement du moteur et de l'accouplement
- compréhension et interprétation des spectres de fréquences
- manipulation d'un analyseur de vibrations assisté par ordinateur

Les principaux composants de l'appareil de base sont les composants mécaniques (accouplement, paliers et arbre avec rotors), le moteur d'entraînement à vitesse de rotation variable via convertisseur de fréquence et génératrice tachymétrique ainsi que l'appareil d'affichage et de commande avec affichage numérique de la puissance et de la vitesse de rotation.

La semelle du moteur repose sur un chariot de moteur, de sorte que le moteur peut être aligné. La grande plaque de base d'aluminium avec rainures de guidage permet un montage rapide, flexible et précis des différents composants d'essai. Un capot de protection transparent assure la sécurité nécessaire en fonctionnement et permet une observation aisée des essais. Un système de rangement pratique abrite efficacement toutes les pièces.

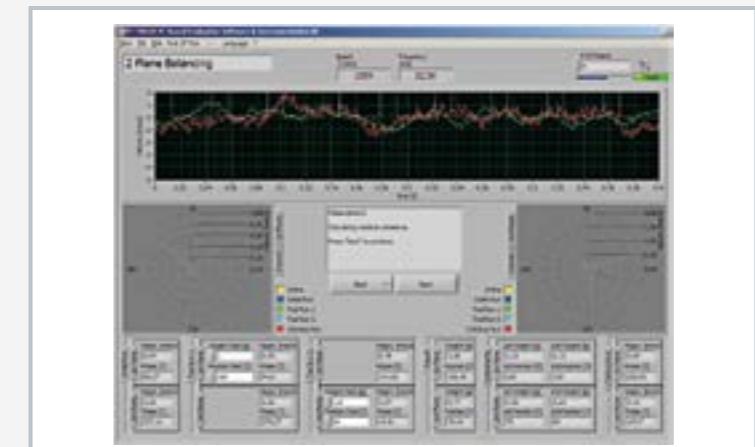
L'analyseur de vibrations assisté par ordinateur PT 500.04 est nécessaire pour la mesure et l'interprétation de tous les essais. Les jeux d'accessoires PT 500.10 à PT 500.19 permettent la simulation reproductible de différents dommages. Le chariot mobile PT 500.01 est recommandé pour l'utilisation flexible du système d'apprentissage.



1 plaque de base, 2 moteur d'entraînement avec chariot ajustable, 3 accouplement, 4 volant déséquilibré, 5 arbre, 6 palier, 7 capot de protection transparent



L'illustration montre les composants dans le système de rangement.



Capture d'écran du logiciel d'analyse: l'équilibrage "in situ" dans deux plans.

#### Spécification

- [1] unité de base du système didactique de diagnostic de machines
- [2] plaque de base rigide avec rainures de serrage
- [3] moteur d'entraînement à vitesse de rotation variable via convertisseur de fréquence
- [4] affichage numérique de la vitesse et de la puissance
- [5] 2 arbres: 1 court, 1 long
- [6] 2 volants déséquilibrés avec masses d'équilibrage interchangeables
- [7] paliers, paliers à roulement interchangeables
- [8] trous de fixation pour détecteur de vibrations
- [9] accouplement élastique à griffes et accouplement Controlflex®
- [10] alignement angulaire et transversal du moteur
- [11] capot de protection transparent
- [12] système de rangement empilable des composants

#### Caractéristiques techniques

Plaque de base LxL: 1100x800  
 ■ M8-rainures, distance=50mm

Moteur asynchrone avec convertisseur de fréquence

- puissance motrice: 0,37kW
- vitesse de rotation nominale: 2800min⁻¹
- plage de vitesses de rotation via convertisseur de fréquence: 100...6000min⁻¹
- appareil d'affichage et de commande avec affichage numérique de la puissance et de la vitesse de rotation

2 arbres: Ø=20mm, longueur 300mm, 500mm

2 volants déséquilibrés: Ø=150mm, chacun 1675g,

avec masses d'équilibrage interchangeables (vis)  
 2 paliers: les paliers à roulement sont interchangeables  
 Accouplement Controlflex®, couple nominal: 15Nm

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 3 phases

Llxh: 1100x800x500mm (plaquette de base + capot)

Llxh: 475x420x200mm (appareil de commande)

Llxh: 600x390x325mm (système de rangement)

Poids: env. 95kg (total)

#### Liste de livraison

- 1 plaque de base avec capot de protection
- 1 appareil d'affichage et de commande
- 1 moteur asynchrone avec convertisseur de fréquence
- 2 arbres
- 2 volants déséquilibrés
- 2 accouplements
- 2 paliers
- 1 plaque de support
- 2 dispositifs de serrage
- 1 jeu d'outils
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

## Série PT 500

### Jeux d'essai et les composants nécessaires ou optionnels

Essais	Composants					
	PT 500.05 Dispositif de freinage et de charge	PT 500.10 Jeu d'accessoires: arbre élastique	PT 500.12 Jeu d'accessoires: dommages sur les paliers à roulement	PT 500.14 Jeu d'accessoires: courroie d'entraînement	PT 500.15 Jeu d'accessoires: dommages aux engrenages	PT 500.01 Chariot mobile
<b>PT 500.10</b> Jeu d'accessoires: arbre élastique						
<b>PT 500.11</b> Jeu d'accessoires: arbre fissuré						
<b>PT 500.12</b> Jeu d'accessoires: dommages sur les paliers à roulement						
<b>PT 500.13</b> Jeu d'accessoires: accouplements						
<b>PT 500.14</b> Jeu d'accessoires: courroie d'entraînement						
<b>PT 500.15</b> Jeu d'accessoires: dommages aux engrenages						
<b>PT 500.16</b> Jeu d'accessoires: système bielle-manivelle						
<b>PT 500.17</b> Jeu d'accessoires: cavitation dans les pompes						
<b>PT 500.18</b> Jeu d'accessoires: vibrations dans les ventilateurs						
<b>PT 500.19</b> Jeu d'accessoires: vibrations électromécaniques						

Composant optionnel   Composant nécessaire

PT 500.41 Deux capteurs de déplacement nécessaire en plus

## PT 500.01

### Chariot mobile



L'illustration montre PT 500.01 avec la plaque de base et le capot de protection de l'unité de base PT 500.

#### Description

- chariot pour appareil de base
- mobile grâce aux quatre roues de guidage

Ce chariot permet de réaliser un banc d'essai mobile avec l'appareil de base PT 500. La partie inférieure comporte deux plateaux pour accueillir des instruments de mesure et autres accessoires. Le chariot robuste est en profilés d'aluminium anodisés, les plateaux en tôle d'aluminium anodisée.

#### Spécification

- [1] chariot destiné au système didactique modulaire diagnostic de machines PT 500
- [2] profil Blocan, aluminium
- [3] 4 roues de guidage, freinées

#### Caractéristiques techniques

Surface de table Lxl: 1100x770mm

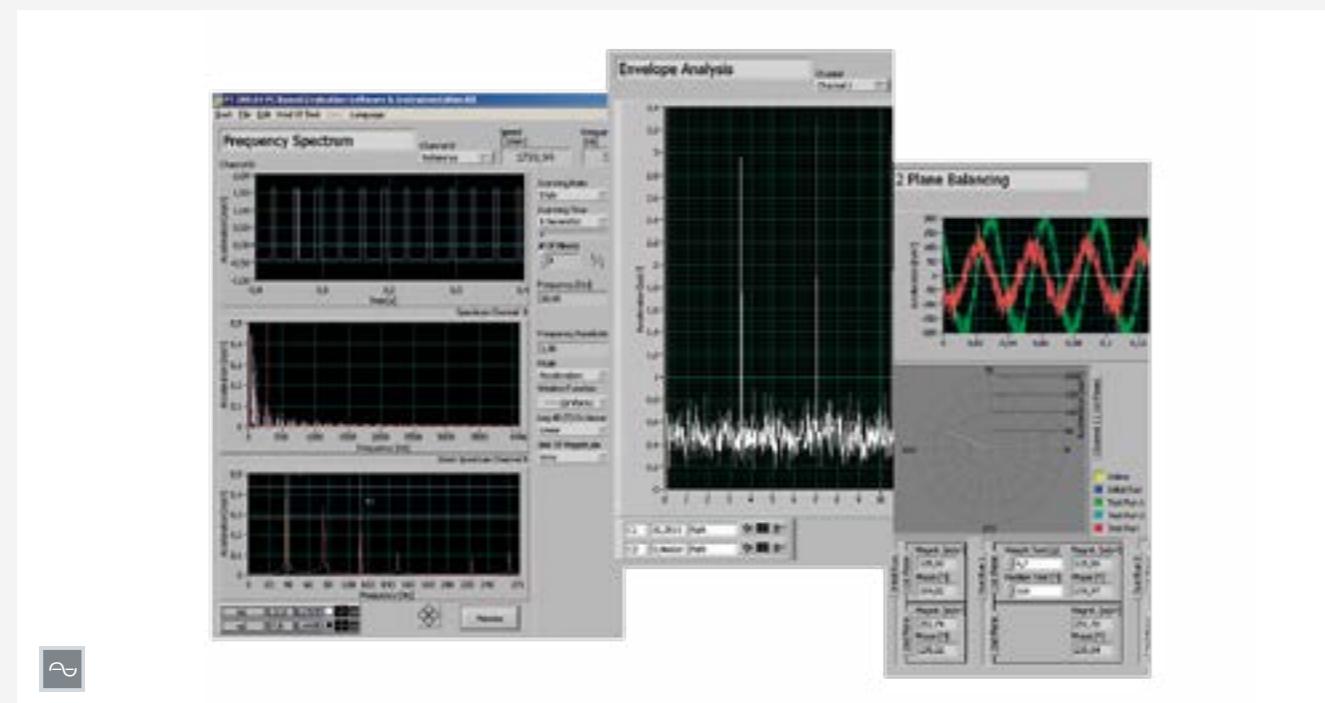
Llxh: 1100x770x820mm  
Poids: env. 39kg

#### Liste de livraison

- 1 chariot complet

## PT 500.04

### Analyseur de vibrations assisté par ordinateur



#### Description

- logiciel polyvalent et performant pour l'analyse des vibrations
- supporte tous les essais pour le diagnostic de machine de la série PT 500
- convient pour l'équilibrage "in situ" des rotors dans un et deux plans

L'analyseur de vibrations assisté par ordinateur a été développé spécialement pour permettre l'interprétation des essais pour le diagnostic de machine de la série PT 500. Mais l'appareil de mesure peut également être utilisé avec profit pour de nombreux autres essais relatifs aux vibrations (p. ex. TM 150).

Le système comprend deux capteurs d'accélération, un capteur de vitesse de rotation, un amplificateur de mesure à gain ajustable, un box USB et un logiciel d'analyse.

Les caractéristiques du logiciel d'analyse sont les suivantes: oscilloscope bicanal pour les essais dans le domaine temporel, analyseur de spectre bicanal pour les essais dans le domaine fréquentiel,

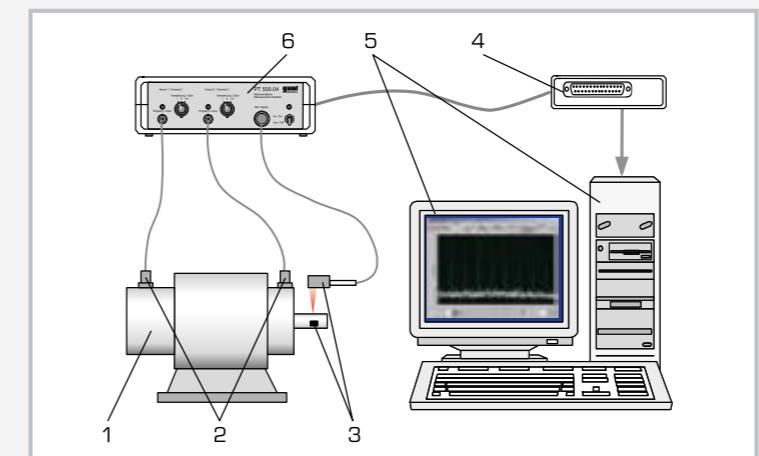
#### Contenu didactique/essais

- en association avec les essais de la série PT 500 dans son ensemble, les sujets suivants peuvent être traités:
  - ▶ faire connaissance avec des signaux de vibration
  - ▶ bonne utilisation de l'analyse de la transformée de Fourier rapide (FFT)
  - ▶ mesure de la vitesse de rotation, du déplacement de vibration, de la vitesse de vibration et de l'accélération
  - ▶ évaluation de l'état vibratoire d'une machine
  - ▶ analyse des dommages des paliers à roulement et des réducteurs à l'aide de spectres d'enveloppe
  - ▶ détection des fissures sur les arbres à l'aide de courbes de montée en puissance et d'une analyse d'ordre
  - ▶ mesure des vibrations dues au balourd de rotors rigides dans 1 et 2 plans

Le logiciel permet d'appliquer différentes méthodes d'analyse à un signal de vibration et d'en comparer l'efficacité. Il devient ainsi facile de déterminer les avantages et les inconvénients des différentes techniques. Le processus d'équilibrage est expliqué pas à pas.

Le logiciel possède une interface claire et est facile d'utilisation. Une aide en ligne explique les différentes fonctions. Les résultats des mesures peuvent être imprimés.

Les câbles, supports et éléments de fixation sont fournis.



1 machine vibrante, 2 capteurs d'accélération, 3 arbre avec capteur de référence, 4 boîte USB, 5 ordinateur (ordinateur non fourni), 6 amplificateur de mesure / filtre



Capteurs montés: capteur d'accélération sur le support noir, capteur de vitesse avec support



L'illustration montre tous les composants du PT 500.04.

#### Spécification

- [1] analyseur de vibrations assisté par ordinateur pour la visualisation et l'interprétation des essais avec la série PT 500 "Diagnostic de machine"
- [2] 2 capteurs d'accélération pour le déplacement de vibration, la vitesse de vibration et l'accélération
- [3] capteur optique pour la vitesse de rotation
- [4] amplificateur de mesure bicanal à gain ajustable
- [5] fonctions du logiciel: oscilloscope bicanal, analyseur bicanal de la transformée de Fourier rapide, analyse d'enveloppe, courbe de montée en puissance et analyse d'ordre, équilibrage "in situ" dans 2 plans
- [6] 2 capteurs de déplacement PT 500.41 peuvent être raccordés
- [7] convient pour les mesures en général dans le domaine des vibrations
- [8] système de rangement empilable pour les pièces
- [9] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

#### Caractéristiques techniques

##### Capteurs d'accélération

- plage de fréquences: 1...10000Hz
- sensibilité: 100mV/g
- fréquence de résonance: 32kHz

##### Capteur optique de vitesse de rotation

- portée de détection: 3...150mm
- laser classe II, 675nm

##### Amplificateur de mesure

- gain ajustable: x1, x10, x100
- alimentation par bloc d'alimentation 12VCC
- LxLxH: 230x220x80mm

##### Box USB

- 16 entrées analogique, 2 sorties analogique
- 4 entrées/sorties numérique chaque

##### 230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase  
UL/CSA en option

LxLxH: 600x400x220mm (système de rangement)

Poids: env. 6kg

#### Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

#### Liste de livraison

- 2 capteurs d'accélération
- 1 capteur de vitesse de rotation avec support
- 1 amplificateur
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 boîte USB + câble de données
- 1 clé mixte de 13
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 notice

## PT 500.05

### Dispositif de freinage et de charge



#### Description

- génération d'un couple de charge
- deux plages de vitesse de rotation et de couple
- frein ventilé à particules magnétiques avec appareil d'affichage et de commande

Beaucoup de phénomènes de vibration ne sont représentables qu'en charge.

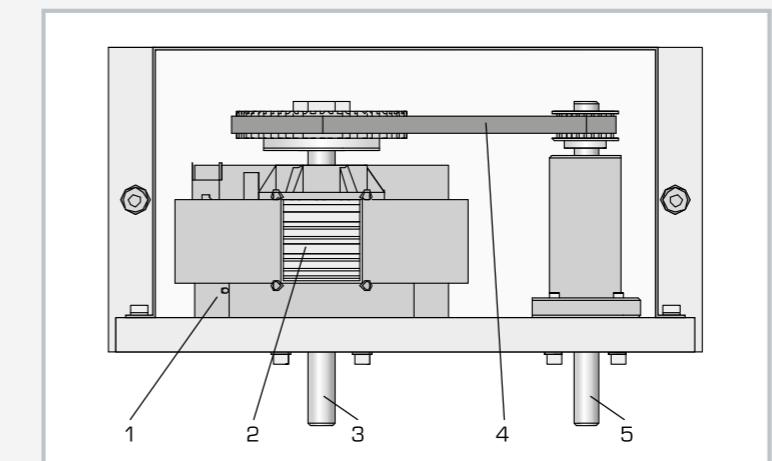
Pour générer des vibrations dépendant du couple, p. ex. dans des transmissions à engrenages ou des moteurs électriques, on utilise un dispositif de freinage et de charge.

Il est constitué d'un frein à particules magnétiques et d'un appareil d'affichage et de commande. Le couple de freinage est ajustable finement sur l'appareil d'affichage et de commande. Le courant d'excitation est alors pris comme mesure du couple de freinage et affiché numériquement sur un écran.

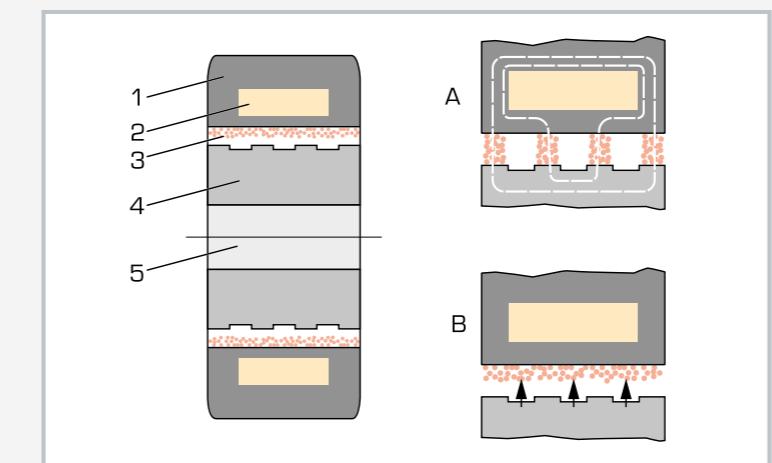
Un entraînement à courroie intégré et un deuxième arbre de sortie confèrent au frein deux plages de couples et de vitesses de rotation. L'énergie est transformée en chaleur par le frein et dissipée dans l'environnement par un ventilateur.

Le frein se monte rapidement et avec précision sur la plaque rainurée de l'appareil de base PT 500.

Le dispositif PT 500.05 est utilisé avec les jeux d'accessoires suivants:  
PT 500.13 Accouplements  
PT 500.14 Courroie d'entraînement  
PT 500.15 Dommages aux engrenages  
PT 500.19 Vibrations électromécaniques



1 frein à particules magnétiques, 2 ventilateur, 3 arbre pour raccordement direct du frein, 4 entraînement par courroie, 5 arbre pour raccordement du frein via l'entraînement à courroie



Fonctionnement d'un frein à particules magnétiques: 1 stator, 2 bobine excitatrice, 3 interstice avec particules magnétiques, 4 rotor, 5 arbre; A le courant circule: Les particules magnétiques relient le rotor au stator, ce qui produit des frottements, B circulation du courant interrompu: les particules magnétiques sont comprimées contre le stator sous l'effet de la force centrifuge, le rotor peut tourner



L'illustration montre le PT 500.05 avec PT 500, PT 500.01, PT 500.15 et PT 500.04.

#### Spécification

- [1] dispositif de freinage et de charge pour le système didactique dediagnostic de machines
- [2] frein à particules magnétiques
- [3] appareil d'affichage et de commande avec affichage du courant d'excitation
- [4] potentiomètre d'ajustage du couple de freinage
- [5] entraînement par courroie intégré pour une deuxième plage de vitesse de rotation et de couple
- [6] protection thermique et ventilateur contre la surchauffe
- [7] système de rangement empilable pour les pièces

#### Caractéristiques techniques

Puissance à régime constant: env. 450W/3000min<sup>-1</sup>

Rapport de transmission entre les arbres du frein: i=3

Fonctionnement direct du frein

- plage de vitesses de rotation: 200...2000min<sup>-1</sup>
- couple de freinage: 1...10Nm

Fonctionnement via entraînement à courroie

- plage de vitesses de rotation: 600...6000min<sup>-1</sup>
- couple de freinage: 0,3...3,3Nm

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

LxLxH: 460x410x200mm (appareil d'affichage et de commande)

LxLxH: 600x400x320mm (système de rangement)

Poids: env. 30kg

#### Liste de livraison

- 1 frein à particules magnétiques
- 1 appareil d'affichage et de commande
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 notice

## PT 500.10

### Jeu d'accessoires: arbre élastique



#### Description

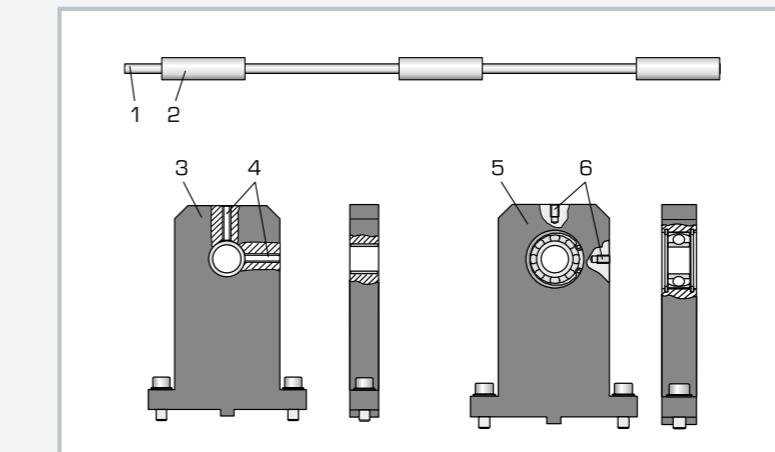
- vibrations de flexion de l'arbre élastique
- résonance et vitesse de rotation critique

Le jeu d'accessoires permet d'étudier le comportement d'un rotor élastique soumis à une excitation à balourd. On peut démontrer les états de marche sous-critiques, surcritiques et la résonance. Il est particulièrement intéressant de comparer les trajectoires [orbites] dans les zones sous-critique et surcritique.

Un autre thème est l'équilibrage de rotors élastiques. Les roulements à rotule à billes fournissent la pleine mobilité de l'arbre. Le support de reprise limite les amplitudes dans la plage proche de la résonance à des valeurs non dangereuses.

#### Contenu didactique/essais

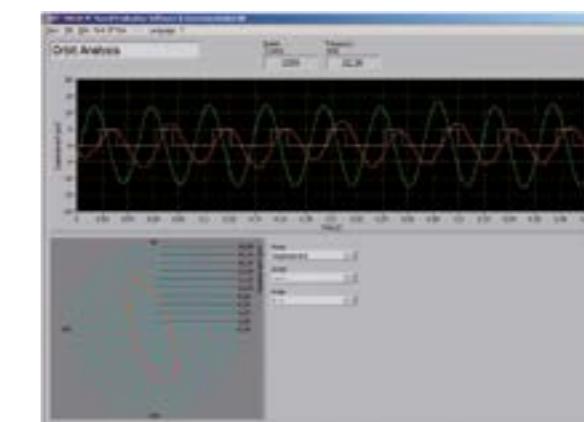
- apprentissage des notions de vitesse de rotation critique et de résonance
- influence de l'excitation à balourd
- équilibrage du rotor élastique
- influence des erreurs d'alignement
- compréhension et interprétation des spectres de fréquence
- manipulation d'un analyseur de vibrations assisté par ordinateur
- avec les deux capteurs de déplacement PT 500.41
  - ▶ étude de la trajectoire dans les domaines sous-critique et surcritique



1 arbre élastique, 2 palier, 3 support de reprise, 4 orifices pour les capteurs de déplacement, 5 support de palier avec roulement à rotule sur billes, 6 orifices pour les capteurs d'accélération



L'illustration montre le PT 500.10 avec PT 500, PT 500.01 et PT 500.04.



Capture d'écran du logiciel d'analyse  
haut: signaux de vibration en fonction de temps  
bas: représentation de trajectoire pour la vibration dans deux plans

#### Spécification

- [1] étude des vibrations de flexion d'un arbre élastique
- [2] arbre élastique en acier inoxydable
- [3] 2 supports de palier avec roulements à rotule sur billes
- [4] 1 support de reprise
- [5] les supports de palier et le support de reprise sont pourvus d'orifices pour accueillir les capteurs
- [6] jeu d'accessoires pour le système de diagnostic de machines PT 500
- [7] système de rangement empilable pour les pièces

#### Caractéristiques techniques

- Arbre élastique:
- diamètre min.:  $\varnothing=10\text{mm}$
  - diamètre aux paliers:  $\varnothing=20\text{mm}$
  - longueur: 530mm
  - longueur nominale entre les paliers: 450mm

LxLxH: 600x400x120mm (système de rangement)  
Poids: env. 6kg

#### Liste de livraison

- |   |  |
|---|--|
| 1 | arbre élastique                                |
| 2 | supports de palier                             |
| 1 | support de reprise                             |
| 1 | système de rangement avec mousse de protection |
| 1 | notice   |

## PT 500.11

### Jeu d'accessoires: arbre fissuré



AC  
2E

#### Description

- comportement en vibration d'un arbre avec fissure radiale
- identification du dommage

Les fissures de fatigue du matériau sont très dangereuses pour les machines tournantes. Une détection précoce de la fissure est dès lors importante avant une rupture totale aux conséquences souvent fatales. La fissure influence le comportement en vibration de l'arbre par modification de la rigidité. Un logiciel d'analyse approprié permet d'enregistrer cette modification et par conséquent de prévoir à temps la révision de la machine.

Pour l'essai, la fissure est simulée par un raccord asymétrique à flasques. Un serrage asymétrique des vis des flasques permet de laisser bailler l'assemblage, ce qui se rapproche très fort du comportement d'une fissure.

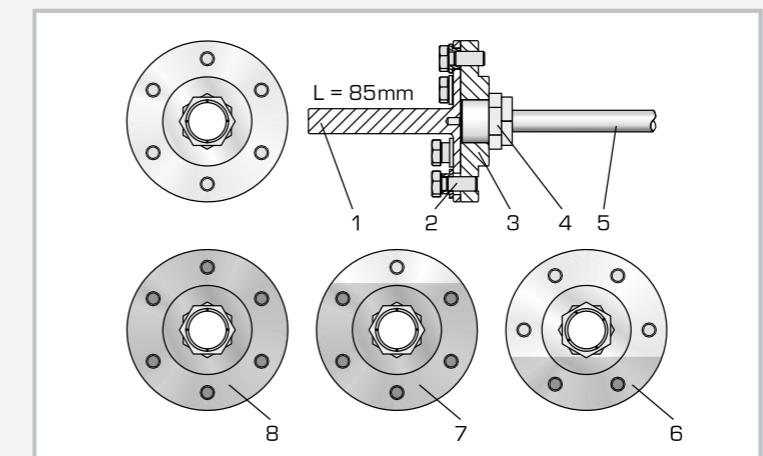
Le jeu d'accessoires contient deux arbres de longueurs différentes: un arbre court et un arbre long. L'arbre court simule une extrémité d'arbre en porte-à-faux, il est mis en charge à l'aide de l' entraînement à courroie PT 500.14. L'arbre long est utilisé avec un support de reprise de PT 500.10 et un disque de masse de l'appareil de base pour étudier la fissure dans un arbre de rotor élastique.

Le jeu d'accessoires est utilisé avec le système de base de diagnostic de machines PT 500 et monté sur la plaque de base de celui-ci.

L'analyseur de vibrations assisté par ordinateur PT 500.04 est nécessaire pour la mesure et l'interprétation de l'essai. Il comprend tous les capteurs, un amplificateur de mesure et un logiciel d'analyse, nécessaires pour étudier les phénomènes vibratoires.

#### Contenu didactique/essais

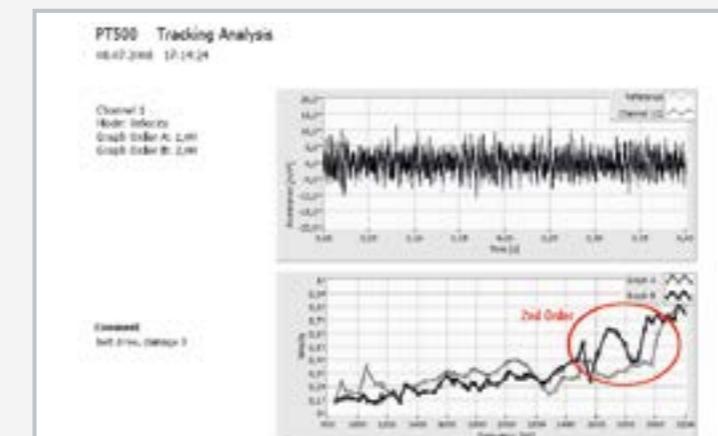
- modification du comportement caractéristique en vibration (fréquence propre, vitesse de résonance, amplitude et phase des vibrations) induit par une fissure
- identification de la fissure à partir de la modification du spectre de vibrations
- fissure dans l'arbre pour l'extrémité d'arbre en porte-à-faux
- compréhension et interprétation des spectres de fréquences
- manipulation d'un analyseur de vibrations assisté par ordinateur
- avec un support de reprise (p. ex. de PT 500.10 Jeu d'accessoires: arbre élastique):
  - ▶ fissure dans l'arbre d'un rotor élastique



1 bride avec arbre court [charge via entraînement à courroie], 2 vis, 3 disque récepteur, 4 kit de serrage, 5 arbre moteur, 6 arbre avec fissure maximale (raccord à brides avec 2 vis porteuses), 7 arbre avec petite fissure (raccord à brides avec 5 vis porteuses), 8 arbre sans fissure (raccord à brides avec 6 vis porteuses)



L'illustration montre le PT 500.11 avec PT 500, PT 500.01, PT 500.14 et PT 500.04.



Analyse de suivi du 2<sup>e</sup> degré du rotor avec fissure: nette augmentation de l'amplitude au 2<sup>e</sup> degré [en rouge]

#### Spécification

- [1] analyse du comportement en vibration d'un arbre avec fissure
- [2] adaptateur de fissure sous forme de flasque
- [3] simulation de fissure par ouverture d'assemblages vissés
- [4] simulation de 4 fissures de tailles différentes
- [5] arbre court de simulation d'une "extrémité d'arbre en porte-à-faux"
- [6] arbre long de simulation du "rotor élastique"
- [7] le jeu d'accessoires PT 500.14 (courroie d'entraînement) génère le moment de flexion nécessaire
- [8] jeu d'accessoires pour le système de diagnostic de machines PT 500
- [9] système de rangement empilable pour les pièces

#### Caractéristiques techniques

Diamètre de bride: Ø=90mm  
6 vis à tête hexagonale M8x20 pour flasques

#### Arbres

- diamètre: Ø=20mm
- arbre court: L=85mm
- arbre long: L=200mm
- moments de flexion max. admissibles:
  - arbre court pour poulie: 15,9Nm
  - arbre long pour disque de masse: 3,9Nm

Lxlh: 400x300x120mm (système de rangement)  
Poids: env. 3kg

#### Liste de livraison

- 1 disque récepteur
- 1 arbre long
- 1 arbre court
- 1 mandrin de centrage pour l'alignement des arbres lors du montage expérimental
- 6 vis
- 1 kit de serrage
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 notice

## PT 500.12

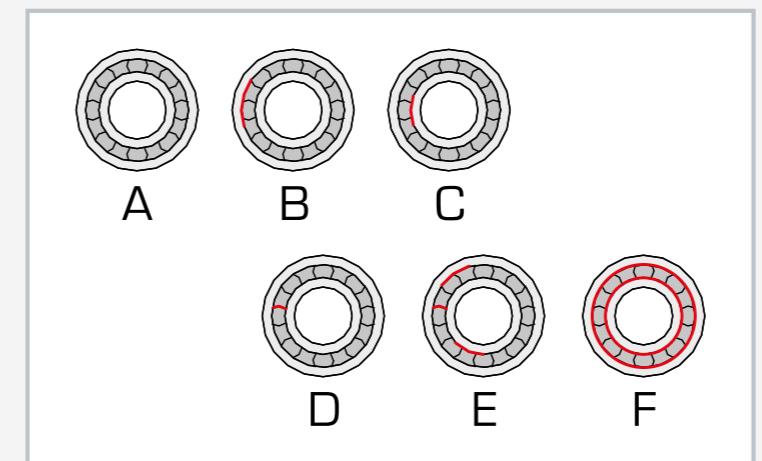
### Jeu d'accessoires: dommages sur les paliers à roulement



AC 2E

#### Contenu didactique/essais

- composition spectrale des vibrations de paliers à roulement
- apprentissage d'analyse d'enveloppe
- influence sur le spectre de détériorations à la bague extérieure, à la bague intérieure ou au corps de roulement
- estimation de la durée de vie de paliers à roulement
- influence du lubrifiant sur le spectre des vibrations
- détection de paliers à roulement défectueux
- compréhension et interprétation des spectres de fréquences
- manipulation d'un analyseur de vibrations assisté par ordinateur



A) palier intact, B) palier avec détérioration de la bague extérieure, C) palier avec détérioration de la bague intérieure, D) palier avec détérioration d'un corps de roulement, E) palier avec détérioration d'un corps de roulement, de la bague extérieure et de la bague intérieure, F) palier fortement usé



L'illustration montre le PT 500.12 avec PT 500, PT 500.01, PT 500.14 et PT 500.04.

#### Description

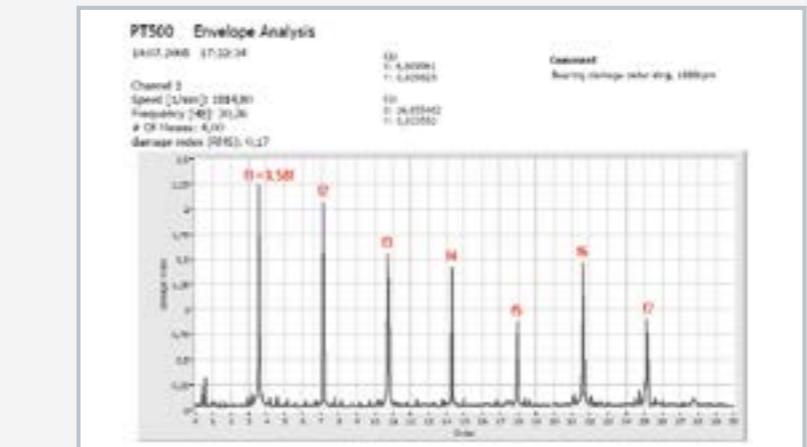
- évaluation de l'état d'un palier par analyse des vibrations
- comparaison de paliers présentant des détériorations différentes

L'analyse des vibrations est un outil important pour juger l'état d'un palier à roulement. La modification lente du spectre de vibration sert de critère pour la durée de vie restante d'un palier et son remplacement. La distribution spectrale peut donner des indications précises sur la nature et l'emplacement du dommage.

Le jeu d'accessoires contient six paliers à roulement, sur lesquels des détériorations différentes peuvent être mises en évidence et expliquées. Le jeu d'accessoires courroie d' entraînement PT 500.14 (réglage de la tension de courroie, charge fixe) permet de régler la charge radiale du palier dans une large gamme de limites.

Le jeu d'accessoires est utilisé avec le système de base de diagnostic de machines PT 500 et monté sur la plaque de base de celui-ci.

L'analyseur de vibrations assisté par ordinateur PT 500.04 est nécessaire pour la mesure et l'interprétation de l'essai. Il comprend tous les capteurs, un amplificateur de mesure et un logiciel d'analyse, nécessaires pour étudier les phénomènes vibratoires.



Analyse d'enveloppe du palier avec détérioration de la bague extérieure (B) à  $f=1800\text{min}^{-1}$ , fréquence de défaut  $f_1=3,58f$ , de  $f_2$  à  $f_5$  ondes harmoniques

#### Spécification

- [1] analyse des vibrations de paliers à roulement
- [2] palier à roulement avec bague extérieure défectueuse
- [3] palier à roulement avec bague intérieure défectueuse
- [4] palier à roulement avec corps de roulement défectueux
- [5] palier à roulement avec dommage combiné
- [6] palier à roulement usé
- [7] palier à roulement neuf et intact
- [8] sollicitation radiale des paliers avec le kit PT 500.14 (courroie d' entraînement)
- [9] jeu d'accessoires pour le système de diagnostic de machines PT 500
- [10] système de rangement empilable pour les pièces

#### Caractéristiques techniques

Roulements à rotule sur billes type NU204-E-TVP2

- diamètre intérieur:  $\varnothing=20\text{mm}$
- diamètre extérieur:  $\varnothing=47\text{mm}$
- largeur: 14mm
- nombre de rouleaux: 12

LxLxH: 400x300x120mm (système de rangement)  
Poids: env. 4kg

#### Liste de livraison

- 6 paliers à roulement
- 1 support de palier
- 2 pince pour circlips
- 1 pince à circlips
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 notice

## PT 500.13

### Jeu d'accessoires: accouplements



L'illustration montre le PT 500.13 avec l'accouplement à griffes de PT 500.

#### Description

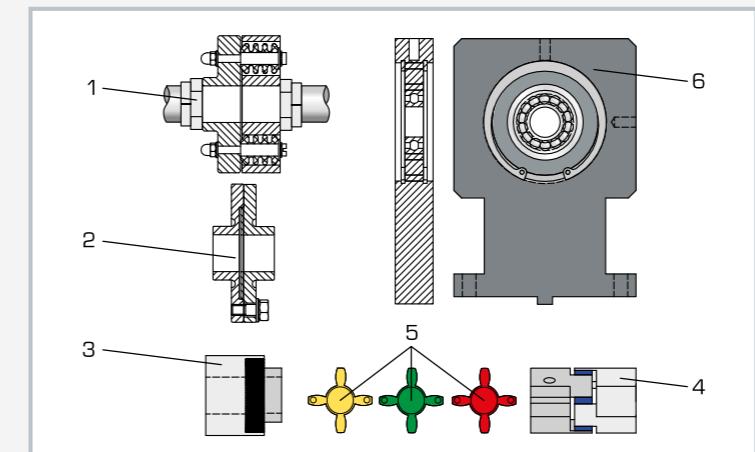
- analyse de vibrations d'accouplements
- battement radial, battement axial et erreur de pas
- caractéristiques de différents types d'accouplements: accouplement boulonné, accouplement à denture bombée, accouplement à plateau, accouplement à griffes

Le couplage d'éléments de machines tournantes est assuré par le biais d'accouplements. Un accouplement présentant des erreurs de fabrication ou de montage génère des vibrations au niveau de la machine. Ces vibrations fournissent à leur tour des renseignements sur des défauts ou détériorations spécifiques.

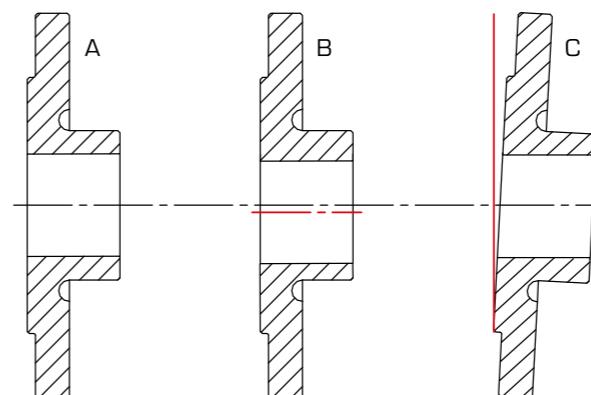
Le jeu d'accessoires PT 500.13 est utilisé pour simuler différents défauts et étudier les répercussions sur le comportement en vibration. Il permet en outre de comparer les caractéristiques de différents types d'accouplements. Les accouplements pris en considération sont les accouplements à denture bombée, boulonnés, à plateau et à griffes. Les accouplements sont montés entre le moteur et l'arbre. Le dispositif de charge PT 500.05 est nécessaire pour l'étude du comportement des accouplements en charge.

#### Contenu didactique/essais

- répercussions d'erreurs d'alignement sur différents types d'accouplement:
  - ▶ accouplement boulonné avec défaut de centrage
  - ▶ accouplement à griffes avec défaut de centrage
- répercussions d'erreurs de fabrication telles que le battement radial, le battement axial et l'erreur de pas sur le comportement de marche de la machine
  - ▶ accouplement à plateau sans défaut
  - ▶ accouplement à plateau avec battement radial
  - ▶ accouplement à plateau avec battement axial
  - ▶ accouplement boulonné sans défaut
  - ▶ accouplement boulonné avec erreur de pas
- identification d'erreurs d'accouplement à partir du signal de vibration
- comportement de marche en fonction de la charge
- influence de la dureté de la couronne dentée pour les accouplements à griffes
- comparaison de l'accouplement à denture bombée, de l'accouplement boulonné, de l'accouplement à plateau et de l'accouplement à griffes
- compréhension et interprétation des spectres de fréquences
- manipulation d'un analyseur de vibrations assisté par ordinateur



1 accouplement boulonné, 2 accouplement à plateau, 3 accouplement à denture bombée, 4 accouplement à griffes avec intercalaire [tous les deux de PT 500], 5 intercalaires, 6 support de palier avec palier élastique



Demi-accouplements à plateau: A sans défaut, B battement radial, C battement axial



L'illustration montre le PT 500.13 avec PT 500, PT 500.01, PT 500.05 et PT 500.04.

#### Spécification

- [1] étude du comportement en vibration de différents types d'accouplements avec et sans défaut
- [2] accouplement à denture bombée
- [3] 3 intercalaires différents pour l'accouplement à griffes élastique de l'appareil de base PT 500
- [4] accouplement à plateau sans défaut
- [5] accouplement à plateau avec battement radial
- [6] accouplement à plateau avec battement axial
- [7] accouplement boulonné avec et sans erreur de pas
- [8] le montage expérimental peut être utilisé avec le dispositif de freinage et de charge PT 500.05
- [9] jeu d'accessoires pour le système de diagnostic de machines PT 500
- [10] système de rangement empilable pour les pièces

#### Caractéristiques techniques

##### Accouplement boulonné

- 1 boulon centré
- 1 boulon décentré
  - ▶ excentricité du boulon: 1mm
- erreur de pas max.:  $180^\circ \pm 1,909^\circ$

##### Intercalaires pour l'accouplement à griffes

- 98 Shore A (rouge)
- 92 Shore A (jaune)
- 64 Shore D (vert)
- 80 Shore A (bleu, compris dans PT 500)

##### Accouplement à plateau

- battement radial (décentrage): 0,2mm
- battement axial:  $0,4 \pm 0,1\text{mm}$

LxLxH: 400x300x170mm (système de rangement)

Poids: env. 6kg

#### Liste de livraison

- 1 accouplement à denture bombée
- 1 accouplement à plateau sans défaut
- 1 accouplement à plateau avec battement radial
- 1 accouplement à plateau avec battement axial
- 1 accouplement boulonné à erreur de pas ajustable
- 3 étoiles d'accouplement
- 1 support de palier
- 1 jeu d'outils
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 notice

## PT 500.14

### Jeu d'accessoires: courroie d'entraînement



#### Description

- vibrations d'entraînements à courroie
- résonance et vitesse de rotation critique

Réalisés et ajustés dans les règles de l'art, les entraînements à courroie demandent peu d'entretien, sont silencieux et à longue durée de vie. Il est important d'éviter une vibration et / ou un patinage de la courroie.

Le jeu d'accessoires PT 500.14 permet d'étudier les conditions conduisant à des vibrations ou un patinage. Des courroies de tensions ajustables permettent de démontrer l'influence d'une différence d'allongement de courroies multiples. L'entraînement à courroie est du type double, avec un tendeur de courroie. Il peut cependant être utilisé également avec une seule courroie. Une petite poulie à perçage excentré et une courroie trapézoïdale endommagée élargissent le programme d'expérience.

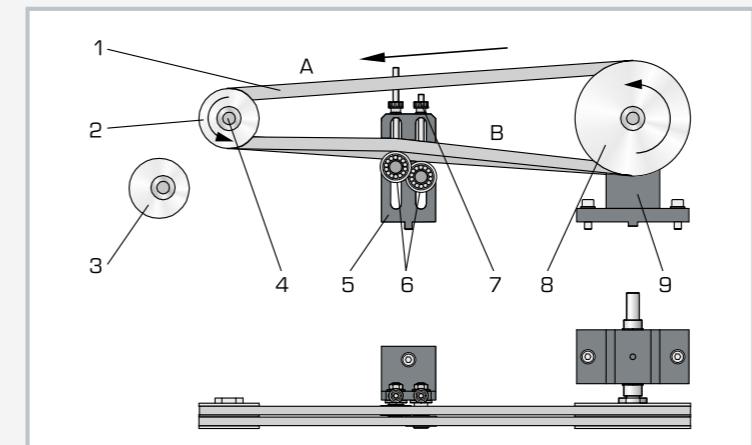
#### Contenu didactique/essais

- influence de la tension de courroie sur les vibrations
- influence de la vitesse de rotation sur les vibrations
- influence de poulies ovalisées et d'une dérive
- répartition de puissance pour des courroies multiples
- influence du glissement sur le spectre des vibrations
- comparaison entre courroie intacte et courroie endommagée
- compréhension et interprétation des spectres de fréquences
- manipulation d'un analyseur de vibrations assisté par ordinateur

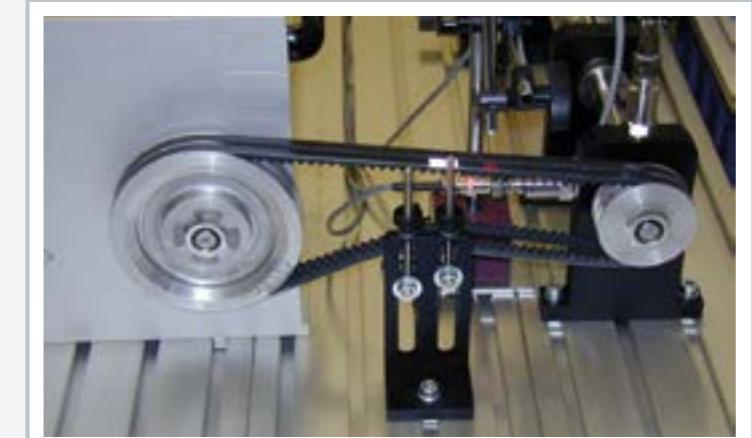
La réalisation des essais nécessite un dispositif de freinage et de charge PT 500.05. Le jeu d'accessoires PT 500.14 peut également être utilisé pour créer des charges transversales dans d'autres essais.

Le jeu d'accessoires est utilisé avec le système de base de diagnostic de machines PT 500 et monté sur la plaque de base de celui-ci.

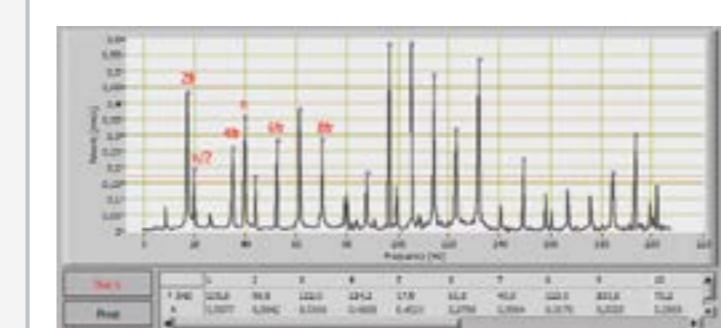
L'analyseur de vibrations assisté par ordinateur PT 500.04 est nécessaire pour la mesure et l'interprétation de l'essai. Il comprend tous les capteurs, un amplificateur de mesure et un logiciel d'analyse, nécessaires pour étudier les phénomènes vibratoires.



1 courroie, 2 petite poulie [motrice], 3 petite poulie excentrée, 4 kit de serrage, 5 dispositif de tension pour la courroie, 6 poulies de tension, 7 ajustage de la tension de la courroie trapézoïdale, 8 grande poulie, 9 support de palier



L'illustration montre le PT 500.14 avec PT 500.05.



Spectre de fréquences pour l'entraînement à courroie: fréquence de la courroie  $f_r$ , avec des ondes harmoniques  $2f_r$ ,  $4f_r$ ,  $6f_r$ ; vitesse de rotation  $n$ ,  $n/2$

#### Spécification

- [1] analyse des vibrations d'entraînements à courroie
- [2] entraînement à courroie double avec courroies trapézoïdales
- [3] l'entraînement par courroie peut fonctionner avec une courroie
- [4] tensions des courroies ajustables individuellement
- [5] poulies avec battement radial
- [6] courroie trapézoïdale endommagée
- [7] appareil de mesure pour déterminer la précontrainte de la courroie 0...150N
- [8] convient pour appliquer des charges transversales dans d'autres jeux d'accessoires de la série PT 500
- [9] le dispositif de freinage et de charge PT 500.05 pour essais sur entraînement à courroie est nécessaire
- [10] jeu d'accessoires pour le système de diagnostic de machines PT 500
- [11] système de rangement empilable pour les pièces

#### Caractéristiques techniques

Poulies pour courroie trapézoïdale

- grande:  $\varnothing=125\text{mm}$
- petite:  $\varnothing=63\text{mm}$
- petite, décentrée:  $\varnothing=63\text{mm}$

Entraxe: 300mm

Courroie trapézoïdale

- SPZ, largeur env. 10mm
- longueur de la courroie: 912mm

LxLxH: 600x400x170mm (système de rangement)

Poids: env. 6kg

#### Liste de livraison

- 3 courroies trapézoïdales
- 3 poulies
- 1 jeu de poulies de tension
- 1 appareil de mesure pour déterminer la précontrainte de la courroie
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 notice

## PT 500.15

### Jeu d'accessoires: dommages aux engrenages



AC  
2E

#### Description

- analyse de vibrations issues de défauts de denture
- localisation de défauts dans des engrenages

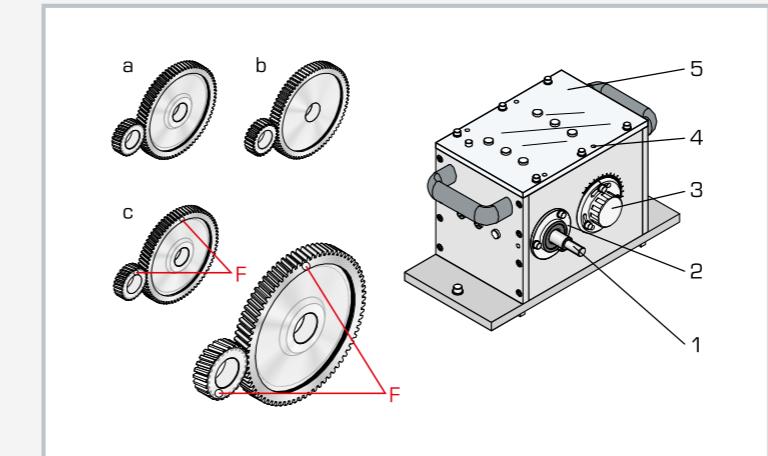
Le jeu d'accessoires PT 500.15 permet de simuler des dommages typiques d'engrenages et d'étudier leurs répercussions sur le comportement vibratoire.

Plusieurs jeux de roues dentées avec défaut de denture sont livrés à cet effet. Des jeux de roues intacts sont disponibles à titre comparatif. On peut également montrer la différence entre denture droite et denture hélicoïdale. Des flasques paliers mobiles permettent d'étudier l'influence de l'entraxe ou du jeu des roues dentées. Comme la nature de la lubrification influence fortement le signal de vibration, on peut lubrifier avec de la graisse ou de l'huile à engrenages.

Pour les essais de vibrations, on utilise le couvercle de carter avec perçages pour capteurs. Le couvercle de carter transparent sert à l'observation de l'engrenage en fonctionnement, sans que des mesures de vibrations soient effectuées.

#### Contenu didactique/essais

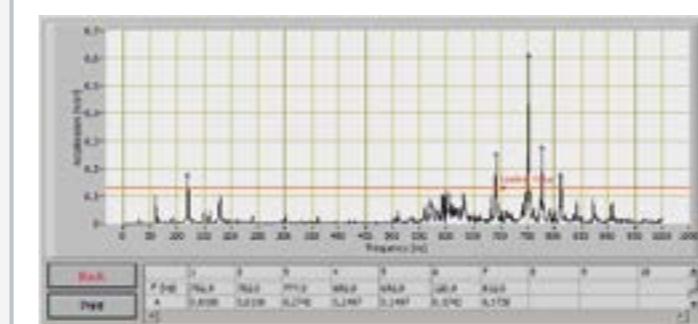
- identification de dommages aux engrenages à l'aide du comportement en vibration
- influence du type de denture
  - ▶ denture droite
  - ▶ denture hélicoïdale
- localisation du dommage
- influence de la lubrification
- influence de l'entraxe et du jeu de roues dentées
- compréhension et interprétation des spectres de fréquences
- manipulation d'un analyseur de vibrations assisté par ordinateur



1 extrémité d'arbre, 2 chapeau de palier avec traversée d'arbre, 3 chapeau de palier avec possibilité d'ajustage de l'entraxe, 4 trou taraudé pour capteur de vibrations, 5 couvercle de carter transparent; a jeu de roues à denture hélicoïdale, b jeu de roues à denture droite, c jeux de roues endommagés; F défaut



L'illustration montre le PT 500.15 avec PT 500, PT 500.01, PT 500.05 et PT 500.04.



Spectre pour l'engrenage à denture droite à 1800min<sup>-1</sup>: fréquence d'engrenage 752Hz

#### Spécification

- [1] analyse du comportement en vibration d'engrenages
- [2] jeu d'engrenages à deux arbres
- [3] 2 jeux de roues endommagés et 2 jeux de roues intacts
- [4] denture droite et denture hélicoïdale
- [5] couvercle de carter avec perçages pour capteurs
- [6] couvercle de carter transparent
- [7] les engrenages peuvent être lubrifiés à la graisse ou à l'huile
- [8] mise en charge du montage expérimental avec le dispositif de freinage et de charge PT 500.05
- [9] jeu d'accessoires pour le système de diagnostic de machines PT 500
- [10] système de rangement empilable pour les pièces

#### Caractéristiques techniques

Rapport de transmission i: 1:3  
 Entraxe ajustable  
 Profil de référence suivant DIN 867

Jeux de roues à denture droite  
 ■ roue dentée: respectivement 75 dents, m=2mm  
 ■ pignons: chacun 25 dents, m=2mm

Jeux de roues à denture hélicoïdale  
 ■ roue dentée: respectivement 75 dents, m=2mm  
 ■ pignons: chacun 25 dents, m=2mm  
 ■ angle d'hélice: 10°

LxLxH: 600x400x320mm (système de rangement)  
 Poids: env. 25kg

#### Liste de livraison

- 1 carter
- 1 couvercle de carter transparent
- 1 couvercle de carter avec perçages pour capteurs
- 4 roues dentées
- 4 pignons
- 1 huile moteur SAE 10W 40, 1,5L
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 notice

## PT 500.16

### Jeu d'accessoires: système bielle-manivelle



#### Description

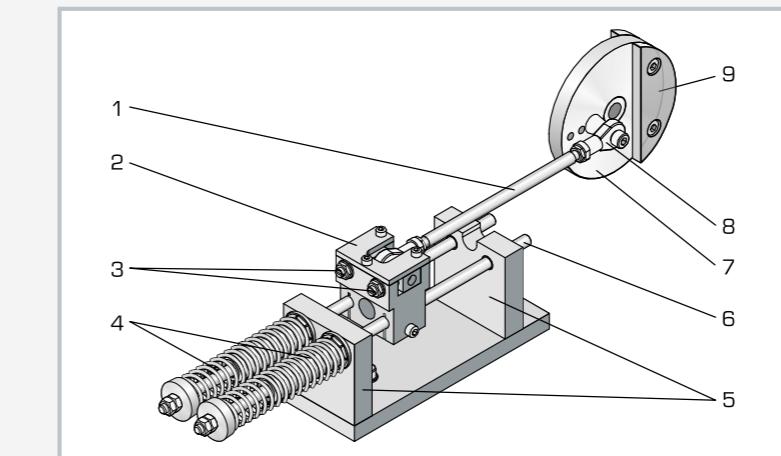
- **vibrations de commandes à manivelle**
- **jeu dans les paliers de pièces de machines oscillantes**

Les commandes à manivelle sont utilisées souvent dans les compresseurs et les pompes. Du fait des masses oscillantes et des forces, les commandes à manivelle sont la cause d'une série de vibrations. En raison des contraintes alternées dans le mécanisme, un jeu de palier peut p. ex. provoquer des chocs à hautes fréquences. En raison de la cinématique non linéaire, les masses libres génèrent des harmoniques de vibrations.

Pour le jeu d'accessoires PT 500.16, on peut ajuster la course, l'équilibrage et le jeu de palier dans la tête de piston. La vitesse de rotation est ajustée à l'aide de l'appareil de base PT 500. Les forces dues aux gaz, comme on les rencontre p. ex. dans les compresseurs ou dans les moteurs à combustion, peuvent être simulées par l'utilisation de ressorts. Pour la réalisation d'essais avec des forces dues aux gaz, on a besoin de couples de rotation plus élevés, qui sont obtenus par la démultiplication de la vitesse de rotation du moteur d'entraînement de l'appareil de base PT 500.

#### Contenu didactique/essais

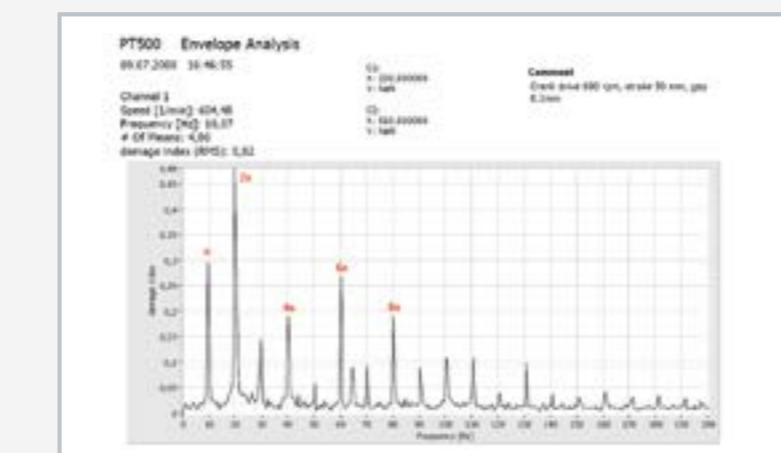
- analyse d'ordre des forces dues à la masse
- apprentissage d'analyse d'enveloppe
- influence du jeu de palier et des chocs
- évolution non uniforme des moments
- mesure d'usure de tiges de piston
- compréhension et interprétation des spectres de fréquences
- manipulation d'un analyseur de vibrations assisté par ordinateur
- avec PT 500.15
  - ▶ transmission d'un moment alterné dans des transmissions à engrenages
- avec PT 500.14 ou PT 500.15
  - ▶ influence de la présence de forces dues aux gaz sur le spectre de vibrations



1 bielle, 2 tête de piston, 3 ajustage du jeu de palier, 4 ressort de compression, 5 support de palier avec palier lisse, 6 tige de piston, 7 flasque de manivelle, 8 tête d'articulation, 9 masse de compensation



L'illustration montre le PT 500.16 avec PT 500, PT500.01 et PT 500.02.



Analyse d'enveloppe pour la commande à manivelle à 600tr/min: le 2<sup>e</sup> degré 2n avec les ondes harmoniques 4n, 6n, 8n etc. est dominant

#### Spécification

- [1] analyse des vibrations de commandes à manivelle
- [2] commande à manivelle à course ajustable
- [3] des coussinets interchangeables permettent de simuler un jeu de palier
- [4] des ressorts simulent des forces dues aux gaz
- [5] peut être exploité avec le jeu d'accessoires PT 500.15 dommages aux engrenages
- [6] l'entraînement par courroie PT 500.14 ou l'engrenage PT 500.15 est nécessaire pour l'essai avec les forces dues aux gaz
- [7] jeu d'accessoires pour le système de diagnostic de machines PT 500
- [8] système de rangement empilable pour les pièces

#### Caractéristiques techniques

Course: 50 – 75 – 100mm

Masse de compensation totale

- 490g, calculée pour un fonctionnement avec une course de 50mm

Jeu de palier: 0...1mm

Ressort de compression

- longueur en relâchement: 170mm
- constante de ressort: R=0,55N/mm

LxLxH: 600x400x170mm (système de rangement)

Poids: env. 8kg

#### Liste de livraison

- 1 commande à manivelle
- 2 ressorts
- 2 masses de compensation
- 1 jeu d'outils
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 notice

## PT 500.17

### Jeu d'accessoires: cavitation dans les pompes



#### Description

- **observation et mesure des phénomènes de cavitation**
- **compréhension des conditions de la cavitation**

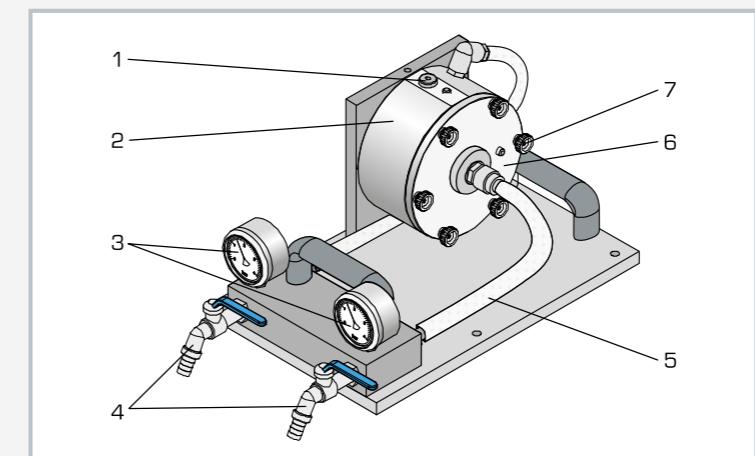
Lors de la mesure de vibrations sur les pompes, la cavitation peut jouer un grand rôle.

Le jeu d'accessoires PT 500.17 permet de provoquer expérimentalement la cavitation et d'étudier son influence sur le spectre des vibrations.

Les principaux éléments du jeu d'accessoires sont une pompe centrifuge à un étage et un réservoir. La pompe et le réservoir sont reliés ensemble à l'aide de flexibles. Des vannes et des manomètres dans les tuyauteries d'aspiration et de refoulement permettent de régler les conditions de fonctionnement. Le corps de pompe en matière plastique transparente permet l'observation des phénomènes à l'intérieur de la pompe pendant le fonctionnement. Ceci permet d'observer la formation des bulles de cavitation. On recommande en particulier l'observation stroboscopique (le stroboscope n'est pas compris dans le jeu d'accessoires).

#### Contenu didactique/essais

- observation et compréhension des phénomènes de cavitation d'une pompe centrifuge:
  - ▶ visuellement
  - ▶ au stroboscope [stroboscope comme accessoire]
  - ▶ par analyse de vibrations
- analyse des vibrations de fonctionnement sur une pompe centrifuge
- compréhension et interprétation des spectres de fréquences
- manipulation d'un analyseur de vibrations assisté par ordinateur



1 vis d'évent du corps de pompe, 2 corps de pompe, 3 manomètre, 4 vanne, 5 flexible côté aspiration, 6 couvercle de corps de pompe, 7 vis moletée pour ouvrir le couvercle de corps



L'illustration montre le PT 500.17 avec PT 500 et PT 500.01.

#### Spécification

- [1] étude des conditions de cavitation dans les pompes
- [2] pompe centrifuge à un étage
- [3] manomètres et vannes à l'aspiration et au refoulement d'étranglement permettent la génération de la cavitation
- [4] corps de pompe transparent
- [5] entraînement de la pompe via un accouplement (PT 500) ou avec l'entraînement par courroie PT 500.14
- [6] jeu d'accessoires pour le système de diagnostic de machines PT 500
- [7] système de rangement empilable pour les pièces

#### Caractéristiques techniques

##### Pompe centrifuge

- débit de refoulement max. à  $3300\text{min}^{-1}$ : 17L/min
- hauteur de refoulement max. à  $3300\text{min}^{-1}$ : 12m
- roue à 3 aubes
- vitesse de rotation min. pour la cavitation
  - ▶ env.  $2240\text{min}^{-1}$  (avec côté aspiration étranglé)

##### Réservoir

- matériau: HDPE
- capacité du réservoir: 20L

##### Manomètre

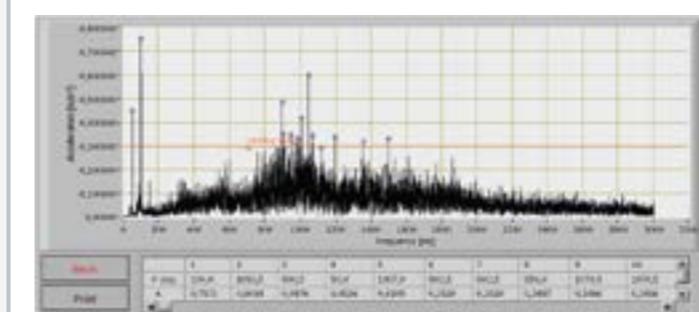
- côté refoulement : 0...4bar
- côté aspiration: -1...1,5bar

LxLxH: 600x400x320mm (système de rangement)

Poids: env. 16kg

#### Liste de livraison

- 1 pompe
- 1 réservoir
- 1 jeu de flexibles
- 1 système de rangement avec tapis de caoutchouc
- 1 notice



Capture d'écran du logiciel: spectre de fréquences à la cavitation

## PT 500.18

### Jeu d'accessoires: vibrations dans les ventilateurs



#### Description

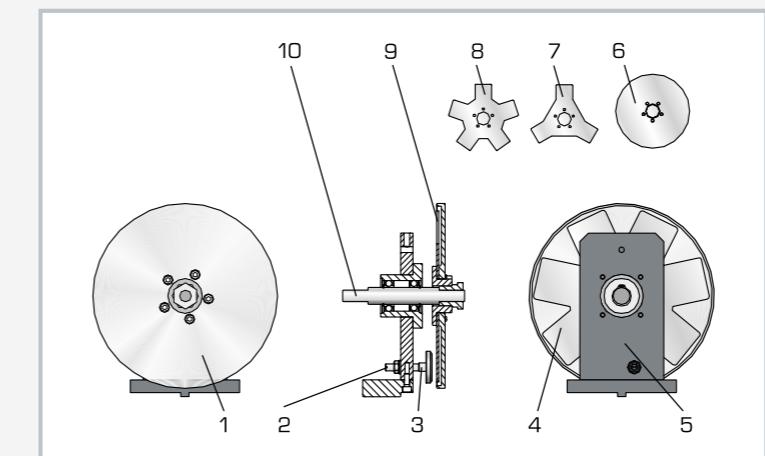
- mesure de vibrations sur des ventilateurs
- simulation de vibrations induites par les pales

Les mesures de vibrations jouent un grand rôle pour la surveillance de fonctionnement de ventilateurs et soufflantes. En plus des signaux habituels provenant de paliers et balourds, on peut mesurer les vibrations induites par les pales. Les vibrations sont provoquées par des champs d'écoulement hétérogènes.

Dans le jeu d'accessoires PT 500.18, les vibrations sont excitées magnétiquement. Trois rotors de ventilateur avec des nombres de pales différents peuvent être étudiés. Une vitre protectrice recouvre les ventilateurs en rotation. Un volant placé en oblique sert à l'étude de l'effet gyroscopique. Le modèle de ventilateur peut au choix, comme dans la réalité, être entraîné directement via un accouplement élastique ou via la courroie d'entraînement PT 500.14.

#### Contenu didactique/essais

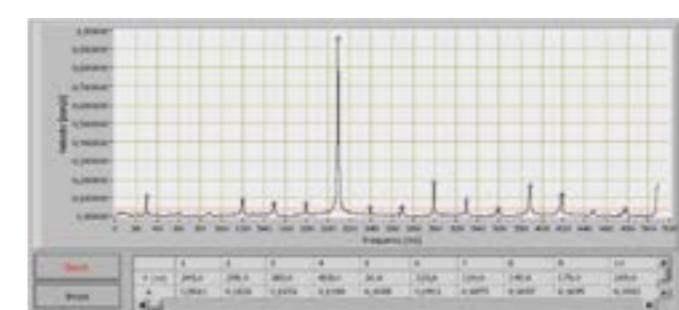
- mesure de vibrations sur des ventilateurs
- mesure de la fréquence de passage des pales
- identification dans le spectre des vibrations des vibrations induites par les pales
- effet du balourd dynamique sur le ventilateur
- compréhension et interprétation des spectres de fréquences
- manipulation d'un analyseur de vibrations assisté par ordinateur



1 vitre protectrice, 2 vis de réglage pour la distance aimant - pales, 3 aimant permanent, 4 rotor de ventilateur avec 7 pales, 5 support de palier, 6 volant de simulation de forces axiales, 7 rotor de ventilateur avec 3 pales, 8 rotor de ventilateur avec 5 pales, 9 pale de ventilateur, 10 arbre du ventilateur



L'illustration montre le PT 500.18 avec PT 500 et PT 500.01.



Spectre de fréquences pour un rotor de ventilateur avec 7 pales: fréquence de pale claire à 210Hz

#### Spécification

- [1] analyse des vibrations dans les ventilateurs
- [2] modèle de ventilateur axial avec pales
- [3] excitation magnétique de forces dans les pales
- [4] volant incliné appliquée pour étude d'effets gyroscopiques
- [5] 3 rotors de ventilateur avec nombres de pales différents
- [6] vitre protectrice pour les rotors de ventilateur
- [7] distance aimant - pale ajustable
- [8] peut être utilisé avec l'entraînement par courroie PT 500.14
- [9] jeu d'accessoires pour le système de diagnostic de machines PT 500
- [10] système de rangement empilable pour les pièces

#### Caractéristiques techniques

Rotor de ventilateur en tôle d'acier

- 3 pales
- 5 pales
- 7 pales
- diamètre: 204mm
- vitesse de rotation max.:  $3000\text{min}^{-1}$

Volant de protection, en aluminium

- Ø=220mm

Lxhx: 400x300x320mm (système de rangement)  
Poids: env. 6kg

#### Liste de livraison

- 3 rotors de ventilateur
- 1 volant
- 1 support
- 1 vitre protectrice
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 notice

## PT 500.19

### Jeu d'accessoires: vibrations électromécaniques

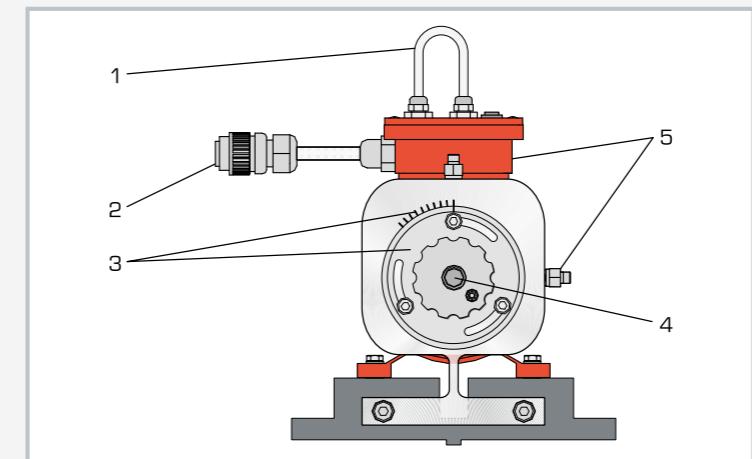


AC

2E

#### Contenu didactique/essais

- influence de l'entrefer sur le comportement en vibration
- influence de l'asymétrie électromagnétique sur le comportement en vibration
- influence de la charge sur l'amplitude de vibration
- influence de l'entrefer sur les pertes électromagnétiques et le rendement
- influence de la vitesse de rotation sur les vibrations
- compréhension et interprétation des spectres de fréquences
- manipulation d'un analyseur de vibrations assisté par ordinateur
- avec une pince ampérométrique:
  - ▶ mesure du courant absorbé par phase



1 possibilité de mesure des 3 phases pour une pince ampérométrique, 2 raccordement à l'appareil d'affichage et de commande de PT 500, 3 chapeau de palier avec centrage ajustable et échelle, pour l'ajustage de l'entrefer, 4 arbre moteur, 5 adaptateur pour capteurs d'accélération



L'illustration montre le PT 500.19 avec PT 500, PT 500.01 et PT 500.05.

#### Description

- interaction système électromagnétique - mécanique
- entrefer asymétrique ajustable entre stator et rotor
- asymétrie électromagnétique par enroulement commutable

Les moteurs asynchrones sont largement répandus comme entraînements. Ces moteurs peuvent générer des vibrations. Dans le cas d'un entrefer asymétrique, les forces magnétiques tournantes génèrent des vibrations de torsion et de flexion. Il en va de même en cas de panne d'une partie des enroulements électriques. Le champ magnétique asymétrique génère alors des vibrations mécaniques.

Le kit d'accessoires est utilisé avec le système de base de diagnostic de machines PT 500 et monté sur la plaque de base de celui-ci.

Dans le jeu d'accessoires PT 500.19, des flasques paliers mobiles permettent d'ajuster un entrefer asymétrique. Un enroulement commutable génère une asymétrie électromagnétique. L'appareil d'affichage et de commande du système de base PT 500 alimente le moteur asynchrone et permet l'ajustage de la vitesse de rotation. Le moteur est chargé à l'aide du dispositif de freinage PT 500.05.

L'analyseur de vibrations assisté par ordinateur PT 500.04 est nécessaire pour la mesure et l'interprétation de l'essai. Il comprend tous les capteurs, un amplificateur de mesure et un logiciel d'analyse, nécessaires pour étudier les phénomènes vibratoires.

#### Spécification

- [1] analyse du comportement en vibration d'un moteur électrique
- [2] moteur asynchrone avec entrefer ajustable
- [3] champ magnétique asymétrique par enroulement commutable
- [4] vitesse de rotation variable via le convertisseur de fréquence de l'appareil de base
- [5] affichage de vitesse de rotation dans l'appareil d'affichage et de commande de l'unité de base PT 500
- [6] affichage de puissance dans l'appareil d'affichage et de commande de l'unité de base PT 500
- [7] jeu d'accessoires pour le système de diagnostic de machines PT 500
- [8] système de rangement empilable pour les pièces

#### Caractéristiques techniques

Moteur asynchrone à vitesse de rotation variable

- plage de vitesses de rotation:  $100\ldots6000\text{min}^{-1}$
- puissance nominale: 370W

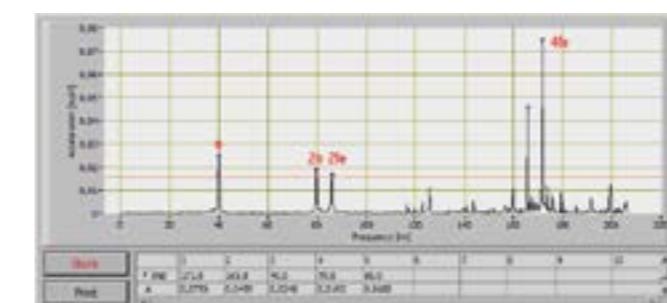
Excentricité de l'induit: 0...0,2mm

LxLxH: 400x300x320mm (système de rangement)

Poids: env. 11kg

#### Liste de livraison

- 1 moteur électrique avec boîtier de connexion
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 notice



Spectre typique d'un moteur électrique: vibrations en fonction de la fréquence de rotation, avec  $n$ ,  $2n$  à cause du balourd; vibrations en fonction de la fréquence industrielle, avec  $2f_e$ ,  $4f_e$  à cause des forces magnétiques

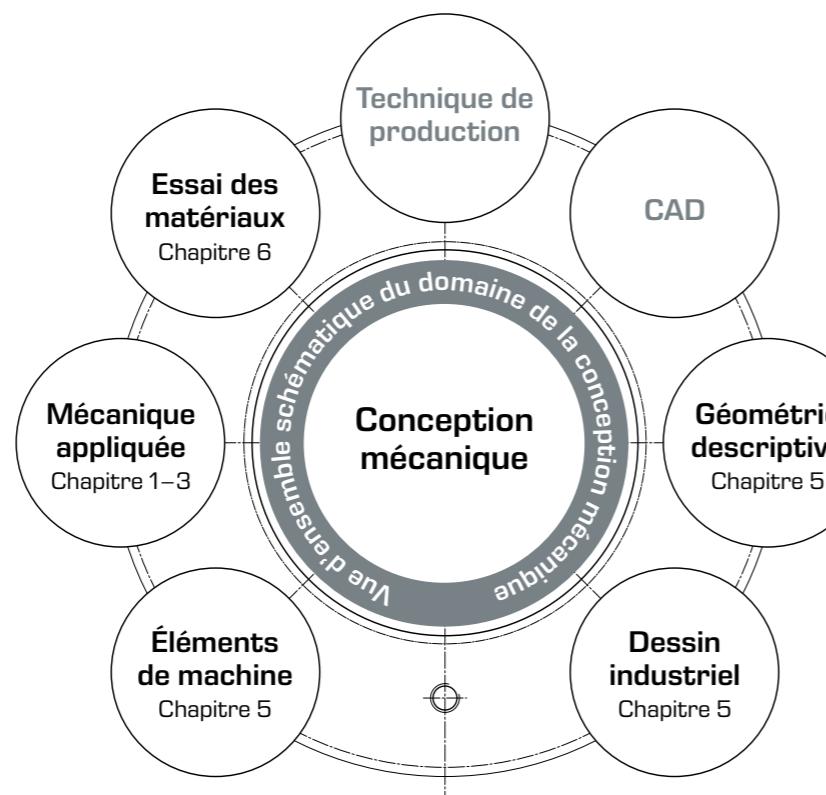
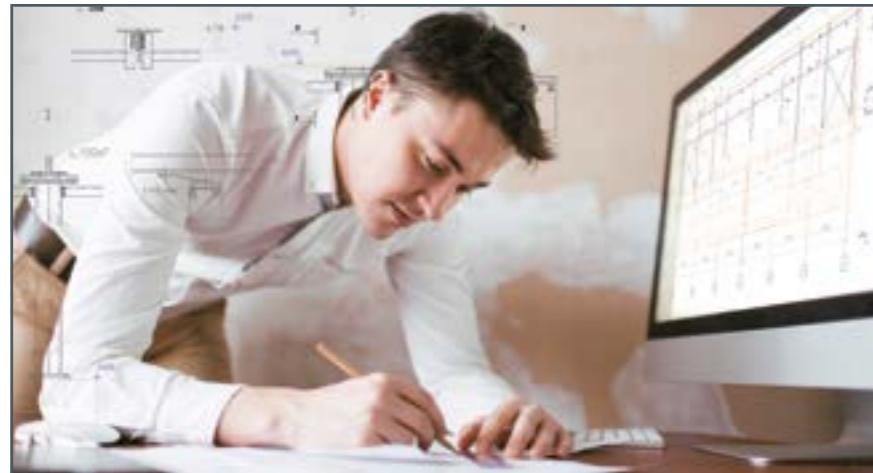
# Conception mécanique

	<b>Introduction</b>	
	<b>Aperçu</b> Conception mécanique	254
	<b>Dessin industriel</b>	
	<b>Aperçu</b> Dessin industriel et modèles en coupe	256
	<b>TZ 100</b> Dessin industriel: représentation en trois vues	258
	<b>TZ 200.61</b> Dessin industriel: composants à symétrie de rotation	260
	<b>TZ 200.02</b> Dessin industriel: pièce en fonte	262
	<b>TZ 200.08</b> Dessin industriel: cliquet	263
	<b>TZ 300</b> Montage d'une presse à bras	264
	<b>TZ 200.11</b> Montage d'un dispositif de pliage	266
<b>TZ 200.71</b> Montage d'une cisaille à levier	268	
<b>Modèles en coupe</b>		
<b>GL 300.01</b> Modèle en coupe: engrenage à vis sans fin	270	
<b>GL 300.02</b> Modèle en coupe: engrenage à roues coniques	271	
<b>GL 300.03</b> Modèle en coupe: engrenage droit	271	
<b>GL 300.04</b> Modèle en coupe: engrenage droit biétage	271	
<b>GL 300.05</b> Modèle en coupe: engrenage planétaire	271	
<b>GL 300.06</b> Modèle en coupe: mécanisme de réglage à courroie trapézoïdale	271	
<b>GL 300.07</b> Modèle en coupe: commande à réglage mécanique	271	
<b>GL 300.08</b> Modèle en coupe: embrayage à disques multiples	271	
<b>GL 300.12</b> Modèle en coupe: palier à chapeau	271	
<b>Éléments de machine – raccords</b>		
<b>Aperçu</b> Éléments de machine	272	
<b>MG 901</b> Kit de vis et écrous	274	
<b>MG 903</b> Kit de freins de vis	275	
<b>MG 905</b> Kit de filets	276	
<b>TM 320</b> Contrôle d'assemblages par vis	277	
<b>TM 310</b> Contrôle de filetage	278	
<b>Éléments de machine – paliers</b>		
<b>MG 911</b> Kit de paliers à roulement	279	
<b>Éléments de machine – éléments de transmission</b>		
<b>GL 100</b> Principe des engrenages	280	
<b>GL 110</b> Commande à came	281	
<b>TM 123</b> Engrenage droit	282	
<b>TM 124</b> Engrenage à vis sans fin	283	
<b>TM 125</b> Treibil	284	
<b>TM 220</b> Entraînement par courroie et frottement de courroie	286	
<b>GL 410</b> Montage d'entraînements simples	288	
<b>GL 420</b> Montage d'entraînements combinés	290	
<b>GL 430</b> Montage de boîtes de vitesses	292	
<b>GL 200</b> Engrenage d'un tour	294	
<b>AT 200</b> Détermination du rendement des engrenages	296	
<b>Exercices de montage</b>		
<b>Aperçu</b> Exercices de montage	298	
<b>MT 170</b> Montage d'un arbre avec paliers lisses	300	
<b>MT 171</b> Montage d'un palier lisse hydrodynamique	302	
<b>MT 152</b> Montage d'un engrenage droit	304	
<b>MT 110.02</b> Montage d'un engrenage droit et à vis sans fin	306	
<b>MT 172</b> Alignement d'entraînements, d'arbres et d'engrenages	308	
<b>MT 190</b> Montage: machine d'essais de matériaux	310	
<b>MT 190.01</b> Montage: acquisition de données pour essais de matériaux	312	

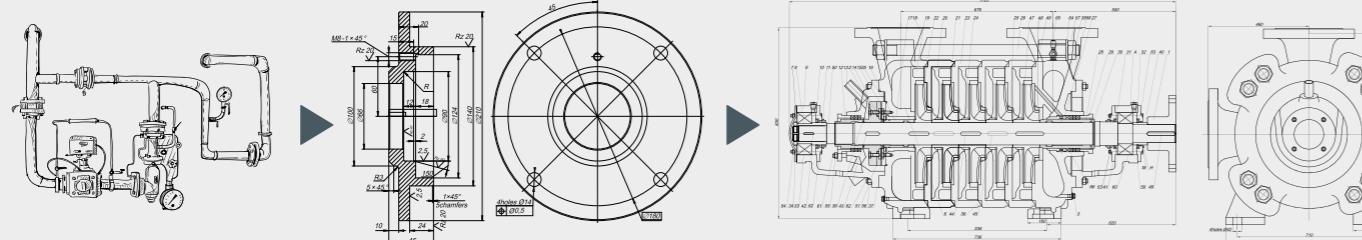
# Conception mécanique

La construction consiste à décrire de manière exhaustive des produits techniques de manière à permettre leur fabrication. Cela inclut les réflexions et concepts avec croquis et calculs, les premières ébauches, mais aussi les listes de pièces et les dessins avec indications de matériaux, de procédures d'usinage, de dimensions et de tolérances. Les principes de base applicables à la construction sont enseignés dans le cours de conception mécanique. Dans la formation technique, la conception mécanique est un champ d'apprentissage essentiel et complexe.

Un cheminement approfondi à travers les thématiques de base que sont la statique, la résistance des matériaux et la dynamique, les éléments de machine, l'essai des matériaux ainsi que la géométrie descriptive et le dessin industriel, permet de préparer les étudiants durant leurs études ou leur apprentissage de manière optimale à leur futur métier.



De l'idée d'un produit jusqu'à sa représentation sous la forme d'un dessin industriel conforme en vue de la production



Idée sous forme de croquis

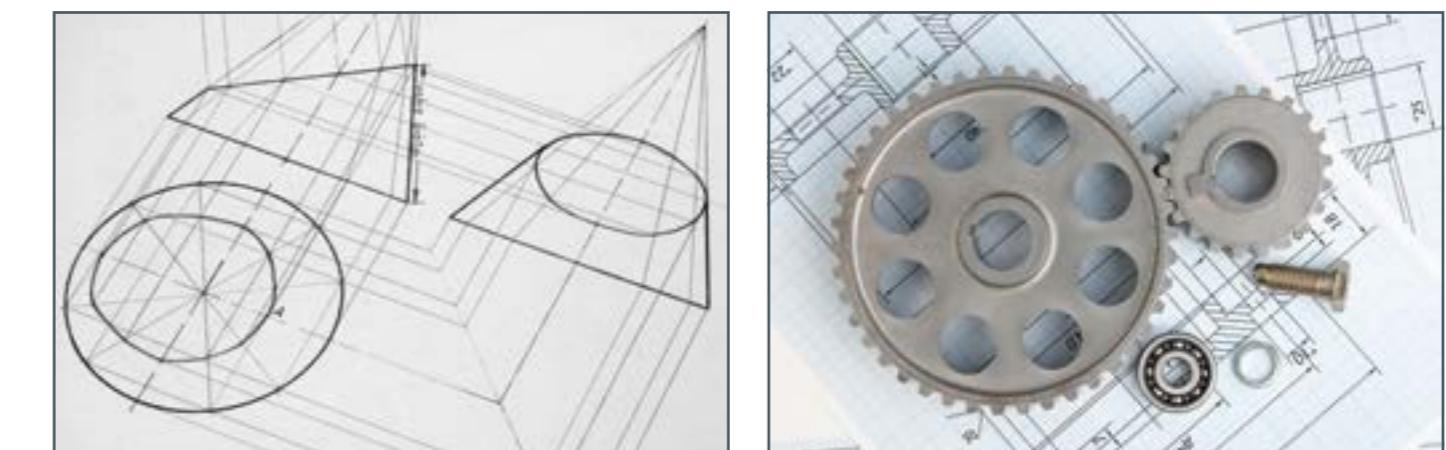
Dessin des différentes pièces

Dessin global

## Procédure de construction

Étape de travail	Activité	Résultat du travail
Réflexion	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ description de la problématique</li> <li>■ collecte d'informations</li> <li>■ élaboration de la liste des exigences</li> </ul>	Cahier des charges
Conception	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ conceptualisation et formulation du problème</li> <li>■ description du fonctionnement</li> <li>■ recherche de principes de solutions</li> <li>■ étude des différentes solutions</li> <li>■ détermination d'une solution de principe</li> </ul>	Schéma de câblage, organigramme, croquis à la main ou dessin à échelle approximative
Ébauche	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ tracé de l'ébauche dans ses grandes lignes</li> <li>■ réalisation de calculs</li> <li>■ conception de la géométrie basée sur la solution de principe</li> <li>■ sélection des matériaux</li> <li>■ sélection des éléments de machine, des pièces normalisées et des pièces de fabricants tiers requis pour le fonctionnement</li> <li>■ création du dessin de l'ébauche avec les données concernant les composants et éléments de machine, puis calcul de la résistance</li> <li>■ définition des modules</li> </ul>	Calculs, dessin de l'ébauche
Réalisation	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ création des dessins des différentes pièces</li> <li>■ élaboration des listes de pièces</li> <li>■ audit des possibilités de fabrication et des coûts définitifs</li> <li>■ détermination des consignes de fabrication et de montage</li> <li>■ rédaction de la notice d'utilisation et de la documentation</li> </ul>	Dessins industriels, listes de pièces, notices de montage

## Formation en conception mécanique



Au début de la formation, l'enseignement est centré sur les principes de base de la conception mécanique: géométrie descriptive, dessin industriel et normalisation. Les éléments de machine tels que vis, arbres, paliers ou roues dentées sont ensuite traités, l'objectif étant d'assimiler les fonctions et le rôle de ces composants. Ces connaissances sont alors suffisantes pour pouvoir résoudre des exercices de conception mécanique.

# Dessin industriel et modèles en coupe



Les dessins industriels donnent une représentation très abstraite des composants ou appareils, avec des indications très précises. Des éléments géométriques et graphiques, tels que lignes et symboles, ainsi que des signes alphanumériques tels que chiffres et lettres, sont utilisés pour aider à décrire un objet tridimensionnel dans deux dimensions.

Savoir lire et comprendre les dessins industriels est essentiel dans l'acquisition des compétences professionnelles, quelle que soit la spécialité technique étudiée.

## Cours de dessin industriel

Le cours de dessin industriel est constitué de deux modules. Le premier module est le développement de la représentation spatiale avec des modèles géométriques. Le second module propose une mise en application des règles et normes de la communication technique avec une sélection de composants, modèles en coupe et exercices de montage, qui aident à comprendre les fonctions et le montage. L'un des principaux objectifs didac-

tiques de ce cours est de représenter des cas d'application concrets, et d'utiliser des pièces à usiner réelles et des pièces normalisées. Ainsi, il s'agit de développer les aptitudes dans le domaine de la communication technique. Les exercices de dessin à proprement parler sont ensuite réalisés en s'appuyant sur des technologies très étendues.

### Jeux de modèles pour le développement de la représentation spatiale



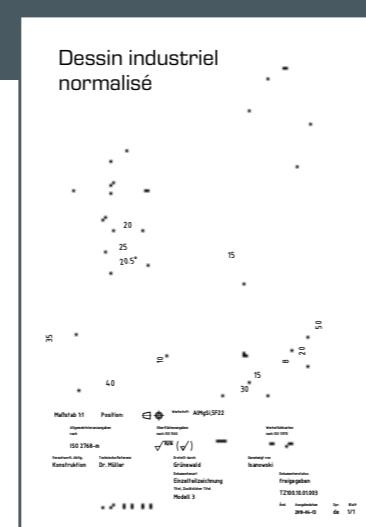
La représentation d'un corps et le pliage, ou la modification, de la direction du projet sont des exercices difficiles pour les étudiants. Cela requiert des facultés d'abstraction et de représentation spatiale très développées. Mais ces facultés peuvent être développées par le biais d'exercices adéquats. Les modèles géo-

métriques de GUNT ont été conçus pour l'enseignement de la représentation spatiale. Ces facultés sont indispensables pour être en mesure d'élaborer des dessins en 3D et d'interpréter, c'est-à-dire lire les dessins et esquisses.

### Composants et exercices de montage pour l'enseignement des règles et normes en communication technique

L'élaboration du dessin industriel, à la main ou assistée par ordinateur, suit des règles strictes ou normes de dessin qui éliminent toute ambiguïté. Les normes de dessin NF (normes françaises) s'appuient sur les normes et recommandations de l'organisation internationale de normalisation ISO, et sont donc valables à l'international. Les normes de dessin officielles appelées DIN, ISO ou EN ISO incluent notamment :

- la désignation et l'utilisation systématique de types de lignes, hachures et couleurs, ainsi que la représentation de vues et coupes
- la représentation isométrique et dimétrique, la représentation simplifiée
- l'indication des mesures, l'identification des tolérances
- les formats des feuilles de dessin, champs de texte, police normalisée
- les ajustements, termes de base des tolérances et ajustements
- les caractéristiques de surface

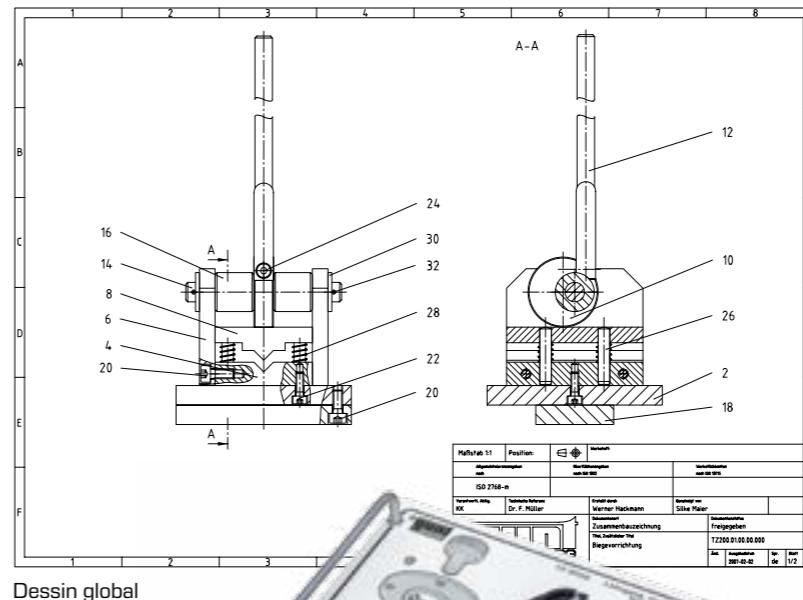


### Modèles en coupe et exercices de montage pour la démonstration des fonctions

Les exercices de montage permettent de faire le lien entre la communication technique et les procédés techniques correspondants, comme le montage et la production. De cette manière, les contenus didactiques, à la fois théoriques et pratiques, aident à développer l'aptitude à lire et comprendre les dessins, graphiques et schémas.

La compréhension réelle passe par la pratique, et donc par l'élaboration de ses propres dessins.

Les animations techniques, comme les modèles en coupe, sont remarquables pour la représentation des processus et des fonctions. Pour ces modèles en coupe, GUNT utilise des composants actuels originaux. Les fonctions de mouvement et de commutation sont préservées.



Dessin global



Presse à bras entièrement montée



# TZ 100

## Dessin industriel: représentation en trois vues



### Description

- cours GUNT: dessin industriel
- jeu de modèles pour le développement de la représentation spatiale
- principes de base de la représentation dans trois perspectives

Afin de pouvoir décrire de manière satisfaisante un corps en 3D et disposer ainsi des données assurant sa reconstruction exacte et la reproductibilité de sa production, on a en règle générale besoin de plusieurs vues de ce corps. À cet effet, le corps est représenté en trois vues, la vue avant, la vue de côté, et la vue de dessus ou de dessous. La représentation suit des règles bien définies par des normes. Même lorsqu'il s'agit d'un corps simple, la représentation en trois vues requiert, de la part des étudiants et apprentis, de grandes facultés d'abstraction et de représentation spatiale. Cette faculté est indispensable pour être en mesure d'élaborer mais aussi d'interpréter les dessins ou croquis industriels; elle est enseignée à l'aide de modèles géométriques.

Le jeu de modèles TZ 100 représente un concept didactique d'introduction au domaine de la "Géométrie descriptive". Un coin de local, composé des trois vues en plexiglas, accueille les modèles. La vue correspondante est placée dans

### Contenu didactique/essais

- introduction à la représentation en trois vues comme base du dessin industriel
- développement pas à pas de la pensée spatiale: de la situation concrète à la représentation abstraite dans un dessin industriel
- exercices de mesure

chaque perspective du coin, ce qui permet de comparer directement le modèle [pièce à usiner] et le dessin.

La liste de livraison comprend dix modèles au total, chacun présentant un degré de difficulté différent. L'un des modèles est en plexiglas afin de favoriser la compréhension concernant les arêtes invisibles. Les autres modèles sont en aluminium.

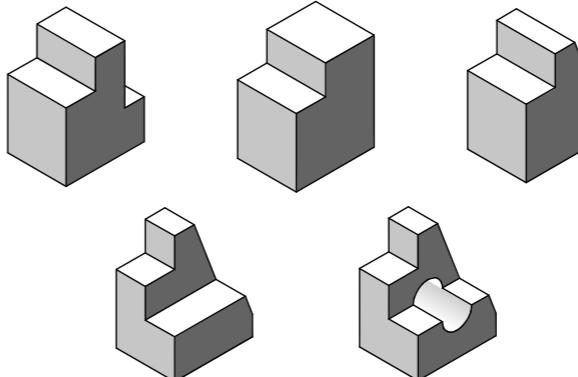
Les modèles sont usinés avec précision, ce qui permet de réaliser également des exercices de mesure. Toutes les pièces sont disposées de manière claire, et protégées dans un système de rangement.

Dans l'idéal, il est souhaitable que les exercices soient réalisés de manière autonome par les élèves. Ils peuvent travailler par équipes de deux avec un jeu de modèles.

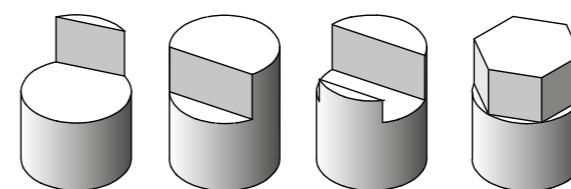
Un jeu complet de dessins est inclus dans la documentation didactique. Il comprend, pour chaque modèle, la représentation dans trois perspectives, la représentation en 3D ainsi que le dessin de production.



Coin composé de trois vues en plexiglas, avec dessin inséré et un modèle prismatique



Modèles prismatiques



Modèles cylindriques

### Spécification

- [1] jeu de modèles du domaine de la "géométrie descriptive" pour le développement de la représentation spatiale
- [2] introduction au dessin industriel
- [3] l'usinage précis des modèles permet la réalisation d'exercices de mesure
- [4] coin composé de trois vues en plexiglas
- [5] 9 modèles géométriques en aluminium, de formes cylindriques et prismatiques
- [6] 1 modèle en plexiglas
- [7] système de rangement pour les pièces

### Caractéristiques techniques

- 5 modèles prismatiques  
■ LxLxH: 40x30x50mm

- 4 modèles cylindriques  
■ DxH: 40x50mm

- 1 modèle transparent  
■ LxLxH: 40x30x50mm

- 3 surfaces en plexiglas  
■ LxLxH: 100x100x100mm

- LxLxH: 335x240x71mm (système de rangement)  
Poids: env. 3kg

### Liste de livraison

- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 jeu de 10 modèles géométriques
- 3 surfaces en plexiglas pour la construction d'un coin
- 1 tige de support pour la fixation des modèles
- 1 perforatrice
- 1 documentation didactique, jeu complet de dessins inclus

## TZ 200.61

### Dessin industriel: composants à symétrie de rotation



#### Description

- cours GUNT: dessin industriel
- partie sur le dispositif de perçage et de la pièce à usiner
- introduction aux vues en coupe

Etre en mesure de lire et comprendre des dessins industriels complexes est essentiel. Cette aptitude est au moins aussi importante que celle de savoir dessiner par soi-même; c'est pourquoi le cours de GUNT s'attache à la développer. Les cas d'application concrets, ainsi que l'utilisation de pièces à usiner réelles et de pièces normalisées, visent à développer l'aptitude à la communication technique. Les exercices de dessin à proprement parler sont ensuite réalisés en s'appuyant sur des technologies très étendues.

TZ 200.61 offre une introduction à la représentation graphique de composants à symétrie de rotation et à la représentation de coupes. L'élément principal est un dispositif de perçage permettant de percer une pièce à usiner, ici un chapeau de palier.

#### Contenu didactique/essais

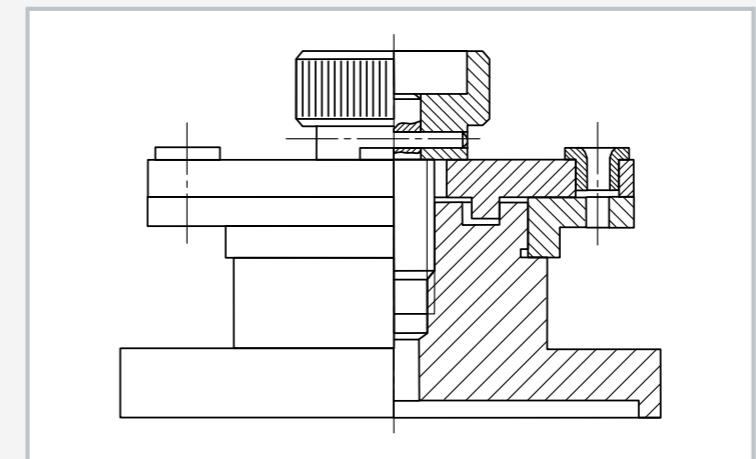
- introduction à la représentation graphique de composants à symétrie de rotation
- familiarisation avec les vues en coupe: coupe pleine et demi-coupe
- cotation de pièces tournées et filets
- aspects concernant la technique de fabrication
  - dispositifs auxiliaires de perçage et de meulage
  - usinage complet sur machines-outils modernes
  - tolérances, ajustements, données sur les surfaces
- classement de la pièce (chapeau de palier) dans un contexte technologique plus large

Un quart du corps de base du dispositif de perçage a été découpé. Cela permet de mettre en évidence les notions de "coupe" et "demi-coupe". Le quart découpé est également présent sur la plaque de base, de sorte que le thème difficile des vues en coupe peut être enseigné de manière intuitive.

Toutes les pièces sont disposées de manière claire sur une plaque de base. Une vue éclatée imprimée sur la plaque de base permet d'avoir une vue de l'ensemble.

Les pièces de fabrication ont été usinées avec précision, et sont donc aussi adaptées aux exercices de mesure.

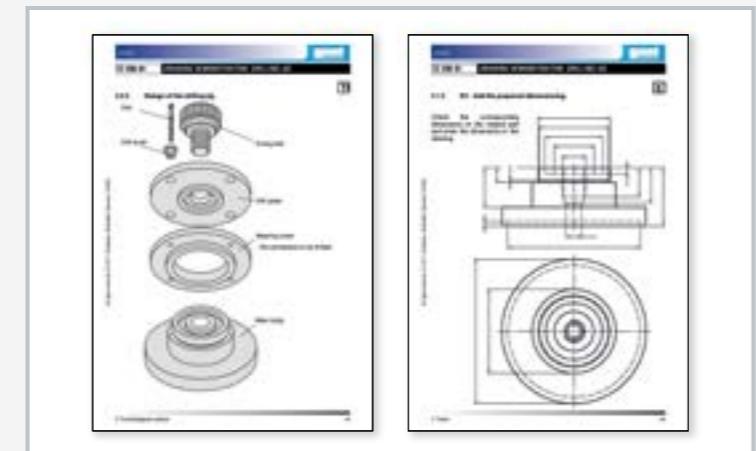
Une utilisation en cours sous la forme d'exercices est recommandée. Il est judicieux de disposer d'un jeu de modèles pour deux à trois élèves.



Vue en coupe du dispositif de perçage avec la pièce à usiner à percer (chapeau de palier)



Dispositif de perçage monté avec pièce à usiner: 1 vis de fixation, 2 plaque de perçage, 3 canon de perçage, 4 pièce à usiner (chapeau de palier), 5 corps de base



Documentation didactique

#### Spécification

- [1] cours GUNT sur le dessin industriel
- [2] exemple de composants à symétrie de rotation: dispositif de perçage pratique pour l'usinage d'une pièce à usiner (chapeau de palier)
- [3] corps de base du dispositif de perçage préparé comme demi-coupe
- [4] toutes les pièces du dispositif de perçage sont fabriquées en aluminium avec précision
- [5] chapeau de palier comme pièce à usiner en PVC
- [6] plaque de base avec vue éclatée imprimée
- [7] systèmes de rangement pour les pièces
- [8] la documentation didactique prend en considération les approches pédagogiques privilégiant la pratique et l'interdisciplinarité

#### Caractéristiques techniques

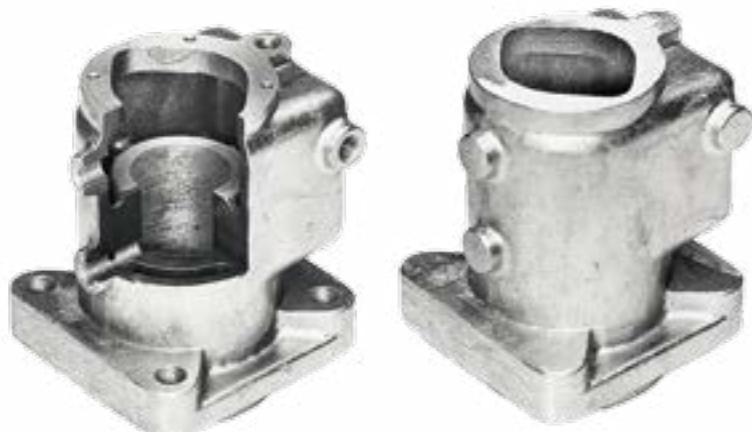
LxLxH: 420x300x75mm (système de rangement)  
Poids: env. 2kg

#### Liste de livraison

- 1 plaque de base avec les différentes pièces du dispositif de perçage
- 1 pièce à usiner (chapeau de palier)
- 1 jeu de pièces standards (canon de perçage, goupille cylindrique, joint torique)
- 1 documentation didactique

## TZ 200.02

Dessin industriel: pièce en fonte



Pièce moulée usinée mécaniquement (à gauche) et brute de coulée (à droite)

### Description

- cours GUNT: dessin industriel
- de la pièce moulée brute de coulée à la pièce de machine usinée

Un logement de palier en aluminium moulé en sable est utilisé comme exemple pour traiter de manière détaillée, et proche de la pratique, le thème des pièces moulées. Le TZ 200.02 comprend une pièce moulée brute de coulée, produite et nettoyée dans une fonderie, et une pièce finie du même logement de palier, qui a été usinée mécaniquement après le moulage.

La pièce de machine étudiée a été en outre préparée comme modèle en coupe. Ces deux composants permettent d'expliquer le processus depuis le façonnage brut jusqu'à l'usinage par enlèvement de copeaux. Les conditions d'apprentissage sont optimales lorsque l'on dispose d'un jeu de modèles pour deux à trois élèves.

### Caractéristiques techniques

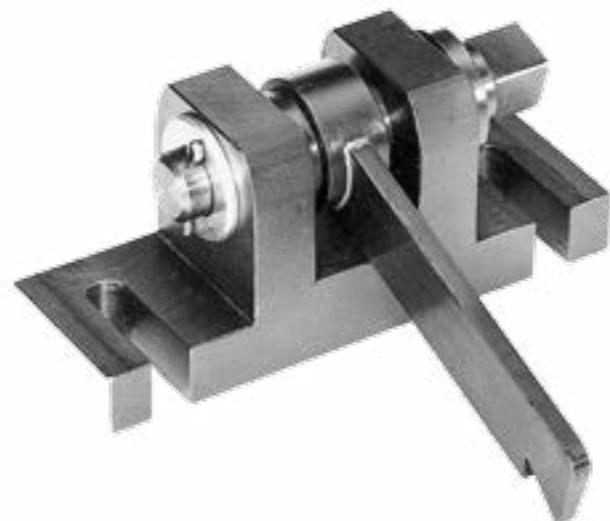
LxLxH: 100x100x125mm (par modèle)  
Poids: env. 3kg

### Liste de livraison

- 2 modèles
- 1 documentation didactique

## TZ 200.08

Dessin industriel: cliquet



### Description

- cours GUNT: dessin industriel
- jeu de dessins complet conforme en vue de la production

Le modèle de cliquet fait partie du cours de GUNT d'introduction au dessin industriel. Partant d'un composant concret, l'approche pédagogique consiste à travailler de manière systématique sur des contenus didactiques transférables.

Les pièces de fabrication ont été usinées avec précision, et sont donc aussi adaptées aux exercices de mesure. Les surfaces des pièces de fabrication ont subi un brunissage, afin de prévenir tout phénomène de corrosion.

Une utilisation en cours sous la forme d'exercices est recommandée. Il est judicieux de disposer d'un jeu de modèles pour deux à trois élèves.

### Contenu didactique/essais

- dessin industriel
  - ▶ dessins de pièces moulées et leurs particularités: surépaisseurs pour l'usinage, dépouilles de démolage, retraits, représentations en coupe
  - ▶ de la pièce moulée à la pièce finie: cotation pour la fabrication et conformité à la norme, en vue de l'usinage mécanique subséquent
- technologie
  - ▶ production de pièces moulées en sable, procédés de fabrication
  - ▶ sélection d'outils et de machines, exercices de mesure des longueurs
  - ▶ éléments de machine et leurs fonctions

### Spécification

- [1] composant du cours de GUNT sur le dessin industriel
- [2] représentations par le dessin: de la pièce moulée brute de coulée à la pièce de machine usinée finie
- [3] 2 modèles qui mettent en évidence l'évolution lors du processus de fabrication: 1 pièce moulée brute de coulée, 1 modèle en coupe
- [4] la documentation didactique prend en considération les approches pédagogiques privilégiant la pratique et l'interdisciplinarité

### Caractéristiques techniques

### Contenu didactique/essais

- lecture et compréhension des dessins industriels et des listes de pièces
- représentation normalisée pour la fabrication de pièces détachées: cotation, indications de surfaces et de tolérances
- aspects technologiques: sélection de matériaux, fonctions, procédés de fabrication, planification du travail et bien d'autres encore

### Spécification

- [1] partie du cours de GUNT sur le dessin industriel
- [2] modèle fonctionnel de cliquet fidèle à la pratique
- [3] toutes les pièces de fabrication sont en acier et usinées avec précision, leur surface est brune
- [4] la documentation didactique prend en considération les approches pédagogiques privilégiant la pratique et l'interdisciplinarité

### Caractéristiques techniques

LxLxH: 130x100x60mm  
Poids: env. 1kg

### Liste de livraison

- 1 cliquet
- 1 documentation didactique

## TZ 300

### Montage d'une presse à bras



#### Description

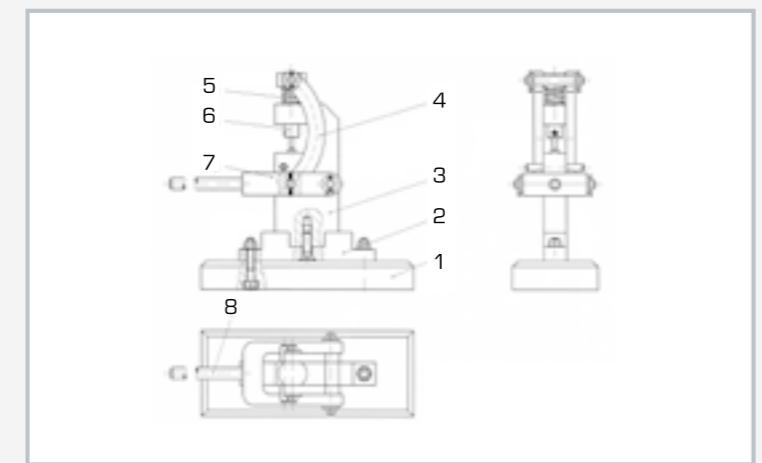
- **cours GUNT: dessin industriel**
- **presse à bras sous forme de kit d'assemblage**
- **exercice pour cours interdisciplinaire**

Dans le domaine technique, le dessin est le moyen de communication et d'information le plus important. Être capable de lire et comprendre les dessins, graphiques et schémas, est essentiel dans l'acquisition des compétences professionnelles, quelle que soit la spécialité technique étudiée. Faire le lien entre la communication technique et les procédés techniques correspondants comme la structure du montage, les plans de travail et la production, est également important.

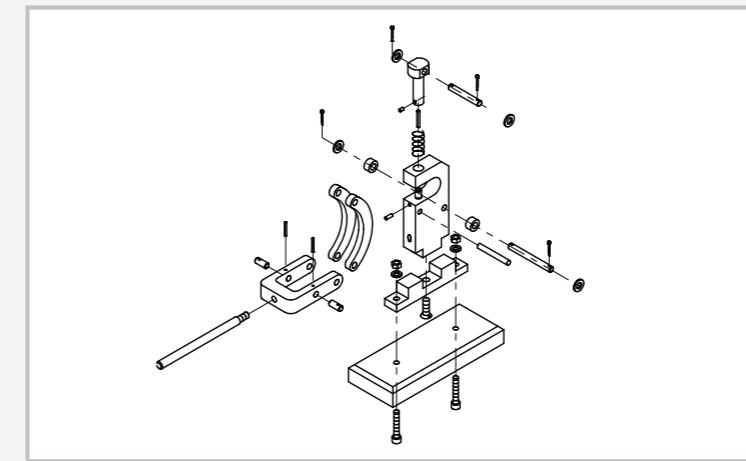
Le kit d'assemblage TZ 300 est un projet interdisciplinaire orienté sur la pratique. En plus du champ d'apprentissage premier "Dessin industriel", il est possible de traiter les thématiques des éléments de machine, du processus de montage et en particulier de la technique de fabrication.

#### Contenu didactique/essais

- introduction au dessin industriel
  - ▶ lecture et compréhension des dessins industriels
  - ▶ représentation en trois vues
  - ▶ représentation en coupe
  - ▶ types de dessins
  - ▶ représentation en 3D
  - ▶ listes de pièces
  - ▶ cotation
  - ▶ indications de surfaces et de tolérances
  - ▶ distinction entre pièces normalisées et pièces de fabrication
  - ▶ indications de matériaux
- planification et exécution d'opérations de montage simples
  - ▶ planification et description des processus
  - ▶ évaluation des résultats
- exercices de mesure
  - ▶ mesures de longueurs
  - ▶ mesures d'angles
- procédés de fabrication
  - ▶ exemples de travaux de fabrication manuelle et de production sur des machines-outils



1 plaque, 2 socle, 3 montant, 4 partie coudeée, 5 ressort de compression, 6 boulon de pression, 7 fourche, 8 poignée



Vue éclatée de la presse à bras



Groupes fonctionnels de la presse à bras: fourche, boulon de pression, corps de base

#### Spécification

- [1] partie du cours de GUNT sur le dessin industriel
- [2] kit d'assemblage d'une presse à bras fonctionnelle
- [3] toutes les pièces de fabrication de la presse à bras sont en acier et usinées avec précision, leur surface est brunité
- [4] système de rangement pour les pièces
- [5] systèmes de rangement empilables les uns sur les autres
- [6] la documentation didactique prend en considération les approches pédagogiques privilégiant la pratique et l'interdisciplinarité

#### Caractéristiques techniques

LxLxH: 420x300x70mm (système de rangement)

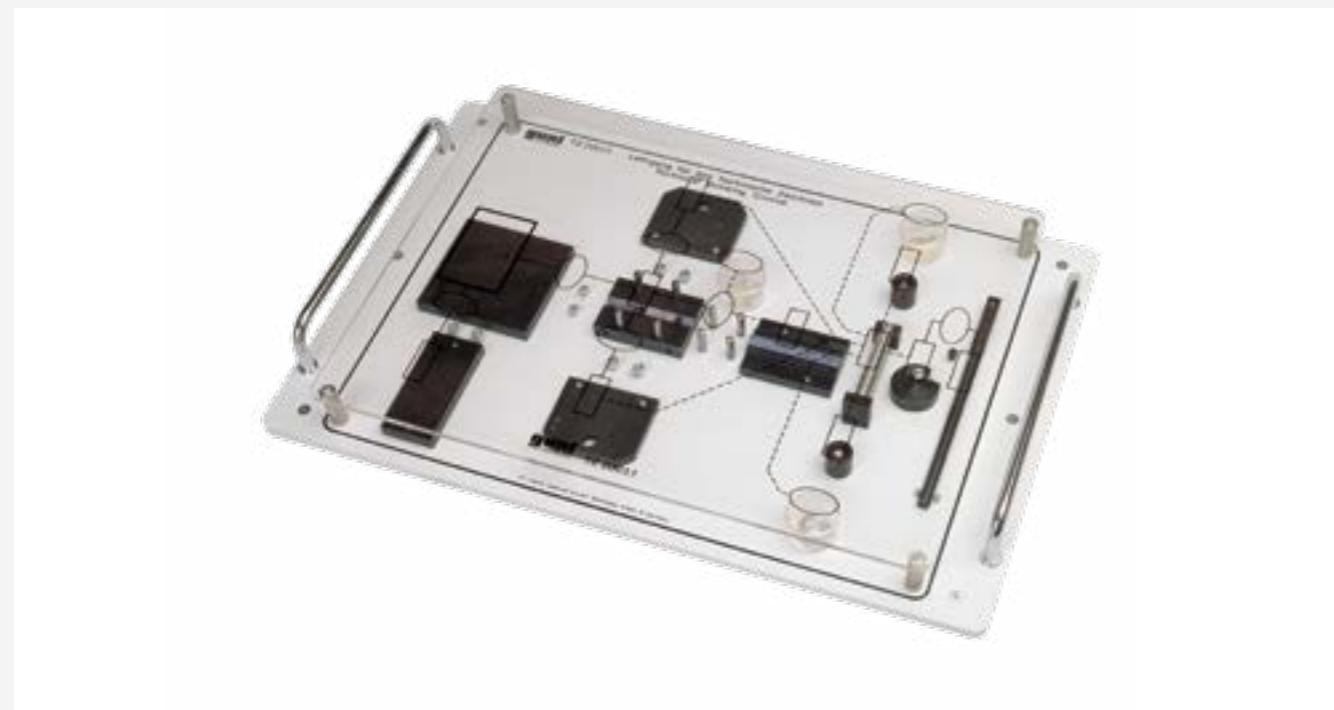
Poids: env. 3kg

#### Liste de livraison

- 1 système de rangement avec les différentes pièces de la presse à bras
- 1 jeu d'outils pour le montage et le démontage
- 1 jeu de petites pièces
- 1 documentation didactique

## TZ 200.11

### Montage d'un dispositif de pliage



#### Description

- **cours GUNT: dessin industriel**
- **dispositif de pliage sous forme de kit d'assemblage**
- **exercice pour cours interdisciplinaire**

Dans le domaine technique, le dessin est le moyen de communication et d'information le plus important. Être capable de lire et comprendre les dessins, graphiques et schémas, est essentiel dans l'acquisition des compétences professionnelles, quelle que soit la spécialité technique étudiée. Faire le lien entre la communication technique et les procédés techniques correspondants comme la structure du montage, les plans de travail et la production, est également important.

Le kit d'assemblage TZ 200.11 est un projet interdisciplinaire orienté sur la pratique. En plus du champ d'apprentissage premier "Dessin industriel", il est possible de traiter les thématiques de planification et d'exécution du montage, et de réaliser des exercices de mesure. Le kit d'assemblage comprend toutes les pièces permettant de monter un dispositif de pliage fonctionnel.

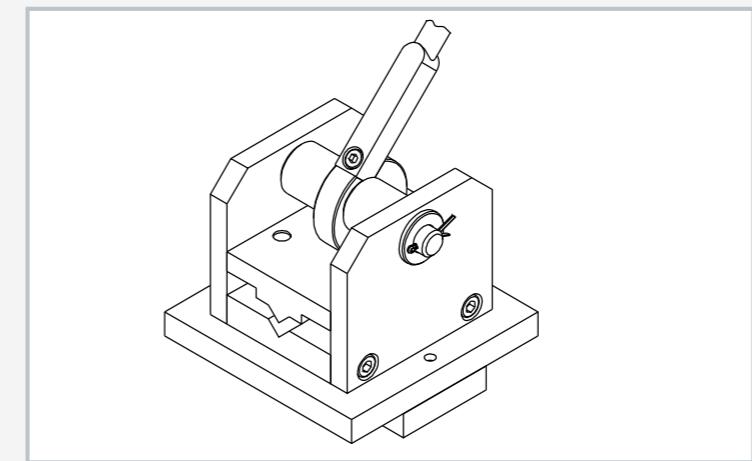
Les pièces sont groupées sur la plaque de base, de manière à montrer clairement les différentes séquences de montage. Au-dessus de la plaque de base, se trouve une plaque de couverture transparente avec la représentation graphique de la structure de montage. Sur le graphique, les pièces normalisées et les pièces de fabrication sont symbolisées, et l'on distingue clairement les assemblages fixes des assemblages mobiles. Toutes les pièces et les dessins correspondants respectent les normes et critères en vigueur dans la pratique.

Les pièces de fabrication ont été usinées avec précision à partir de matériaux originaux, et avec les tolérances et surfaces usuelles en génie mécanique. Les surfaces des pièces de fabrication ont subi un brunissage afin de prévenir tout phénomène de corrosion. Toutes les pièces sont disposées de manière claire, et protégées dans un système de rangement. Les systèmes de rangement sont empilables, ce qui permet de gagner de la place.

Dans l'idéal, un kit d'assemblage peut être utilisé pour la réalisation d'exercices pratiques en cours par groupes de deux à trois élèves.

#### Contenu didactique/essais

- introduction au dessin industriel
  - ▶ lecture et compréhension des dessins industriels
  - ▶ représentation en trois vues
  - ▶ représentation en coupe
  - ▶ types de dessins
  - ▶ représentation en 3D
  - ▶ listes de pièces
  - ▶ cotation
  - ▶ indications de surfaces et de tolérances
  - ▶ distinction entre pièces normalisées et pièces de fabrication
  - ▶ indications de matériaux
- planification et exécution d'opérations de montage simples
  - ▶ planification et description des processus
  - ▶ évaluation des résultats
- exercices de mesure
  - ▶ mesures de longueurs
  - ▶ mesures d'angles



Représentation en 3D du dispositif de pliage monté

#### Spécification

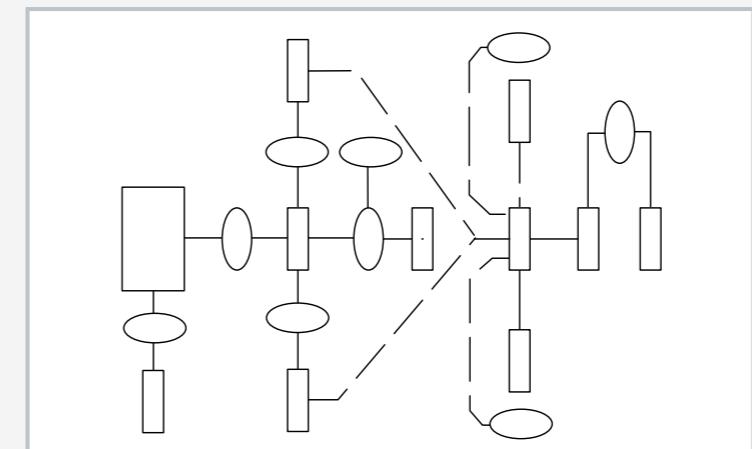
- [1] partie du cours de GUNT sur le dessin industriel
- [2] kit d'assemblage d'un dispositif de pliage fonctionnel avec actionnement par excentrique
- [3] toutes les pièces de fabrication sont en acier et usinées avec précision, leur surface est brune
- [4] structure de montage sur plaque de couverture transparente
- [5] système de rangement pour les pièces
- [6] systèmes de rangement empilables les uns sur les autres
- [7] la documentation didactique prend en considération les approches pédagogiques privilégiant la pratique et l'interdisciplinarité

#### Caractéristiques techniques

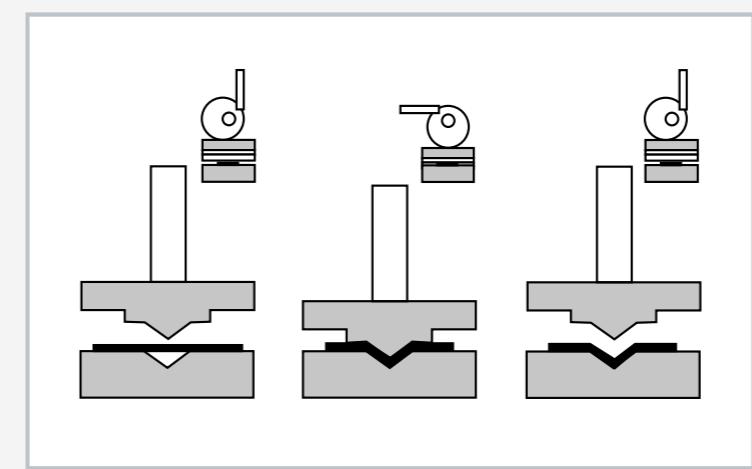
LxLxH: 540x350x75mm (système de rangement)  
Poids: env. 6kg

#### Liste de livraison

- 1 système de rangement avec les différentes pièces du dispositif de pliage
- 1 plaque de couverture avec structure de montage
- 1 jeu d'outils pour le montage et le démontage
- 1 documentation didactique



Représentation graphique de la structure de montage



Opération de pliage

## TZ 200.71

### Montage d'une cisaille à levier



#### Description

- cours GUNT: dessin industriel
- cisaille à levier sous forme de kit d'assemblage
- exercice pour cours interdisciplinaire

Dans le domaine technique, le dessin est le moyen de communication et d'information le plus important. Être capable de lire et comprendre les dessins, graphiques et schémas, est essentiel dans l'acquisition des compétences professionnelles, quelle que soit la spécialité technique étudiée. Faire le lien entre la communication technique et les procédés techniques correspondants comme la structure du montage, les plans de travail et la production, est également important.

Le kit d'assemblage TZ 200.71 est un projet interdisciplinaire orienté sur la pratique. En plus du champ d'apprentissage premier "Dessin industriel", il est possible de traiter les thématiques du processus de montage et en particulier de la technique de fabrication.

Le kit d'assemblage comprend toutes les pièces permettant de monter une cisaille à levier fonctionnelle.

Les pièces sont groupées sur la plaque de base de manière à montrer clairement les différentes séquences de montage. Au-dessus de la plaque de base, se trouve une plaque de couverture transparente avec la représentation graphique de la structure de montage. Sur le graphique, les pièces normalisées et les pièces de fabrication sont symbolisées, et l'on distingue clairement les assemblages fixes des assemblages mobiles. Toutes les pièces et les dessins correspondants respectent les normes et critères en vigueur dans la pratique.

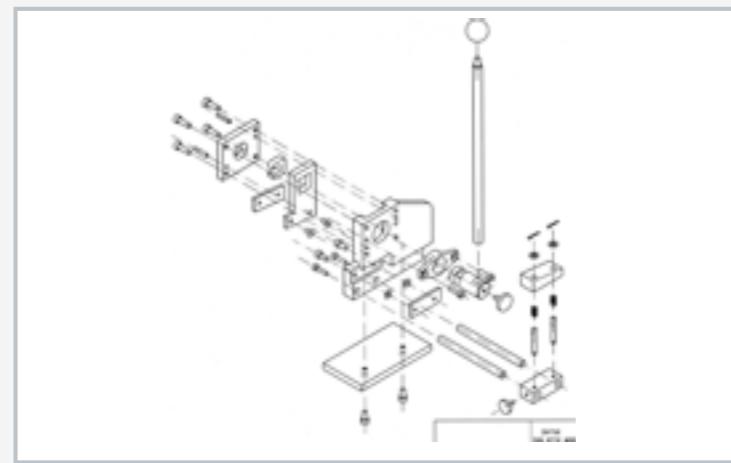
Les pièces de fabrication ont été usinées avec précision à partir de matériaux originaux et avec les tolérances et surfaces usuelles en génie mécanique. Les surfaces des pièces de fabrication ont subi un brunissage afin de prévenir tout phénomène de corrosion.

Toutes les pièces sont disposées de manière claire, et protégées dans un système de rangement. Les systèmes de rangement sont empilables, ce qui permet de gagner de la place.

Dans l'idéal, un kit d'assemblage peut être utilisé pour la réalisation d'exercices pratiques en cours par groupes de deux à trois élèves.

#### Contenu didactique/essais

- introduction au dessin industriel
  - ▶ lecture et compréhension des dessins industriels
  - ▶ représentation en trois vues
  - ▶ représentation en coupe
  - ▶ types de dessins
  - ▶ représentation en 3D
  - ▶ listes de pièces
  - ▶ cotation
  - ▶ indications de surfaces et de tolérances
  - ▶ distinction entre pièces normalisées et pièces de fabrication
  - ▶ indications de matériaux
- planification et exécution d'opérations de montage simples
  - ▶ planification et description des processus
  - ▶ évaluation des résultats
- exercices de mesure
  - ▶ mesures de longueurs
  - ▶ mesures d'angles
- procédés de fabrication
  - ▶ exemples de travaux de fabrication manuelle et de production sur des machines-outils



Vue éclatée de la cisaille à levier

#### Spécification

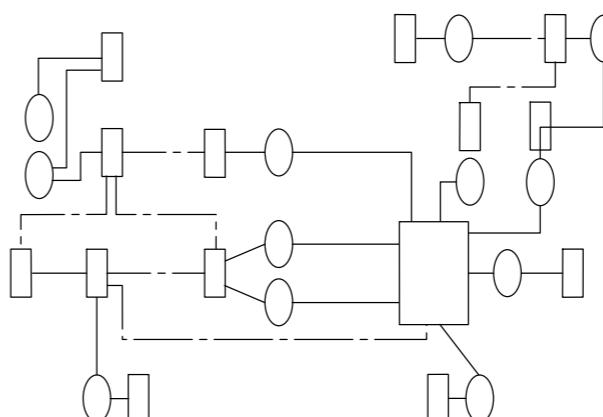
- [1] partie du cours de GUNT sur le dessin industriel
- [2] kit d'assemblage d'une cisaille à levier fonctionnelle
- [3] toutes les pièces de fabrication de la cisaille à levier sont en acier et usinées avec précision, leur surface est brune
- [4] structure de montage sur plaque de couverture transparente
- [5] système de rangement pour les pièces
- [6] systèmes de rangement empilables les uns sur les autres
- [7] la documentation didactique prend en considération les approches pédagogiques privilégiant la pratique et l'interdisciplinarité

#### Caractéristiques techniques

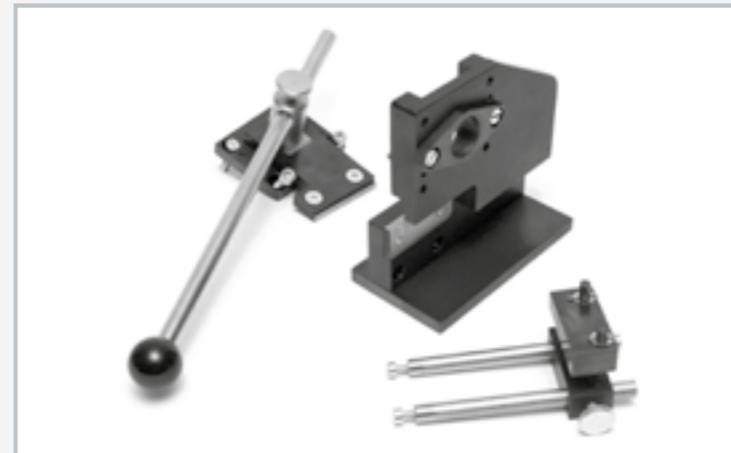
LxLxH: 540x350x70mm (système de rangement)  
Poids: env. 7kg

#### Liste de livraison

- 1 système de rangement avec les différentes pièces de la cisaille à levier
- 1 plaque de couverture avec structure de montage
- 1 jeu d'outils pour le montage et le démontage
- 1 jeu de petites pièces
- 1 documentation didactique



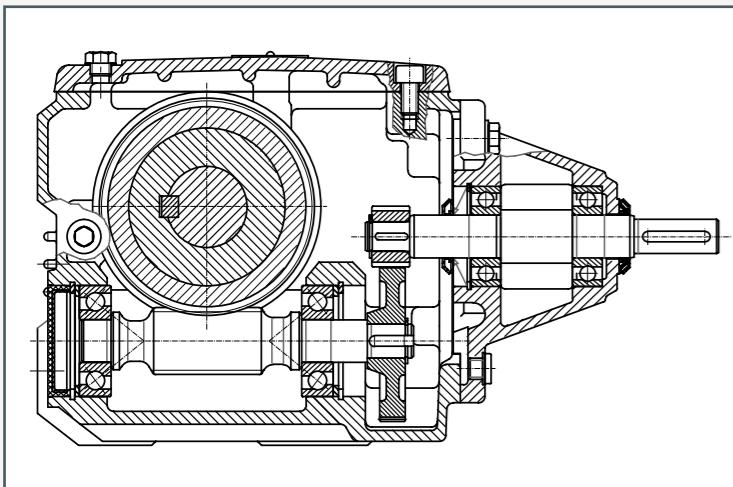
Représentation graphique de la structure de montage



Groupes fonctionnel de la cisaille à levier: corps de cisaille, corps de base, arrêt

## GL 300.01

Modèle en coupe: engrenage à vis sans fin



Les dessins industriels font partie de la documentation didactique.

Système ouvert, utilisé manuellement, comportant différents composants et éléments mécaniques

- aperçu des particularités et modes de fonctionnement des composants
- les fonctions de mouvement restent, malgré les coupes, entièrement conservées
- actionnement par manivelle

Les modèles sont montés sur des socles métalliques solides. Des poignées en forme d'étrier facilitent leur transport. La fourniture comprend les descriptions techniques et les plans en coupe, de telle sorte que le contenu didactique englobe les calculs et les aspects constructifs.

LxLxH: 350 x 300 x 140 mm  
Poids: env. 2,5 kg

## GL 300.02

Modèle en coupe:  
engrenage  
à roues  
coniques



## GL 300.04

Modèle en coupe:  
engrenage droit  
biétege



## GL 300.06

Modèle en coupe:  
mécanisme de  
réglage à  
courroie  
trapézoïdale



## GL 300.08

Modèle en coupe:  
embrayage à  
disques  
multiples



## GL 300.03

Modèle en coupe:  
engrenage  
droit



## GL 300.05

Modèle en coupe:  
engrenage  
planétaire



## GL 300.07

Modèle en coupe:  
commande à  
réglage  
mécanique



## GL 300.12

Modèle en coupe:  
palier à chapeau



# Éléments de machine

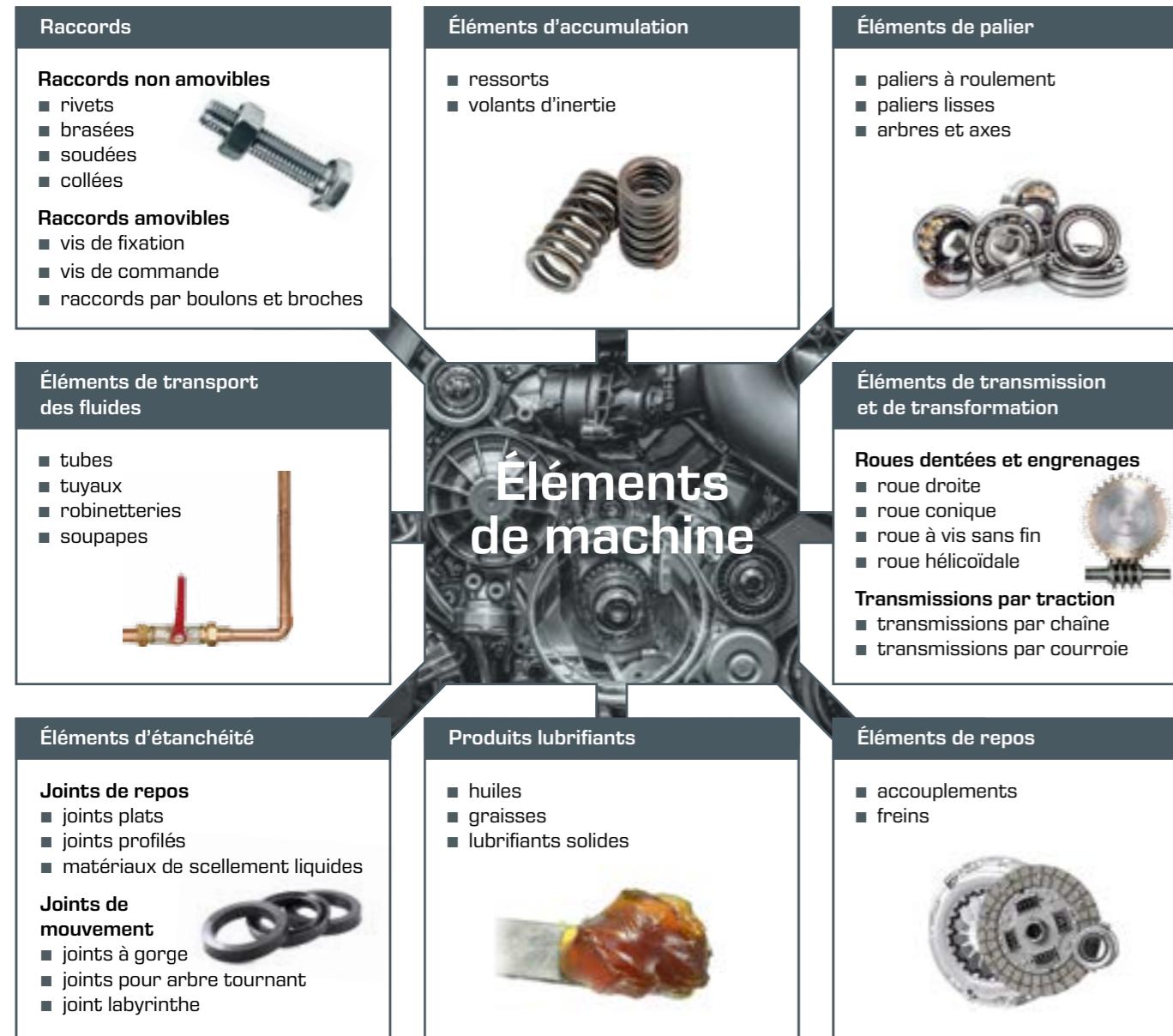
Les composants d'une application technique, qui remplissent une fonction spécifique dans des constructions, sont appelés éléments de machine. Les éléments de machine peuvent être aussi bien des pièces individuelles que des modules:

- pièces individuelles: vis, boulons, roues dentées
- modules composés de plusieurs éléments de machine tels que: accouplements, roulements à billes, engrenages, soupapes

Bien qu'utilisés dans des constructions très différentes les unes des autres, les différents éléments de machine remplissent toujours la même fonction.

## Classification des éléments de machine

Certains éléments de machine peuvent remplir des fonctions différentes. Ainsi, les accouplements sont utilisés comme éléments de fixation et/ou de transmission, et les arbres servent de palier et/ou de transmission.



Les éléments de machine suivants sont présentés dans ce chapitre:

- différents raccords
- différents types d'engrenages
- ainsi que des paliers à roulement.

## Raccords



Lorsque des composants doivent être fixés fermement les uns aux autres, on utilise des raccords. Vis de fixation, rivets et broches sont des éléments discrets qui sont la plupart du temps amovibles et peuvent être réutilisés.

Les vis sont les éléments de machine les plus courants et sont classés selon leur fonction: les **vis de fixation** relient de manière fixe, mais amovible, deux pièces ou plus. Les **vis de commande** transforment les mouvements rotatifs en mouvements longitudinaux, et se déplacent en charge une fois le montage terminé.

## Éléments de palier



Les éléments de palier peuvent supporter et dévier des forces, assurer les mouvements rotatifs des arbres et axes, et permettre le guidage axial des arbres. Selon leur construction, on distingue les **paliers lisses** et les paliers à roulement. Sur le palier lisse, les pièces qui se déplacent les unes contre les autres sont en contact. Ce glissement est en général facilité par un film lubrifiant. Les paliers lisses assurent ainsi une transmission de force optimale sur l'intégralité des surfaces en contact.

Sur les **paliers à roulement**, un mouvement de roulement facilite les mouvements des composants, et réduit le frottement. Sur les corps de roulement, une bague extérieure et une bague intérieure roulent côté à côté sans se toucher. Les cylindres et billes sont des corps de roulement classiques. Pour que les corps de roulement ne se touchent pas, on utilise ce que l'on appelle des cages pour séparer les cylindres ou les billes.

## Éléments de transmission et de transformation



Les éléments de machine complexes avec lesquels on transforme les grandeurs de mouvement que sont la trajectoire, la vitesse et l'accélération, sont appelés éléments de transformation ou engrenages. Sur les engrenages, les **roues dentées**, transmettent mécaniquement le mouvement rotatif d'un arbre

à un autre. Dans une transmission par traction, le couple est transmis entre deux arbres à l'aide d'un mécanisme de traction. On distingue ici les mécanismes de traction mécaniques (**courroie trapézoïdale**) des mécanismes de traction par adhérence (**transmission par chaîne** ou **par courroie dentée**).

## MG 901

### Kit de vis et écrous



#### Description

- ensemble très complet regroupant les principaux écrous et vis utilisés en génie mécanique
- désignations, termes et représentation graphique normalisées

Les vis et écrous sont des éléments de machine normés, et font partie des fixations amovibles. Ces raccords sont utilisés lorsque des éléments de machine doivent être fixés de manière permanente les uns aux autres. On utilise des vis et écrous différents selon le domaine d'application.

Cet ensemble est destiné à l'observation et à l'information. La réalisation d'exercices ou d'essais n'est pas prévue. Les pièces normalisées originales sont visées de manière bien structurée dans une plaque d'aluminium. Les symboles figurant sur la plaque correspondent à la représentation graphique conforme, mais aussi à la désignation DIN et normalisée de la pièce concernée.

L'ensemble est disposé de manière bien ordonnée dans un système de rangement.

#### Contenu didactique/essais

- familiarisation avec les principaux écrous et vis utilisés en génie mécanique et avec leur utilisation spécifique
- familiarisation avec les désignations, les termes et la représentation graphique normalisées

#### Spécification

- [1] ensemble de vis et écrous
- [2] 42 pièces normalisées disposées de façon structurée sur une plaque d'aluminium
- [3] plaque avec sérigraphie
- [4] impression sérigraphique: représentation graphique et désignation DIN
- [5] toutes les pièces sont disposées de façon ordonnée dans un système de rangement
- [6] les systèmes de rangement sont empilables les uns sur les autres

#### Caractéristiques techniques

Plaque d'aluminium, LxL: 350x255mm  
Vis: C4,8, K4,8, M6, M8, M10  
Écrous: M6, M8, M10

LxLxH: 500x350x110mm (système de rangement)  
Poids: env. 3kg

#### Liste de livraison

- 1 ensemble complet ordonné dans un système de rangement
- 1 documentation didactique

## MG 903

### Kit de freins de vis



#### Description

- ensemble très complet de freins de vis
- désignations, termes et domaines d'application normalisés

Les freins de vis servent à éviter que les assemblages par vis et rondelles ne se détachent ou se desserrent sous l'influence de facteurs externes tels que les vibrations ou la corrosion. Élément de machine, le frein est un composant qui est ajouté au moment du serrage de l'assemblage par vis et rondelles.

Cet ensemble est destiné à l'observation et à l'information. La réalisation d'exercices ou d'essais n'est pas prévue. Des freins de vis sont présentés à l'état monté sur une plaque en aluminium. Un magasin transparent contient un grand nombre de freins de vis.

L'ensemble est disposé de manière bien ordonnée dans un système de rangement.

#### Contenu didactique/essais

- familiarisation avec les freins de vis et avec leur utilisation spécifique
- familiarisation avec les désignations, les termes et la représentation graphique normalisées

#### Spécification

- [1] ensemble de freins de vis
- [2] 18 freins de vis montés, disposés de façon structurée sur une plaque d'aluminium
- [3] magasin transparent avec 18 compartiments, contenant chacun 10 exemplaires des différents freins de vis
- [4] toutes les pièces sont disposées de façon ordonnée dans un système de rangement
- [5] les systèmes de rangement sont empilables les uns sur les autres

#### Caractéristiques techniques

Plaque d'aluminium, LxL: 238x100mm  
Freins pour M6

LxLxH: 510x360x120mm (système de rangement)  
Poids: env. 3kg

#### Liste de livraison

- 1 ensemble complet ordonné dans un système de rangement
- 1 documentation didactique

## MG 905

### Kit de filets



#### Description

- ensemble très complet regroupant les principaux types de filets utilisés en génie mécanique
- désignations et termes normalisés, applications spécifiques

Les filets sont à la base des assemblages amovibles; les vis ont ainsi un filet extérieur, et les écrous un filet intérieur. En fonction des domaines d'application et des charges que le filet doit supporter, différents types de filet ont été développés au fil du temps. À l'aide des normes, on peut garantir la fonctionnalité des couplages de composants avec un filet intérieur et un filet extérieur.

Cet ensemble est destiné à l'observation et à l'information. La réalisation d'exercices ou d'essais n'est pas prévue. Différents filets de boulons et d'écrous sont présentés. Les flancs des filets sont rendus apparents grâce à des entailles. Un calibre de filetage permet de déterminer le type et la taille du filet.

L'ensemble est disposé de manière bien ordonnée dans un système de rangement.

#### Liste de livraison

- 1 ensemble complet ordonné dans un système de rangement
- 1 documentation didactique

## TM 320

### Contrôle d'assemblages par vis



#### Description

- relation entre le couple de serrage et la force de serrage sur des vis normalisées
- couple initial de décrochement d'un assemblage par vis

L'élément principal de l'appareil est un corps en acier fendu élastiquement déformable. Lors du serrage de l'assemblage par vis, la zone fendue est déformée, générant ainsi une force de serrage axiale dans la vis. La déformation qui apparaît est mesurée à l'aide d'un comparateur mécanique, elle est en relation directe avec la force de serrage de vis générée.

#### Contenu didactique/essais

- familiarisation avec les types de filets utilisés en génie mécanique et leurs applications spécifiques
- détermination du type de filet avec un calibre de filetage

#### Spécification

- [1] kit de filets
- [2] 8 types de filets, disposés de façon structurée
- [3] flancs de filets visibles grâce à des entailles
- [4] pièces galvanisées
- [5] calibre de filetage pour la détermination du type de filet
- [6] toutes les pièces sont disposées de façon ordonnée dans un système de rangement
- [7] les systèmes de rangement sont empilables les uns sur les autres

#### Caractéristiques techniques

Taille de filetage: 24mm  
Calibre de filetage pour filet extérieur et filet intérieur  

- filetage métrique ISO
- filetage Whitworth
- filetage Whitworth pas de gaz

LxLxH: 500x350x110mm [système de rangement]  
Poids: env. 3kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de vis dans son présentoir transparent
- 1 documentation didactique

#### Contenu didactique/essais

- force de serrage axiale d'un assemblage par vis en fonction du couple de serrage ou de la déformation élastique d'un corps fendu
- mesure du couple initial de décrochement, également pour différentes situations de montage de l'assemblage par vis
- mesure du frottement dans le filet et du frottement total

#### Spécification

- [1] essais sur la relation entre la force de vissage et le couple de serrage sur des vis
- [2] dimension des vis M8x100, ouverture de clé 13mm
- [3] déformation élastique d'un corps fendu sous l'action de la vis
- [4] détermination du couple de serrage et du couple initial de décrochement avec un dispositif mécanique de mesure de couple
- [5] 2 comparateurs à cadran mécaniques
- [6] réglage fin du couple de serrage à l'aide d'un volant à main

#### Caractéristiques techniques

Force de serrage  

- max. 40kN

Constante force/déplacement  

- 20kN/mm (corps fendu)

Couple de serrage  

- max. 40Nm

Constante couple/déplacement  

- 10Nm/mm (dispositif de mesure du couple de serrage)

Comparateur à cadran  

- 0...10mm
- graduation: 0,01mm

LxLxH: 450x400x260mm  
Poids: env. 27kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de vis dans son présentoir transparent
- 1 documentation didactique

## TM 310

### Contrôle de filetage



#### Description

##### ■ détermination du rendement d'un filetage avec différents couplages de matériaux de filetage

L'appareil de base est constitué pour l'essentiel d'un couplage broche filetée – écrou en position verticale. Un couple est exercé sur une broche par le biais d'une poulie, à l'aide de la balance à ressort et du câble. Des poids additionnels sur le plateau rotatif influent sur la charge axiale du fillet.

Deux broches à filet trapézoïdal de pas différents sont comprises dans la liste de livraison. En complément, l'appareil d'essai comprend trois écrous longs en matériaux différents à pas simple, et un écrou en fonte grise à pas double.

Les rendements du filetage peuvent être déterminés et comparés en utilisant les valeurs de mesure.

#### Contenu didactique/essais

- détermination du coefficient de frottement d'une vis en acier avec
  - ▶ un écrou en fonte grise
  - ▶ un écrou en bronze
  - ▶ un écrou en plastique
- détermination du rendement correspondant du filetage

#### Spécification

- [1] étude du rendement d'un filetage avec différents couplages de matériaux de filetage
- [2] écrous en fonte grise, en bronze et en plastique
- [3] broches avec filetage trapézoïdal, pas différent
- [4] génération d'un couple par une poulie avec balance à ressort et câble
- [5] chargement par des charges progressives

#### Caractéristiques techniques

Filetages de la broche  
■ TR30x6 et TR30x12P6

Plateau tournant  
■ diamètre: 140mm

Balance à ressort  
■ 0...5N  
■ graduation: 0,05N

Charge  
■ 1x 10N  
■ 1x 20N

LxLxH: 300x300x300mm  
Poids: env. 15kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 documentation didactique

## MG 911

### Kit de paliers à roulement



#### Description

- ensemble très complet regroupant les principaux types de paliers à roulement utilisés en génie mécanique
- désignations et termes normalisés, cas d'application

Les paliers à roulement sont des éléments de machine normalisés et font partie des éléments de guidage et de palier. Ils servent à guider des arbres ou des axes rotatifs dans des composants au repos, et à transmettre des forces radiales et axiales, mais pas des couples. Entre les pièces qui bougent les unes contre les autres, se trouvent des corps de roulement (billes ou rouleaux) qui effectuent un mouvement de roulement. Les paliers à roulement sont rattachés à des séries de normes différentes, en fonction de leur cas d'application.

#### Contenu didactique/essais

- familiarisation avec les principaux types de paliers à roulement utilisés en génie mécanique et avec leur utilisation spécifique
- familiarisation avec les désignations et les termes normalisés
- discussion sur des cas d'application

#### Spécification

- [1] kit de paliers à roulement
- [2] 13 paliers à roulement, disposés de façon structurée: 5 roulements à rouleaux et 8 roulements à billes
- [3] 2 roulements axiaux / 11 roulements radiaux
- [4] toutes les pièces sont disposées de façon ordonnée dans un système de rangement
- [5] les systèmes de rangement sont empilables les uns sur les autres

#### Caractéristiques techniques

Dimensions des paliers  
■ diamètre intérieur: Ø=20mm  
■ diamètre extérieur: Ø=35, 40, 42, 47, 52mm  
■ largeur de palier: H=8, 10, 12, 14, 15, 18, 47mm

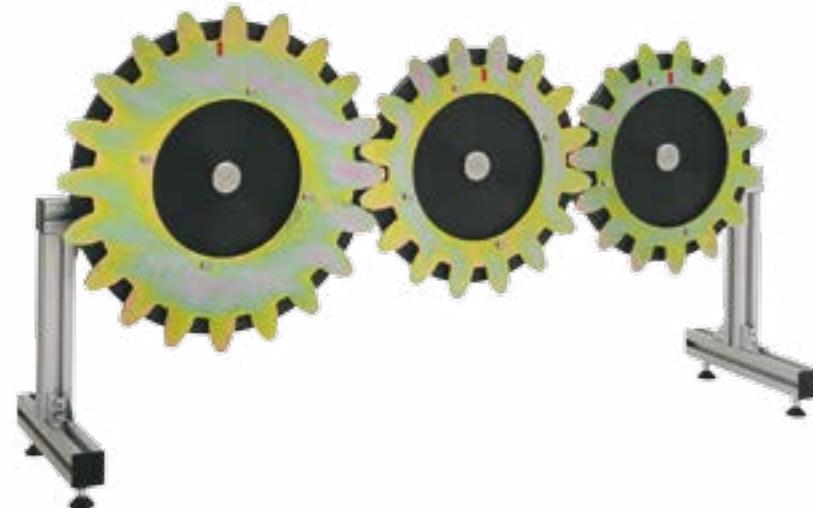
LxLxH: 500x350x110mm (système de rangement)  
Poids: env. 2kg

#### Liste de livraison

- 1 ensemble complet ordonné dans un système de rangement
- 1 documentation didactique

## GL 100

### Principe des engrenages



#### Description

##### ■ démonstration de la fonction et de la construction de différents engrenages

Les engrenages sont des éléments de machine, et font partie des éléments de transmission ou éléments de transformation. Leur rôle est de transmettre le couple et la vitesse de rotation entre des organes de direction tels que les roues ou les poulettes. La transmission du mouvement est assurée soit par des liaisons par adhérence (avec courroies, roue de friction) soit par des liaisons mécaniques (avec roues dentées, courroies dentées, chaînes).

L'appareil d'essai GL 100 permet d'expliquer la fonction et la construction des engrenages à courroie, à roues de friction et à roues dentées.

#### Contenu didactique/essais

- principe et différences des engrenages à courroie, à roues de friction et à roues dentées
- explication et visualisation
  - ▶ d'une transmission
  - ▶ d'un cercle primitif de référence
  - ▶ d'un module
  - ▶ de la fonction des roues intermédiaires

#### Spécification

- [1] démonstration de la fonction des engrenages à courroie, à roues de friction et à roues dentées
- [2] poulettes et roues de friction en plastique
- [3] joint torique pour courroie d'entraînement
- [4] roues dentées en acier
- [5] châssis profilé en aluminium anodisé

#### Caractéristiques techniques

- Roues dentées, acier
- nombre de dents: 15, 16, 20
  - module: 20mm
- Poulettes de courroies, plastique
- diamètre: Ø=300, Ø=320, Ø=400mm

LxLxH: 1100x320x600mm

Poids: env. 22kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 documentation didactique

## GL 110

### Commande à came



#### Description

##### ■ démonstration et mesure des courbes de levée sur des commandes à came

Les commandes à came font partie des engrenages à transmission irrégulière, qui sont utilisés pour transformer des mouvements d'entraînement circulaires réguliers, en mouvements entraînés irréguliers avec ou sans pause. Les commandes à came sont généralement constituées de corps de came, d'éléments suiveurs et d'un châssis. La courbe de mouvement souhaitée est déterminée par la géométrie des corps de came, et produite par le balayage d'un contour ou d'un profil au niveau de ce que l'on appelle l'élément suiveur.

Le GL 110 permet de démontrer de manière explicite la fonction d'une commande à came. Des corps de came avec différentes formes d'ergots sont disponibles. Comme élément suiveur, on peut utiliser un poussoir rond, un poussoir plat ou un levier oscillant. La mesure du déplacement détermine la course. Une échelle d'angle indique l'angle de rotation correspondant.

#### Contenu didactique/essais

- courbes de levée de commandes à came
- corps de came en forme d'ergots avec différentes géométries
  - ▶ came en arc de cercle, tangentielle, creuse, dissymétrique
  - ▶ au choix avec poussoir rond, poussoir plat ou levier oscillant comme élément suiveur

#### Spécification

- [1] fonction de commandes à came
- [2] 4 corps de came différents en forme d'ergots: came en arc de cercle, tangentielle, creuse, dissymétrique
- [3] 3 éléments suiveurs différents: poussoir rond, poussoir plat ou levier oscillant
- [4] corps de came et éléments suiveurs peuvent être changés sans outils
- [5] comparateur à cadran pour la détermination de la course
- [6] échelle d'angle pour la détermination de l'angle de rotation

#### Caractéristiques techniques

##### Échelle d'angle

- 0...360°
- graduation: 1°

##### Comparateur à cadran pour la course

- 0...30mm
- graduation: 0,01mm

LxLxH: 160x160x300mm

Poids: env. 7kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 4 corps de came différents en forme d'ergots
- 3 éléments suiveurs
- 1 comparateur à cadran
- 1 documentation didactique

## TM 123

### Engrenage droit



#### Description

##### ■ construction et principe des engrenages à roues dentées

Les roues dentées et les engrenages à roues dentées sont des éléments de machine, et font partie des éléments de transmission ou éléments de transformation. Les roues dentées transmettent le mouvement rotatif d'un premier arbre à un second, par le biais d'une liaison mécanique. Sur un engrenage droit, les roues dentées sont disposées sur des axes parallèles. Ce type d'engrenages se distingue par une construction relativement simple, étant donné que le nombre de pièces en mouvement est réduit, et que les roues droites à dentures externes sont faciles à fabriquer. Les engrenages droits sont robustes, et ont un rendement élevé du fait de leur transmission directe purement mécanique.

L'appareil d'essai TM 123 met en évidence la relation qui existe entre le nombre de dents et le rapport de transmission des engrenages. La transmission du couple dans des paires de roues dentées, ainsi que le rendement d'un engrenage, sont étudiés au travers d'essais simples à réaliser. Les forces sont générées par des poids; on peut les varier rapidement et facilement.

#### Contenu didactique/essais

- analyse des principales grandeurs et relations d'un engrenage droit à denture droite
  - ▶ rapports de vitesse dans des engrenages droits
  - ▶ engrenage avec roue intermédiaire ou engrenage à deux étages
  - ▶ influence de la transmission sur le frottement
  - ▶ calcul du rendement

#### Spécification

- [1] fonction et construction d'engrenages à roues dentées
- [2] 4 roues dentées en acier galvanisé
- [3] 2 poulies en aluminium anodisé
- [4] roues dentées et poulies montées sur roulements à billes
- [5] plaque de base en aluminium anodisé

#### Caractéristiques techniques

- 4 roues dentées
  - 2x Ø=126mm, 84 dents
  - 2x Ø=42mm, 28 dents
  - module: m=2mm

Rayon d'action des poulies: 35mm

#### Poids

- 2x 1N (suspenste)
- 2x 0,25N
- 1x 0,5N
- 2x 1N
- 2x 2N
- 2x 2,5N

LxLxH: 350x150x100mm

Poids: env. 6kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 4 roues dentées
- 2 poulies
- 1 jeu de poids
- 1 documentation didactique

## TM 124

### Engrenage à vis sans fin



#### Description

##### ■ construction et principe des engrenages à vis sans fin

Les engrenages à vis sans fin sont un type particulier d'engrenages à vis; ils font partie des éléments de machine de transmission ou de transformation. Ce type d'engrenage est composé dans la plupart des cas de la vis sans fin d'entraînement et de la roue à vis sans fin entraînée. Les engrenages à vis sans fin ont un fonctionnement plus silencieux et amorti et, à performances et transmissions égales, sont de plus petite taille et plus faciles à exécuter que les engrenages droits ou les engrenages à roues coniques.

L'appareil d'essai TM 124 permet l'étude des rapports de couple et du rendement. Le rapport de transmission de l'engrenage peut être déterminé. Les notions de base relatives aux dentures sont présentées de façon simple: nombre de dents et nombre de rapports, module, cercle primitif et entraxe.

La roue à vis sans fin et la vis sans fin sont montées sur roulements à billes. Les forces sont générées par des poids; on peut les varier rapidement et facilement.

#### Contenu didactique/essais

- analyse des principales grandeurs et relations d'un engrenage à vis sans fin
  - ▶ étude du rapport de transmission, du couple, du frottement et du blocage automatique
  - ▶ détermination du rendement

#### Spécification

- [1] fonction et construction des engrenages à vis sans fin
- [2] roue à vis sans fin en bronze
- [3] vis sans fin en acier
- [4] 2 tambours de câbles en aluminium
- [5] vis sans fin, roue hélicoïdale et poulies montées sur roulements à billes
- [6] plaque de base en aluminium anodisé

#### Caractéristiques techniques

Tambour de câbles

- diamètre de l'arbre de la vis sans fin: Ø=40mm
- diamètre de l'arbre de la roue à vis sans fin: Ø=120mm

#### Entraînement à vis sans fin

- entraxe: 80mm
- transmission: 30:1
- module: m=4mm
- nombre de rapports: 1
- transmission de force: 10

#### Poids côté vis sans fin

- 1x 50N
- 1x 20N
- 2x 10N
- 1x 10N [suspenste avec masse de compensation]

#### Poids sur la roue à vis sans fin

- 1x 5N
- 4x 2N
- 1x 1N
- 1x 0,5N
- 1x 0,5N [suspenste]

LxLxH: 250x150x200mm

Poids: env. 22kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 vis sans fin
- 1 roue à vis sans fin
- 1 jeu de poids
- 1 documentation didactique

## TM 125

### Treuil



#### Description

##### ■ construction et principe d'un treuil

Les treuils ou vérins d'ascenseur sont des éléments de machine, et font partie des éléments de transmission ou éléments de transformation. Sur un treuil, un câble porteur est enroulé sur un tambour de câbles, à l'aide d'une transmission par roues dentées. Cela permet de déplacer des charges fixées sur le câble porteur.

L'appareil d'essai TM 125 permet d'étudier la vitesse de levage et la transmission de force d'un treuil. Il permet aussi de montrer comment fonctionne un dispositif de protection antiretour. Des observations relatives à l'équilibre permettent de déterminer la transmission de force et le rendement. Les deux tambours de câbles sont montés sur roulements à billes. Les forces sont générées par des poids; on peut les varier rapidement et facilement.

Lxhx: 270x200x250mm  
Poids: env. 19kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 2 tambours de câbles
- 1 jeu de poids
- 1 documentation didactique

#### Contenu didactique/essais

- détermination
  - ▶ du rapport de transmission
  - ▶ de la vitesse de déroulement
  - ▶ de la vitesse angulaire
  - ▶ du rendement
- comportement en charge

#### Spécification

- [1] fonction et construction des treuils
- [2] étude de la vitesse de levage et de la transmission de force
- [3] démonstration d'un dispositif de protection antiretour
- [4] enroulement d'un câble porteur sur un tambour de câbles
- [5] déplacement de charges au moyen d'un treuil
- [6] variation des charges et des forces

#### Caractéristiques techniques

##### Tambour de câbles

- aluminium
- roue d'entraînement
  - ▶ diamètre: 220mm
- roue entraînée
  - ▶ diamètre: 110mm

##### Roues dentées

- POM
- petite: 12 dents
- grande: 60 dents
- module de 2mm chacun

Rapport de transmission global: 10

##### Poids sur la roue d'entraînement

- 1x 5N
- 4x 2N
- 1x 1N
- 1x 0,5N
- 1x 0,5N

##### Poids sur la roue entraînée

- 1x 50N
- 2x 20N
- 1x 10N

# Étude de laboratoire et élaboration d'un concept de A à Z

**Vous prévoyez la réalisation d'un nouveau laboratoire?  
D'une nouvelle salle?  
De tout un service?  
Vous voulez moderniser?**

Alors, profitez de notre savoir-faire et de notre expérience! Nos ingénieurs conçoivent et aménagent des laboratoires complets.

Nous sommes à l'écoute de vos attentes spécifiques et tenons compte des particularités de l'environnement local:

- plans de la salle
- raccords alimentation
- listes d'équipements
- descriptions des prestations etc.

Notre force de vente /notre SAV se tient à votre disposition pour toute question à ce sujet.

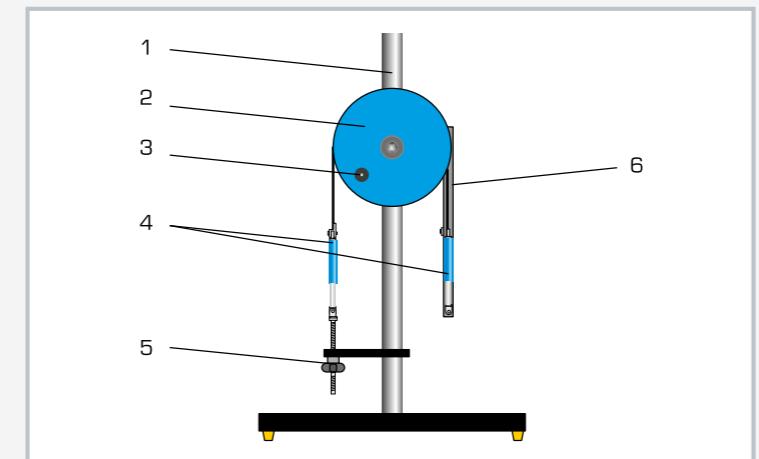
## TM 220

### Entraînement par courroie et frottement de courroie

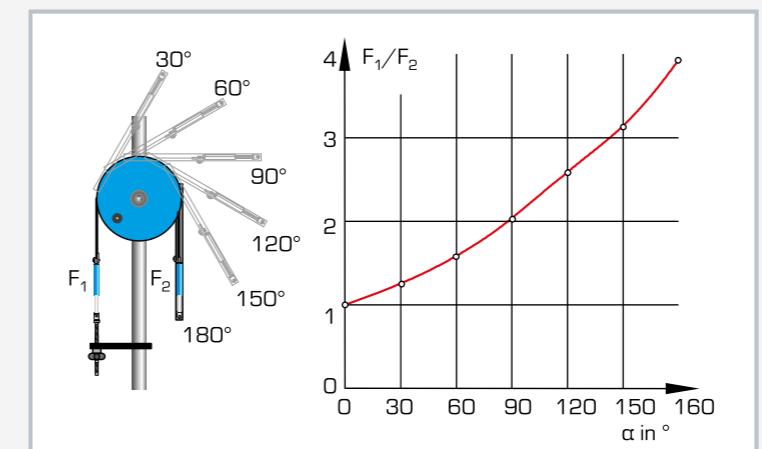


#### Contenu didactique/essais

- influence de l'angle d'enroulement, coefficient de frottement et force de câble (formule d'Eytelwein de frottement d'un câble)
- comparaison courroie plate - courroie trapézoïdale
- conséquences d'une gorge pour courroies trapézoïdales inadaptée



1 colonne de support, 2 poulie de courroies, 3 manivelle, 4 balance à ressort, 5 ajustage de la pré-tension de la courroie, 6 support de courroies pivotable



Ajustage par pas de l'angle d'enroulement de 30° à 180°.  
Le diagramme représente le rapport des forces  $F_1 / F_2$  en fonction de l'angle d'enroulement  $\alpha$ .

#### Description

- fonctionnement d'un entraînement par courroie
- frottement de différentes formes de courroies sur une poulie de courroies en métal

Les entraînements par courroie sont des éléments de machine et appartiennent, parmi les éléments de transmission et de transformation, à la catégorie des entraînements par traction. Leur rôle est de transmettre le couple et la vitesse de rotation entre des organes de direction tels que les roues ou les poulies. La transmission du mouvement s'effectue par l'intermédiaire de mécanismes de traction qui ne peuvent absorber que les forces de traction. Les courroies dentées et les chaînes transmettent les mouvements de manière mécanique.

Les mécanismes de traction tels que câbles, courroies plates et courroies

trapézoïdales, permettent au contraire une transmission par adhérence.

La transmission de la force périphérique entre la courroie et la poulie se fait au niveau d'un entraînement par courroie, selon le principe du frottement de câble. Le frottement de câble est dû à des forces de frottement d'adhérence tangentielles aux endroits où le câble est en contact avec la roue ou la poulie. Pour calculer le frottement de câble ou de courroie, on utilise la formule d'Eytelwein (frottement d'un câble).

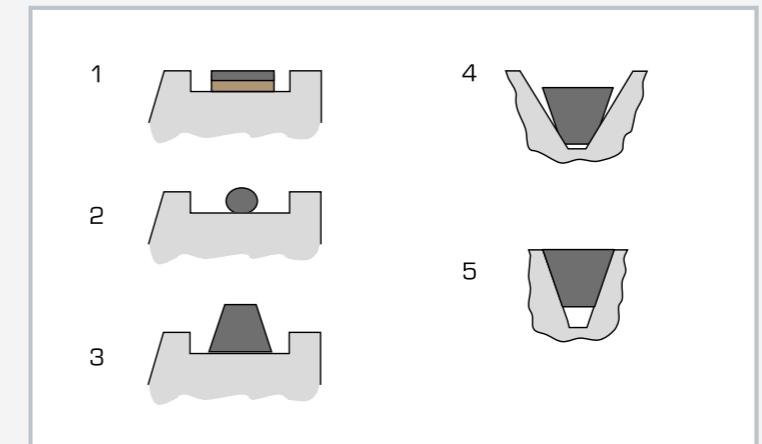
L'appareil d'essai TM 220 permet l'étude expérimentale des entraînements par courroie et du frottement de courroie. L'élément central de l'appareil est une poulie en fonte dont la périphérie présente des gorges pour courroies trapézoïdales et courroies plates.

La poulie est montée sur un roulement à

billes, et entraînée par une manivelle. Sa masse d'inertie favorise la régularité de la rotation. Les courroies frottent sur la poulie avec un angle d'enroulement compris entre 30° et 180°. L'angle d'enroulement peut être réglé par pas de 15°.

Deux balances à ressort mesurent les forces de traction aux extrémités des courroies. La pré-tension des courroies peut être ajustée avec précision à l'aide d'une tige filetée. Deux courroies plates constituées de matériaux différents, une courroie trapézoïdale et un câble sont compris dans la liste de livraison. Lors des essais, différentes formes et différents matériaux de courroie sont comparés, et l'influence de l'angle d'enroulement est étudiée.

Il est possible par ailleurs, sur la courroie trapézoïdale, d'étudier l'influence de la forme de la gorge sur le coefficient de frottement.



Comparaison de différentes formes de courroies:  
1 courroie plate, 2 câble, 3 courroie trapézoïdale, 4 position défavorable de la courroie dans la gorge, 5 position optimale de la courroie dans la gorge

#### Spécification

- [1] fonctionnement d'un entraînement par courroie
- [2] frottement de courroie et comparaison de différents matériaux et formes de courroies
- [3] poulie de courroies sur roulement à billes avec 3 gorges pour courroies différentes
- [4] 2 courroies plates en matériaux différents, une courroie trapézoïdale et 1 câble
- [5] angle d'enroulement des courroies 30° ... 180°, graduation 15°
- [6] mesure de la force avec 2 balances à ressort

#### Caractéristiques techniques

##### Courroies plates

- 1x cuir/polyamide, 15x2,2mm, Extremultus LT10
- 1x polyamide, 15x0,6mm, Extremultus TT2

##### Courroie trapézoïdale

- ISO 4184
- profil: SPZ
- 9,7x8,0mm, caoutchouc/tissu

##### Câble

- chanvre, Ø=3mm

##### Poulie de courroies

- Ø=300mm
- matériau: fonte grise

Dynamomètre: 100N ±1N

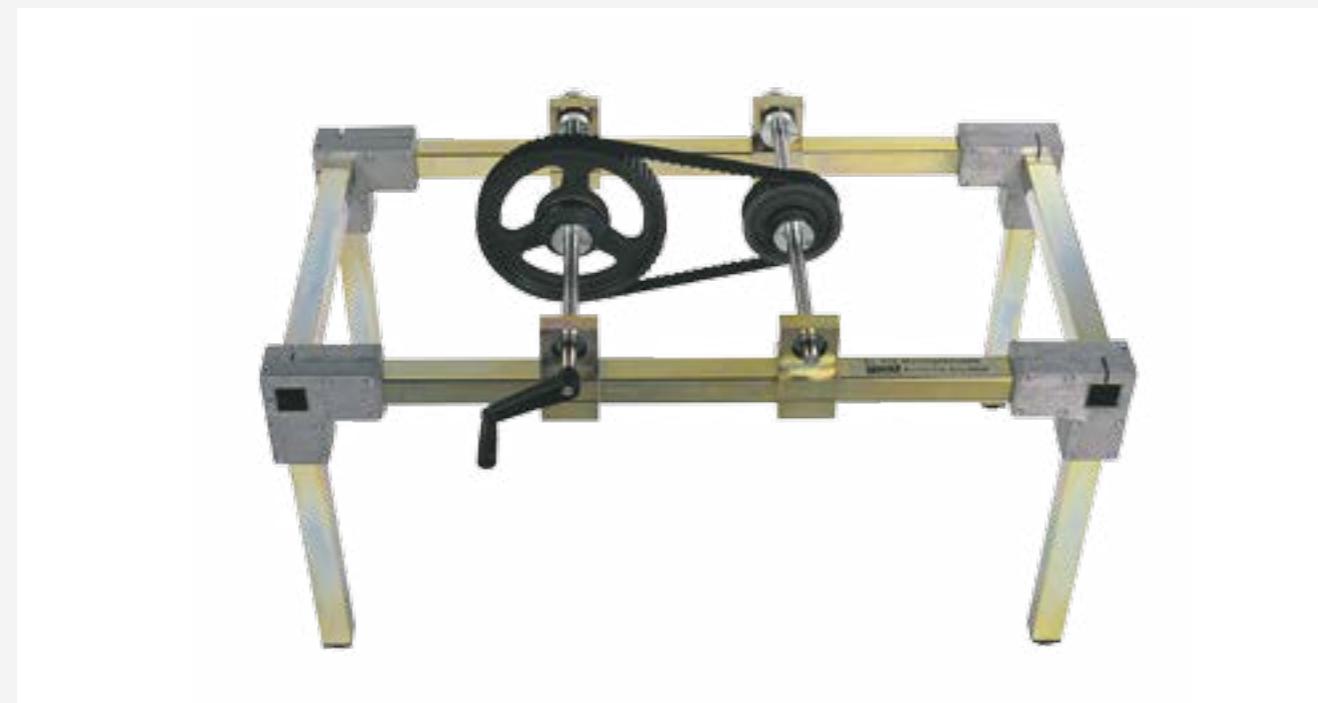
LxLxH: 700x350x1100mm  
Poids: env. 47kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 2 courroies plates
- 1 câble
- 1 courroie trapézoïdale
- 2 dynamomètres
- 1 documentation didactique

## GL 410

### Montage d'entraînements simples



#### Description

- kit d'assemblage flexible et robuste pour les principes de base de la technique des engrenages mécaniques
- lien étroit avec la pratique, grâce à l'utilisation de composants industriels
- montage simple et rapide

Le rôle des engrenages est de transmettre la taille et/ou la direction de mouvements rotatifs ainsi que le couple. Dans les éléments de machine, les engrenages sont classés parmi les éléments de transmission et de transformation. Il existe différentes formes de construction d'engrenages selon le rôle qu'ils ont à remplir. Les engrenages à roues, tels que les engrenages à roues dentées, les engrenages à friction et les transmissions par traction, font partie des engrenages à transmission régulière.

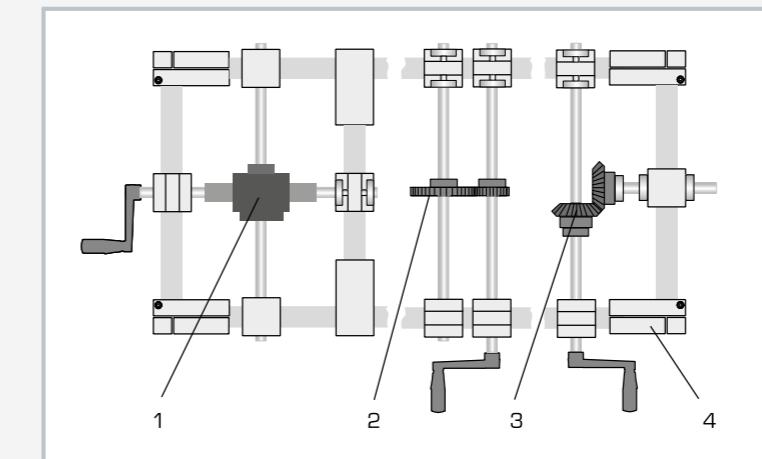
Le GL 410 sert d'introduction aux principes de base de la technique d'engrenages. L'accent est mis sur le montage conforme à la pratique de composants d'engrenages.

Le système d'exercices permet d'assembler six types d'engrenages simples différents. La modularité des composants est telle qu'il est possible de transposer ses propres idées, et de réaliser et tester différents types d'engrenages. Différents exercices sont effectués successivement: compréhension de la problématique et lecture du dessin, montage des composants, étalonnage et contrôle des engrenages, réalisation de calculs. L'entraînement est assuré par une manivelle. Un bâti robuste constitué de tubes en acier de profil carré, ainsi que différents paliers, offrent une précision suffisante pour pouvoir ajuster les engrenements de manière précise. Tous les composants de montage du système d'exercices sont à portée de main, et bien protégés dans un système de rangement.

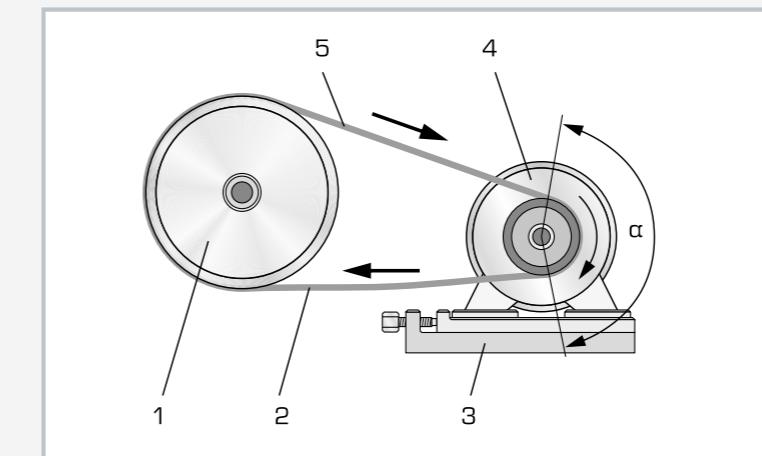
Dans cette série, GUNT propose trois kits d'assemblage différents: ils vont des engrenages simples GL 410 aux boîtes de vitesse GL 430, en passant par les engrenages combinés GL 420. Les kits d'assemblage sont conçus de façon à pouvoir être utilisés complètement indépendamment les uns des autres.

#### Contenu didactique/essais

- introduction aux principaux composants de la technique mécanique d'engrenages
- principaux types d'engrenages
  - ▶ entraînement simple par courroie
  - ▶ entraînement simple par chaîne
  - ▶ engrenage simple droit
  - ▶ engrenage à roues coniques
  - ▶ engrenage à vis sans fin
  - ▶ entraînement à crémaillère
- calculs sur des engrenages mécaniques
- montage pratique de différents engrenages avec exercices simples d'ajustage et d'alignement
- lecture et compréhension des dessins industriels, familiarisation avec les termes techniques



1 engrenage à vis sans fin, 2 engrenage droit, 3 engrenage à roues coniques, 4 bâti constitué de tubes en acier de profil carré



Mode de fonctionnement d'un entraînement par courroie: 1 disque entraîné, 2 brin mou, 3 rail de serrage avec vis, 4 disque d'entraînement, 5 brin tendu,  $\alpha$  angle d'enroulement

#### Spécification

- [1] montage, démonstration et essais avec des engrenages simples
- [2] entraînement simple par courroie
- [3] entraînement simple par chaîne
- [4] engrenage simple droit
- [5] engrenage à roues coniques
- [6] engrenage à vis sans fin
- [7] entraînement à crémaillère
- [8] actionnement par manivelle
- [9] utilisation de composants industriels
- [10] bâti universel solide constitué de tubes en acier de profil carré

#### Caractéristiques techniques

##### Poulies pour courroies dentées

- nombre de dents:  $z=30, 60$

##### Roues à chaîne

- nombre de dents:  $z=20, 30$
- DIN 8192 ISO 10B-1

##### Roues droites

- nombre de dents:  $z=30, 60$
- module:  $m=2\text{mm}$

##### Paire de roues coniques

- nombre de dents:  $z=30$
- module:  $m=3\text{mm}$
- rapport de transmission:  $i=1$
- angle entre les axes:  $90^\circ$

LxLxh: env. 1030x500x520mm (bâti monté)

Poids: env. 70kg

LxLxh: 600x400x220mm (système de rangement)

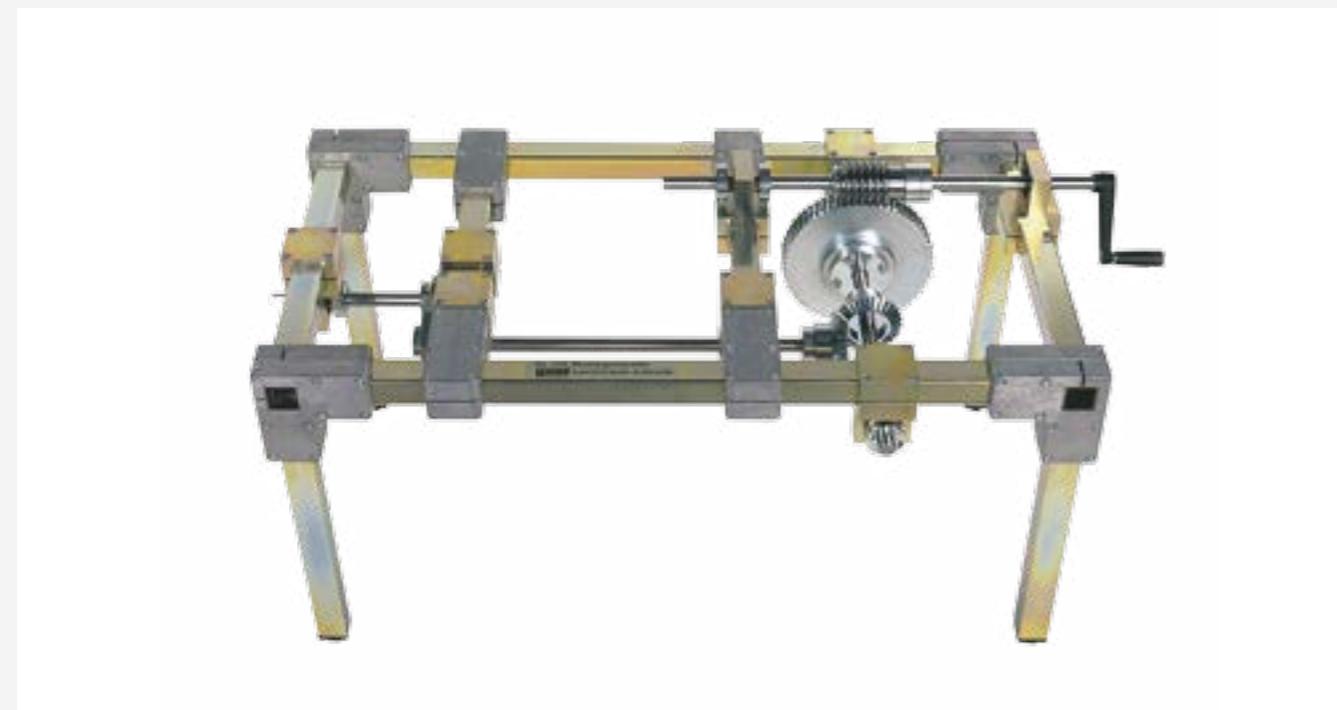
LxLxh: 600x400x170mm (système de rangement)

#### Liste de livraison

- 1 bâti
- 1 jeu de paliers
- 1 jeu de composants d'engrenages
- 1 jeu d'outils
- 1 documentation didactique

## GL 420

### Montage d'entraînements combinés



#### Description

- kit d'assemblage flexible et robuste pour la technique avancée des engrenages mécaniques
- lien étroit avec la pratique, grâce à l'utilisation de composants industriels
- montage simple et rapide

Différents types d'engrenages peuvent être combinés les uns aux autres, pour obtenir différentes fonctions essentielles de transmission, ainsi que de nouvelles propriétés. L'association ou interconnexion peut être effectuée sous forme de montage en série ou en parallèle. Plusieurs niveaux de roues dentées sont souvent montés les uns à la suite des autres, afin par exemple d'augmenter les rapports de transmission.

Le GL 420 offre des exercices d'approfondissement sur les principes de base de la technique d'engrenages. L'accent est mis sur le montage conforme à la pratique de composants d'engrenages.

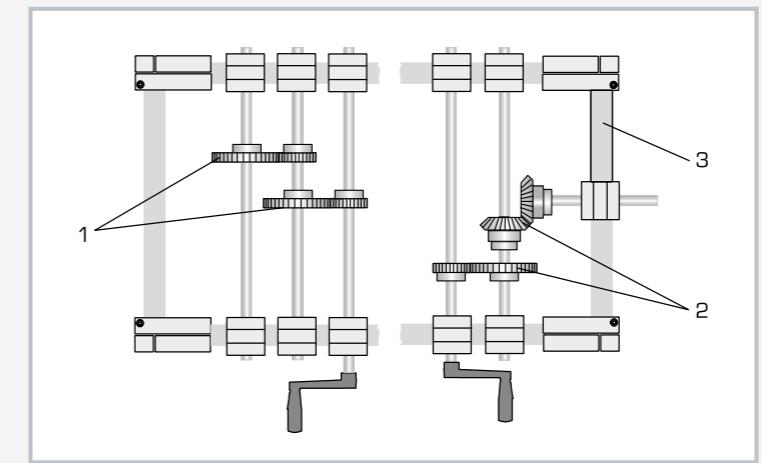
Le système d'exercices permet d'assembler six types d'engrenages différents dans des associations différentes.

#### Contenu didactique/essais

- familiarisation avec les formes et composants principaux de la technique d'engrenages mécanique
  - ▶ double entraînement par courroie
  - ▶ entraînement par chaîne avec roue de tension et transmission par roue droite
  - ▶ engrenage droit à deux étages
  - ▶ engrenage combiné à roues coniques et à roues droites
  - ▶ engrenage combiné à vis sans fin et à roues coniques
  - ▶ entraînement à crémaillère avec engrenage droit
- calculs sur des engrenages mécaniques
- montage pratique de différents engrenages, en association avec des exercices d'ajustage et d'alignement
- lecture et compréhension de dessins industriels, familiarisation avec les termes techniques

La modularité des composants est telle qu'il est possible de transposer ses propres idées, et de réaliser et tester différents types d'engrenages. Différents exercices sont effectués successivement: compréhension de la problématique et lecture du dessin, montage des composants, étalonnage et contrôle des engrenages, réalisation de calculs. L'entraînement est assuré par une manivelle. Un bâti robuste constitué de tubes en acier de profil carré, ainsi que différents paliers, offrent une précision suffisante pour pouvoir ajuster les engrenements de manière précise. Tous les composants de montage du système d'exercices sont à portée de main, et bien protégés dans un système de rangement.

Dans cette série, GUNT propose trois kits d'assemblage différents: ils vont des engrenages simples GL 410 aux boîtes de vitesse GL 430, en passant par les engrenages combinés GL 420. Les kits d'assemblage sont conçus de façon à pouvoir être utilisés complètement indépendamment les uns des autres.



1 engrenage droit à deux étages, 2 engrenage combiné roues droites-roues coniques,  
3 bâti constitué de tubes en acier de profil carré

#### Spécification

- [1] montage, démonstration et essais avec des engrenages combinés
- [2] entraînements par courroie à deux étages
- [3] entraînements par chaîne avec roue de tension et transmission par roue droite
- [4] engrenages droits à deux étages
- [5] engrenage combiné à roues coniques et à roues droites
- [6] engrenage à vis sans fin et engrenage à roues coniques
- [7] entraînement à crémaillère avec engrenage droit
- [8] activation par manivelle
- [9] utilisation de composants industriels
- [10] bâti universel solide constitué de tubes en acier de profil carré

#### Caractéristiques techniques

Poulies pour courroies dentées

- nombre de dents: z=30, 32, 48, 60

Roues à chaîne

- nombre de dents: z=20, 30
- DIN 8192 ISO 10B-1

Roues dentées

- nombre de dents: z=30, 36, 50, 60
- module: m=2mm

Paire de roues coniques

- nombre de dents: z=30
- module: m=3mm
- rapport de transmission: i=1
- angle entre les axes: 90°

LxLxH: 1000x500x500mm (bâti monté)

Poids: env. 72kg

LxLxH: 600x400x120mm (système de rangement)

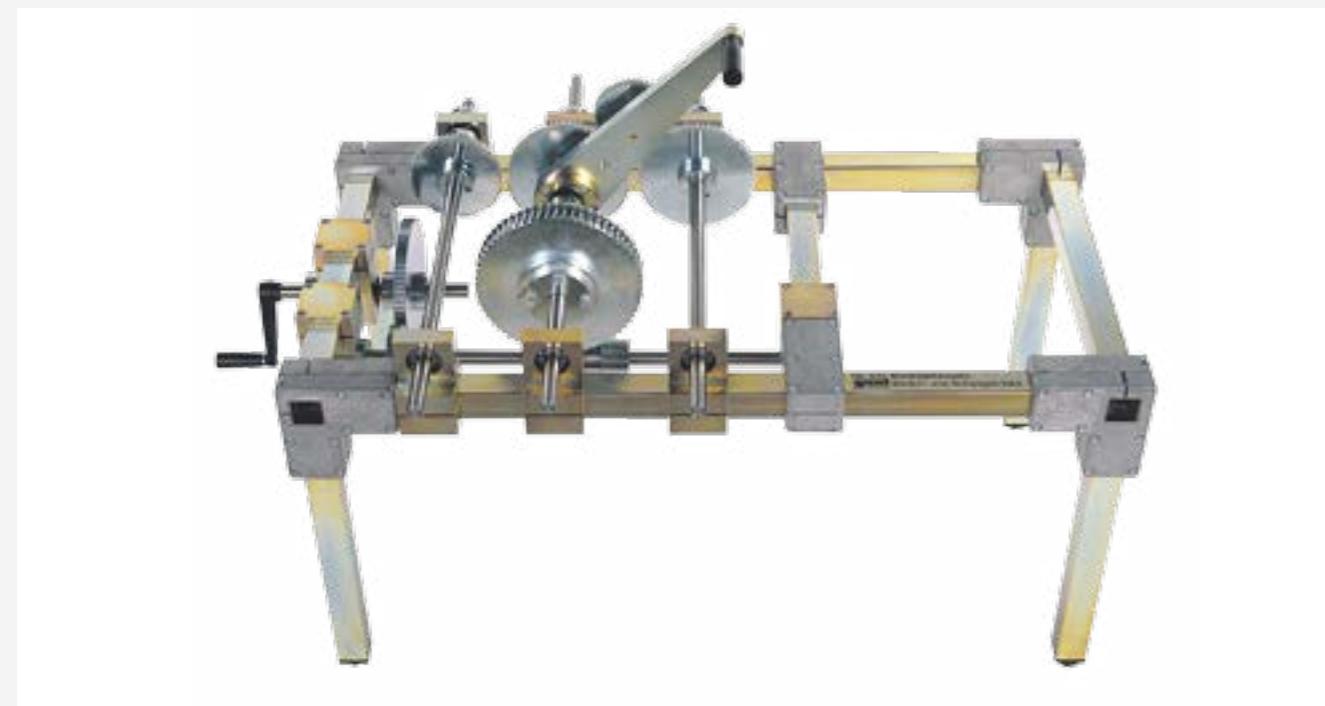
LxLxH: 600x400x170mm (système de rangement)

#### Liste de livraison

- 1 bâti
- 1 jeu de paliers
- 1 jeu de composants d'engrenages
- 1 jeu d'outils
- 1 documentation didactique

## GL 430

### Montage de boîtes de vitesses



#### Description

- kit d'assemblage flexible et robuste pour la technique avancée des engrenages mécaniques
- lien étroit avec la pratique, grâce à l'utilisation de composants industriels
- montage simple et rapide

Les boîtes de vitesse sont également appelées variateurs ou harnais d'engrenage à changement de vitesse. Elles se distinguent par le fait que la vitesse de rotation est transmise différemment par diverses paires de roues dentées. L'exemple le plus connu est celui de la boîte de vitesse automobile, qui dispose d'une paire de roues dentées pour chaque vitesse.

Le GL 430 offre différents montages de boîtes de vitesse, qui servent d'introduction aux principes de base de la technique d'engrenages. L'accent est mis sur le montage conforme à la pratique de composants d'engrenages.

Le système d'exercices permet d'assembler six engrenages différents dans des associations différentes.

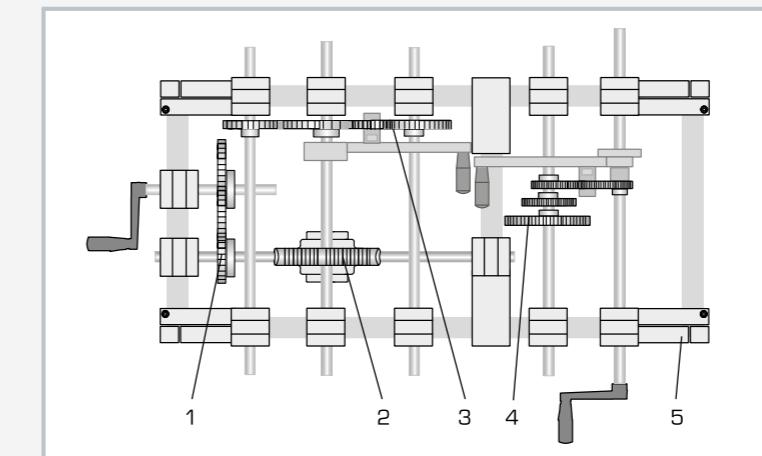
#### Contenu didactique/essais

- familiarisation avec les formes et composants principaux de la technique mécanique d'engrenages
  - ▶ commande par poules à gradins
  - ▶ train baladeur
  - ▶ train baladeur Norton
  - ▶ renversement de marche
  - ▶ harnais d'engrenage à changement de vitesse
  - ▶ tablier (vis sans fin basculante)
- calculs sur des engrenages mécaniques
- montage pratique de différents engrenages avec exercices simples d'ajustage et d'alignement
- lecture et compréhension des dessins industriels, familiarisation avec les termes techniques

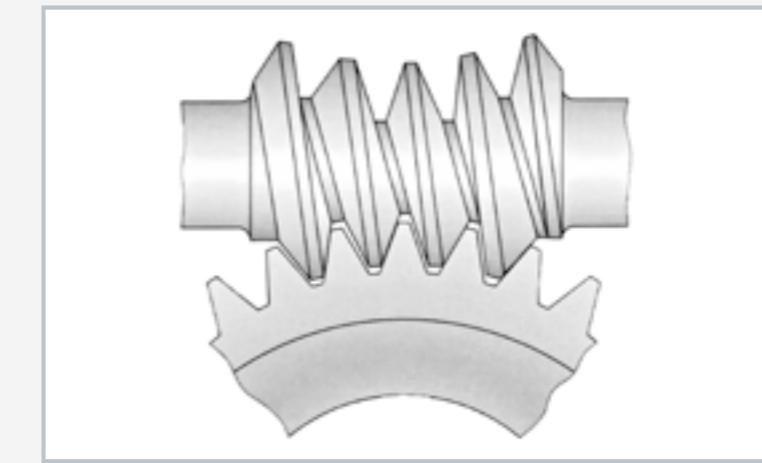
La modularité des composants est telle qu'il est possible de transposer ses propres idées, et de réaliser et tester différents types d'engrenages.

Différents exercices sont effectués à la suite: compréhension de la problématique et lecture du dessin, montage des composants, étalonnage et contrôle des engrenages, réalisation de calculs. L'entraînement est assuré par une manivelle. Un bâti robuste constitué de tubes en acier de profil carré, ainsi que différents paliers, offrent une précision suffisante pour pouvoir ajuster les engrenements de manière précise. Tous les composants de montage du système d'exercices sont à portée de main, et bien protégés dans un système de rangement.

Dans cette série, GUNT propose trois kits d'assemblage différents: ils vont des engrenages simples GL 410 aux boîtes de vitesse GL 430, en passant par les engrenages combinés GL 420. Les kits d'assemblage sont conçus de façon à pouvoir être utilisés complètement indépendamment les uns des autres.



1 engrenage droit, 2 engrenage à vis sans fin, 3 harnais d'engrenage à changement de vitesse, 4 train baladeur Norton, 5 bâti constitué de tubes en acier de profil carré



Engrenage à vis sans fin

#### Spécification

- [1] montage, démonstration et essais avec différentes boîtes de vitesse
- [2] commande par poules à gradins
- [3] train baladeur
- [4] train baladeur Norton
- [5] renversement de marche
- [6] harnais d'engrenage à changement de vitesse
- [7] tablier (vis sans fin basculante)
- [8] actionnement par manivelle
- [9] utilisation de composants industriels
- [10] bâti universel solide, constitué de tubes en acier de profil carré

#### Caractéristiques techniques

##### Roues droites

- nombre de dents:  $z=24, 30, 36, 40, 45, 50, 60, 76, 80, 95$
- module:  $m=2\text{mm}$

##### Engrenage à vis sans fin

- vis sans fin
  - ▶ nombre de dents:  $z=6$
- roue à vis sans fin
  - ▶ nombre de dents:  $z=62$
  - ▶ module:  $m=3,15\text{mm}$

LxLxH: 1000x500x500mm (bâti monté)

Poids: env. 80kg

LxLxH: 600x400x120mm (système de rangement)

LxLxH: 600x400x170mm (système de rangement)

#### Liste de livraison

- 1 bâti
- 1 jeu de paliers
- 1 jeu de composants d'engrenages
- 1 jeu d'outils
- 1 documentation didactique

## GL 200

### Engrenage d'un tour



#### Description

- aperçu clair et sans danger des fonctions des engrenages d'un tour d'atelier

L'engrenage d'un tour GL 200 présente toutes les caractéristiques et propriétés essentielles d'un tour d'atelier: un engrenage principal commutable, un engrenage d'avance pour l'entraînement de la vis-mère [train baladeur Norton], un harnais d'engrenage à changement de vitesse et un renversement de marche.

L'actionnement est assuré par une manivelle avec cadran gradué. Les processus se déroulent par conséquent à vitesse réduite, et sans aucun danger.

Sur cet appareil d'essai, le coulisseau porte-outils exécute uniquement un mouvement longitudinal. L'avance longitudinale automatique est assurée par une vis-mère. Un tambour amovible simule la pièce à usiner, et une pointe traçante remplace l'outil de coupe.

Les composants des engrenages sont exposés à la vue, ce qui permet de bien voir la manière dont ils fonctionnent. Tous les essais peuvent être facilement répétés, et de nombreuses variantes sont possibles.

#### Contenu didactique/essais

- étude de l'ensemble des fonctions d'engrenage principales d'un tour d'atelier
- engrenage principal
- harnais d'engrenage à changement de vitesses
- renversement de marche
- engrenage d'avance (train baladeur Norton)

#### Spécification

- [1] construction et fonction d'un engrenage de tour
- [2] appareil d'essai entièrement fonctionnel
- [3] aperçu optimal grâce à la construction ouverte
- [4] engrenage principal commutable
- [5] train baladeur Norton comme engrenage d'avance pour l'entraînement de la vis-mère
- [6] harnais d'engrenage à changement de vitesse et un renversement de marche
- [7] enregistrement de l'avance sur papier par un tambour sur la broche principale
- [8] actionnement par manivelle

#### Caractéristiques techniques

Nombre de vitesses de la broche principale: 9

Nombre d'étages de l'engrenage d'avance: 7

LxHx: 750x500x800mm

Poids: env. 42kg

#### Liste de livraison

- 1 entraînement de tour d'atelier
- 1 documentation didactique

# Des manuels de haute qualité

La politique d'enseignement de GUNT se définit ainsi: des appareils haut de gamme et de la documentation didactique clairement élaborée sont pour enseignants et apprenants une garantie de la réussite de toute formation sur un appareil d'essai.

Au cœur de cette documentation didactique vous trouverez des essais de référence que nous avons effectués. La description d'un essai contient le montage expérimental ainsi que l'interprétation des résultats obtenus. Un groupe d'ingénieurs expérimentés développe et actualise la documentation didactique.

S'il advenait cependant que certaines questions soient restées sans réponse, nous sommes à votre entière disposition, au téléphone ou – en cas de besoin, sur place.

## AT 200

### Détermination du rendement des engrenages



#### Description

- **rendement mécanique d'engrenages**
- **moteur triphasé comme entraînement et frein à particules magnétiques comme unité de freinage**
- **comparaison de l'engrenage à vis sans fin et de l'engrenage droit**

AT 200 est un dispositif d'essai complet composé d'une unité d'entraînement et d'une unité de freinage ainsi que de deux engrenages différents. La détermination de la puissance d'entraînement et de la puissance de freinage sert à déterminer les rendements mécaniques. Les éléments utilisés sont courants en technique d'entraînement et offrent donc une relation étroite avec la pratique.

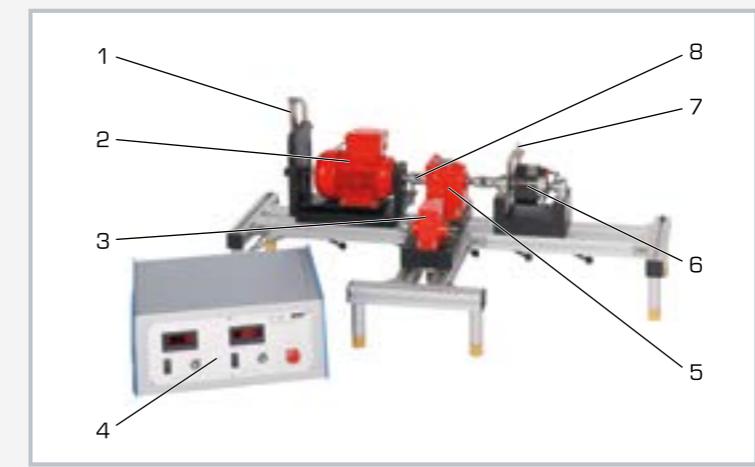
Un moteur triphasé à vitesse de rotation variable via un convertisseur de fréquence sert d'unité d'entraînement. Un frein à particules magnétiques sert d'unité de freinage. L'action constante du frein peut être réglée avec précision par l'intermédiaire du courant d'excitation, elle sert ainsi de charge réglable. Un essai complémentaire permet d'étudier les propriétés du frein à particules magnétiques.

#### Contenu didactique/essais

- détermination du rendement mécanique d'engrenages par le biais de la comparaison entre la puissance mécanique d'entraînement et de freinage pour
  - ▶ engrenage droit, à deux étages
  - ▶ engrenage à vis sans fin
- enregistrement de la caractéristique couple-intensité d'un frein à particules magnétiques
- technique d'entraînement et de régulation

Un engrenage droit à deux étages et un engrenage à vis sans fin sont disponibles pour des études. Les propriétés caractéristiques des engrenages sont déterminées en fonction de la puissance du moteur. Des accouplements élastiques relient les engrenages au moteur et au frein.

Pour la détermination des couples, le moteur et le frein sont à suspension pendulaire. La mesure des couples se fait à l'aide de balances à ressort et de bras de levier. La vitesse de rotation du moteur est saisie sans contact à l'aide d'un capteur de course inductif sur l'arbre du moteur et affiché numériquement. Le courant d'excitation du frein à particules magnétiques sert à mesurer le couple de freinage et est également affiché.



1 balance à ressort, 2 moteur, 3 engrenage à vis sans fin, 4 appareil d'affichage et de commande, 5 engrenage droit, 6 frein, 7 bras de levier du frein, 8 accouplement

#### Spécification

- [1] détermination de rendements mécaniques sur des engrenages
- [2] étude sur l'engrenage à vis sans fin et sur l'engrenage droit à 2 étages
- [3] moteur triphasé à vitesse de rotation variable via un convertisseur de fréquence
- [4] frein à particules magnétiques avec couple de freinage réglable par le courant d'excitation
- [5] capteur de vitesse de rotation inductif sur moteur
- [6] affichage de la vitesse de rotation et du courant d'excitation
- [7] détermination des couples sur le moteur et sur le frein au moyen de balances à ressort et de bras de levier

#### Caractéristiques techniques

Moteur triphasé à vitesse de rotation variable

- puissance: 0,25kW
- vitesse de rotation: 0...3000min<sup>-1</sup>

Frein à particules magnétiques

- couple nominal de freinage avec courant d'excitation de 0...0,37A: 0...10Nm

Engrenage droit à deux étages

- rapport de transmission: i=13,5
- couple: 23,4Nm

Engrenage à vis sans fin

- rapport de transmission: i=15
- couple: 10Nm
- vis sans fin: z=2
- roue hélicoïdale: z=40

Plages de mesure

- vitesse de rotation: 0...3000min<sup>-1</sup>
- courant d'excitation 0...0,37A
- force: 1x 0...25N, 1x 0...100N

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

LxLxH: 1060x600x420mm (appareil d'essai)

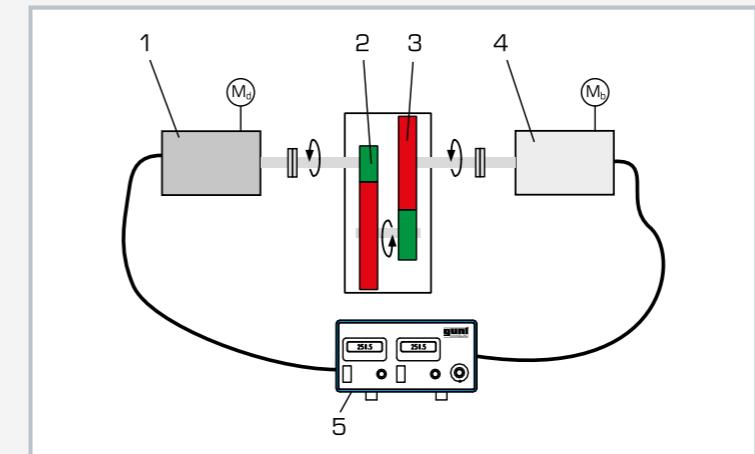
Poids: env. 35kg

LxLxH: 420x450x180mm (appareil d'affichage et de commande)

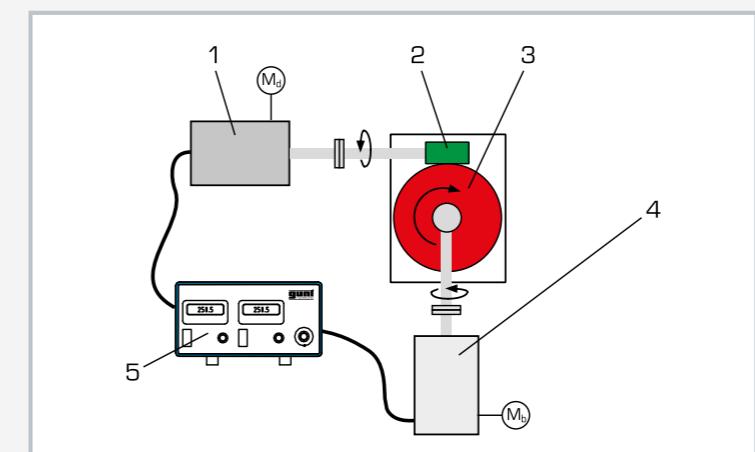
Poids: env. 10kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 2 engrenages
- 1 balance à ressort
- 1 frein
- 1 unité d'entraînement
- 1 documentation didactique



Détermination du rendement avec un engrenage droit à deux étages: 1 moteur, 2 premier étage, 3 deuxième étage, 4 frein, 5 appareil d'affichage et de commande; M<sub>d</sub> couple d'entraînement, M<sub>b</sub> couple de freinage



Détermination du rendement avec un engrenage à vis sans fin: 1 moteur, 2 vis sans fin, 3 roue hélicoïdale, 4 frein, 5 appareil d'affichage et de commande; M<sub>d</sub> couple d'entraînement, M<sub>b</sub> couple de freinage

## Exercices de montage

### Processus de montage

Dans la production industrielle, le terme de montage désigne l'assemblage planifié de composants et modules préusinés, pour obtenir un produit, agrégat ou appareil fini.

Le processus global de montage se décompose en opérations de montage:



Assemblage (DIN 8593)

- agencement
- remplissage
- pressage et incrustation
- assemblage par formage
- assemblage par façonnage
- soudage
- brasage
- collage
- assemblage textile



Manipulation (VDI 2860)

- enregistrement
- modification des quantités
  - ▶ partage
  - ▶ nettoyage
- mouvement
  - ▶ rotation
  - ▶ déplacement
- sécurisation
  - ▶ arrêt
  - ▶ déblocage
- contrôle
  - ▶ test



Opérations spéciales

- nettoyage
- calibrage
- marquage
- lubrification
- ...

### Construction adaptée au montage

Une construction est adaptée de manière optimale au montage, lorsque les étapes de travail requises pour l'assemblage du produit sont peu nombreuses, simples, clairement définies et obligatoires. De la même façon, le montage parallèle de modules doit être planifié dès la construction. Si l'on prévoit un montage entièrement automatisé, des solutions bien étudiées seront

requises, en particulier pour la saisie automatique et sécurisée de la pièce à usiner. Pour avoir une construction adaptée au montage, il faut tenir compte, pour ce dernier, des prérequis et conditions environnantes lors de l'assemblage du produit. La construction adaptée au montage ne peut être enseignée dans le cadre d'un cours théorique; elle doit être pratiquée.

### Conditions de conception

Extrait du livre allemand: Principes de base de la conception mécanique, Klaus-Jörg Conrad

#### Règles pour la conception de pièces adaptées au montage:

- concevoir les pièces de manière à ce qu'il ne soit pas nécessaire de les ordonner avant le montage
- simplifier la position et l'orientation des pièces au moyen de caractéristiques externes, comme par exemple une forme symétrique
- faciliter le positionnement par des biseaux, inserts, lamages, guidages, etc.
- concevoir des points d'assemblage accessibles aux outils, et qui permettent l'observation du processus de montage

#### Règles pour la conception de modules adaptés au montage:

- ajouter progressivement des produits sur des modules bien définis et testables, afin de pouvoir effectuer les opérations de montage avec des mouvements simples
- sélectionner des tolérances adaptées au fonctionnement, mais pas trop restrictives
- observer le démontage et le recyclage lors de la conception
- simplifier ou éviter les procédés d'ajustage par une bonne accessibilité
- réduire le nombre de pièces et de points d'assemblage
- concevoir des modules récurrents

### Exercices de montage

Les exercices de montage de GUNT font partie de la GUNT-Practice Line. Cette série d'appareils a été conçue spécialement pour les domaines du montage, de la maintenance et de la réparation (voir également le catalogue 2). Associés aux modèles en coupe, ces appareils constituent un complément pratique pour le cours de conception mécanique. Avec nos exercices de montage, nous offrons aux professeurs une interface entre les contenus d'apprentissage généraux orientés sur la théorie, et les travaux pratiques en lien étroit avec les applications.

#### Objectifs didactiques

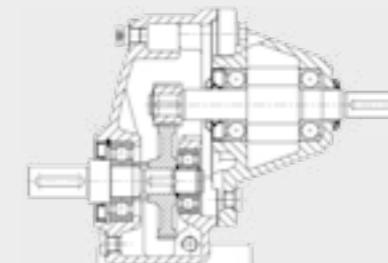
- Acquérir des connaissances étendues en technique de montage en tant que principe de base de la construction des composants
- S'initier aux termes et au langage techniques
- Se familiariser avec les éléments de machine et les pièces normalisées
- Reconnaître des modules, comprendre des fonctions, décrire des systèmes
- Lire et comprendre les documents techniques
- Planifier et exécuter des étapes et procédures de montage
- Se familiariser avec les outils et dispositifs typiques
- Contrôler et évaluer les résultats du travail



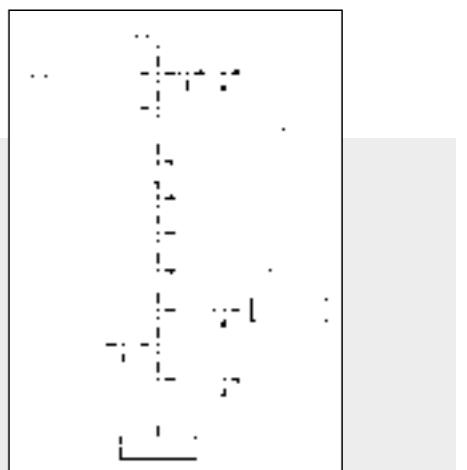
Exemple de liste de livraison typique pour nos exercices de montage avec l'engrenage droit MT152:



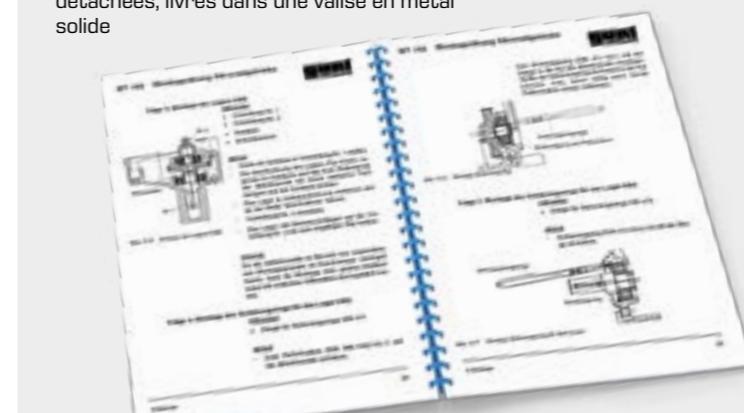
Engrenages droits décomposés en pièces détachées, livrés dans une valise en métal solide



Dessin industriel



Plan de montage



Extrait de la documentation



Engrenage droit entièrement monté

# MT 170

## Montage d'un arbre avec paliers lisses



L'illustration montre la caisse à outils avec le kit d'assemblage et, au premier plan, le palier lisse entièrement monté.

### Description

- **exemple de kit d'assemblage conforme à la pratique : arbre avec paliers lisses**

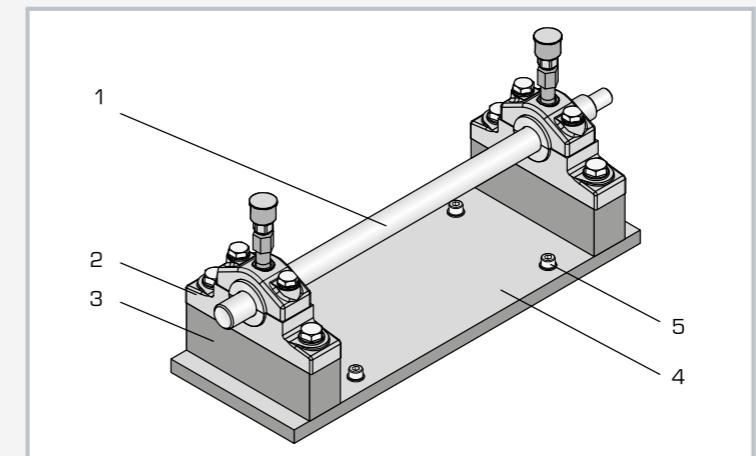
- **partie de la GUNT-Practice Line pour le montage, la maintenance et la réparation**

Sur les paliers lisses, un mouvement de glissement a lieu entre un tourillon et un coussinet de palier. Ce mouvement de glissement est habituellement lubrifié par un fluide intermédiaire. Grâce à l'effet amortissant du lubrifiant dans l'interstice du palier, les paliers lisses fonctionnent de façon particulièrement régulière et silencieuse. Ils amortissent également les vibrations et les chocs provoqués, par exemple, par les roues dentées ou les mécanismes bielle-manivelle. Les paliers lisses sont insensibles aux fortes charges par à-coups, et sont donc fréquemment utilisés sur les machines à piston, les poinçonneuses ou les presses.

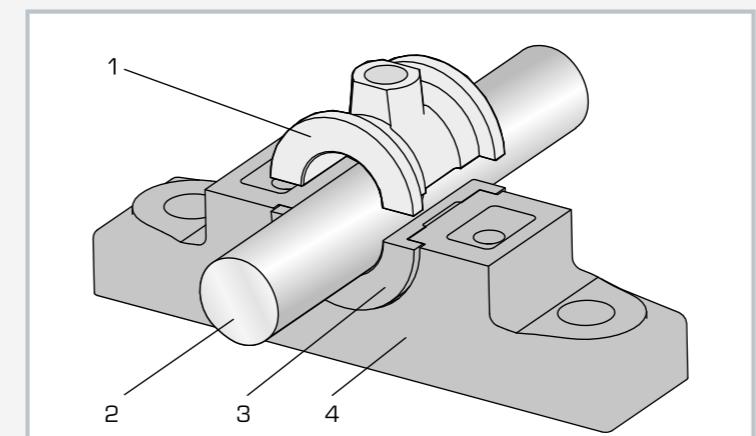
Le MT 170 est constitué d'un arbre en acier poli et de deux chaises paliers divisées horizontalement. Les paliers lisses du MT 170 sont lubrifiés à la graisse, ce qui facilite leur montage. Dans le coussinet de palier supérieur, se trouve un orifice de lubrification avec filet intérieur. On peut y visser un graisseur Stauffer, via un tube intermédiaire pour

### Contenu didactique/essais

- alimentation du palier en lubrifiant.
- fonction et construction d'un palier lisse simple
- montage et démontage, également à des fins de maintenance et de réparation
- mesure du jeu de palier
- vérification de l'alignement
- lecture et compréhension de dessins industriels et de notices d'utilisation
- études des caractéristiques de fonctionnement du palier lisse (avec le MT 172)



1 arbre en acier, 2 chaise palier 3 entretoise 4 plaque de base, 5 vis de fixation pour l'insertion du MT 170 dans le MT 172



1 coussinet de palier supérieur, 2 arbre, 3 coussinet de palier inférieur 4 support de palier

### Spécification

- [1] kit d'assemblage d'un arbre avec paliers lisses
- [2] partie de la GUNT-Practice Line pour le montage, la maintenance et la réparation
- [3] chaise palier divisée horizontalement selon la DIN 505, lubrifiée à la graisse
- [4] arbre en acier trempé et poli
- [5] 2 chaises paliers avec coussinets de palier divisés
- [6] jeu de bandes en plastique pour la mesure du jeu de palier
- [7] contrôle de l'alignement du palier à l'aide d'une pâte de contrôle d'ajustement
- [8] jeu d'outils complet pour le montage
- [9] pièces détachées des paliers lisses et outils rangés dans une solide caisse à outils en tôle d'acier

### Caractéristiques techniques

#### Arbre

- Ø=25mm
- tourillon d'arbre pour accouplement: Ø=16mm

#### Matériaux

- chaise palier, chapeau de palier: fonte grise
- coussinets de palier: bronze selon la DIN 8221
- arbre: acier trempé, poli
- graisseur Stauffer: acier

LxLxH: 640x230x230mm (caisse à outils)

Poids: env. 45kg

### Liste de livraison

- 1 kit d'assemblage complet d'un palier lisse
- 1 accouplement à soufflet métallique pour raccordement au MT 172
- 1 jeu d'outils
- 1 documentation didactique

## MT 171

### Montage d'un palier lisse hydrodynamique



L'illustration montre la caisse à outils avec le kit d'assemblage et l'insert à compartiments pour les pièces détachées. Au premier plan, on voit un palier lisse entièrement monté.

#### Description

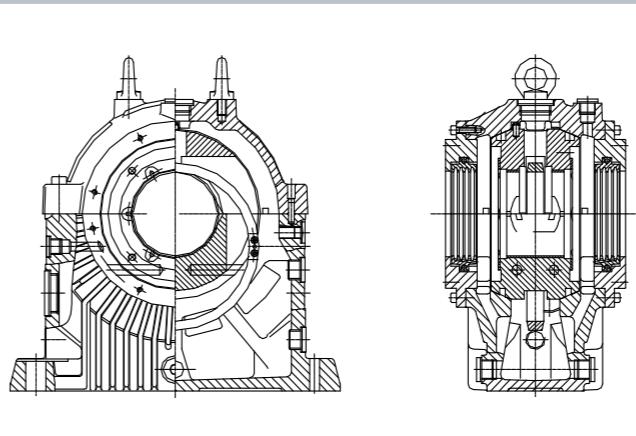
- **exemple de kit d'assemblage conforme à la pratique: le palier lisse hydrodynamique**
- **partie de la GUNT-Practice Line pour le montage, la maintenance et la réparation**

Sur les paliers lisses, un mouvement de glissement a lieu généralement entre un tourillon et un coussinet de palier. Ce mouvement de glissement est habituellement lubrifié par un fluide intermédiaire. Les paliers lisses hydrodynamiques conviennent pour un fonctionnement continu sans usure, les grands diamètres, les vitesses de rotation élevées, et les fortes charges par à-coups. Ils ont habituellement la forme de paliers divisés. La chaleur de friction dégagée en fonctionnement doit être évacuée par le lubrifiant.

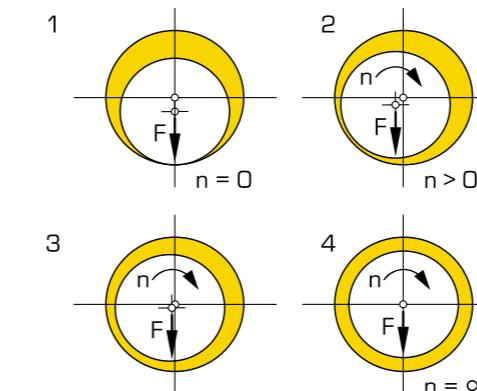
Le MT 171 est une chaise palier lisse hydrodynamique divisée horizontalement. Les coussinets de palier s'appuient sur une surface sphérique dans le logement de palier pour transmettre les forces de manière régulière vers la partie inférieure du logement. La lubrification du palier lisse est assurée par une bague de graissage mobile. Les huiles minérales d'usage courant dans le commerce peuvent être utilisées.

#### Contenu didactique/essais

- fonction et construction d'un palier lisse hydrodynamique
- principes de la lubrification et éléments d'étanchéité
- montage et démontage, également à des fins d'entretien et de réparation
- lecture et compréhension des dessins industriels et des notices d'utilisation



Dessin en coupe d'un palier lisse hydrodynamique



Mode de fonctionnement d'un palier lisse hydrodynamique 1 à 4: formation d'un film d'huile porteur avec une vitesse de rotation croissante

#### Spécification

- [1] kit d'assemblage d'un palier lisse hydrodynamique
- [2] partie de la GUNT-Practice Line pour le montage, la maintenance et la réparation
- [3] palier lisse selon la DIN 31690
- [4] arbre d' entraînement en acier inoxydable
- [5] lubrification par bague de lubrification à l'huile
- [6] joint flottant pour l'étanchéité frontale de l'arbre
- [7] étanchéité des surfaces de contact des moitiés de logement, à l'aide d'un mastic d'étanchéité non durcissant
- [8] jeu d'outils complet pour le montage
- [9] pièces du palier lisse et outils rangés dans une caisse à outils en tôle d'acier

#### Caractéristiques techniques

Alésage du palier  
■ Ø=80mm

Arbre d' entraînement  
■ diamètre nominal: Ø=80mm

#### Matériaux

- logement de palier: fonte grise
- coussinets de palier: corps support en acier, avec revêtement en métal blanc
- joint d'étanchéité: plastique résistant aux températures élevées renforcée de fibres
- arbre: acier inoxydable

LxLxH: 690x360x312mm (caisse à outils)  
Poids: env. 60kg

#### Liste de livraison

- 1 kit d'assemblage complet d'un palier lisse hydrodynamique
- 1 arbre d' entraînement
- 1 jeu d'outils
- 1 tube de mastic d'étanchéité non durcissant
- 1 documentation didactique

# MT 152

## Montage d'un engrenage droit

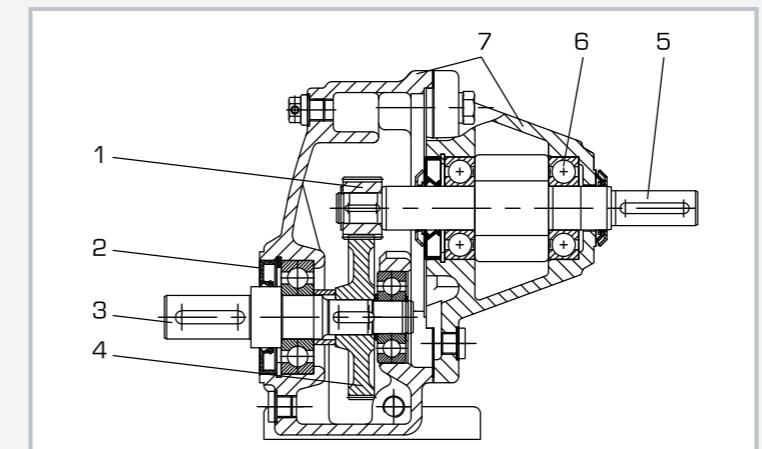


### Contenu didactique/essais

- fonction et construction d'un engrenage droit à denture hélicoïdale
- planification et présentation des opérations de montage
- montage et démontage, également à des fins de maintenance et de réparation
- lecture et compréhension de dessins industriels
- exercices de cotation, mesure de pièces
- familiarisation avec différents éléments de machine: roulements à billes, garnitures d'étanchéité d'arbre
- familiarisation avec les auxiliaires et dispositifs de montage
- critères de sélection des matériaux



L'illustration montre l'engrenage droit entièrement monté.



1 pignon, 2 garniture d'étanchéité d'arbre, 3 arbre de sortie, 4 roue dentée, 5 arbre d'entraînement, 6 roulement à billes, 7 parties du carter

### Description

- exemple de kit d'assemblage conforme à la pratique: l'engrenage droit
- champ d'apprentissage étendu avec des problématiques interdisciplinaires
- partie de la GUNT-Practice Line pour le montage, la maintenance et la réparation

Les engrenages transmettent des mouvements rotatifs. Ils servent à adapter les couples et vitesses de rotation d'un entraînement aux besoins d'un consommateur.

Le montage MT 152 traite d'un engrenage droit à denture hélicoïdale. L'engrenage est à un étage, et a une transmission fixe (engrenage à rapport fixe). Il fait partie des engrenages autonomes, c.-à-d. qu'il s'agit d'une boîte d'engrenage avec son propre carter. Les engrenages autonomes sont le plus souvent disposés entre le moteur et la machine réceptrice, ou sont utilisés comme jeux de pièces de montage.

dans des machines. Inversement, on parle d'engrenages non autonomes pour les couplages de roues dentées apparentes d'une machine.

Les roues droites à denture hélicoïdale tournent plus régulièrement et moins bruyamment que celles à denture droite, car l'engrènement des dents se déroule de manière progressive, et plusieurs dents sont en prise. Les roues droites à denture hélicoïdale conviennent aux vitesses de rotation élevées, et supportent des sollicitations plus importantes que des roues comparables à denture droite.

Le kit d'assemblage MT 152 fait partie de la GUNT-Practice Line pour le montage, la maintenance et la réparation; il est conçu pour l'apprentissage pratique dans l'enseignement professionnel et les centres de formation continue. Il offre un lien évident et étroit entre les connaissances théoriques et pratiques.

Montage et démontage sont aisément réalisables pendant la durée habituelle d'un cours. Pour ces travaux, les outils simples fournis sont les seuls nécessaires. Les dispositifs d'ajustement de l'engrenage sont conçus de telle sorte que l'ensemble du montage puisse s'effectuer par la force manuelle.

Une forme de travail appropriée durant le cours est la collaboration, en grande partie autonome, d'un petit groupe de deux à trois élèves. Les tâches doivent être clairement définies et réparties au sein du groupe.

La documentation didactique détaillée est conforme à la pratique. Il est constitué pour l'essentiel d'un jeu complet de dessins avec un dessin global, la liste de pièces et les dessins des différentes pièces.

### Spécification

- [1] kit d'assemblage d'un engrenage droit
- [2] partie de la GUNT-Practice Line pour le montage, la maintenance et la réparation
- [3] engrenage droit démonté avec jeu de petites pièces et 4 dispositifs de montage livrés dans une valise stable avec mousse de protection
- [4] roues droites à denture hélicoïdale
- [5] engrenage composé d'un carter d'entraînement, d'un carter d'embase, d'arbres de sortie et d'arbres d'entraînement, d'une roue d'entraînement et d'un pignon de sortie, ainsi que de paliers

### Caractéristiques techniques

Dimensions de l'engrenage sans raccords d'arbre  
 ■ LxLxH: 160x135x175mm

#### Transmission

- pignon: nombre de dents: z=24, module normal: m=1mm
- roue dentée: nombre de dents: z=68, module normal: m=1mm
- rapport de transmission: i=2,83

Couple de sortie max.: 54Nm à 494min<sup>-1</sup>

#### Matériaux

- carter: fonte grise
- arbres: acier de traitement
- roues droites: acier de cémentation allié

#### Raccords d'arbre

- entraînement: Øxl: 16x40mm
- sortie: Øxl: 20x40mm

LxLxH: 600x450x180mm (valise)  
 Poids: env. 18kg

### Liste de livraison

- 1 kit d'assemblage complet d'un engrenage droit
- 1 jeu d'outils
- 1 documentation didactique

## MT 110.02

### Montage d'un engrenage droit et à vis sans fin



L'illustration montre la caisse à outils avec le kit d'assemblage et, au premier plan, l'insert avec compartiments pour les outils et les petites pièces.

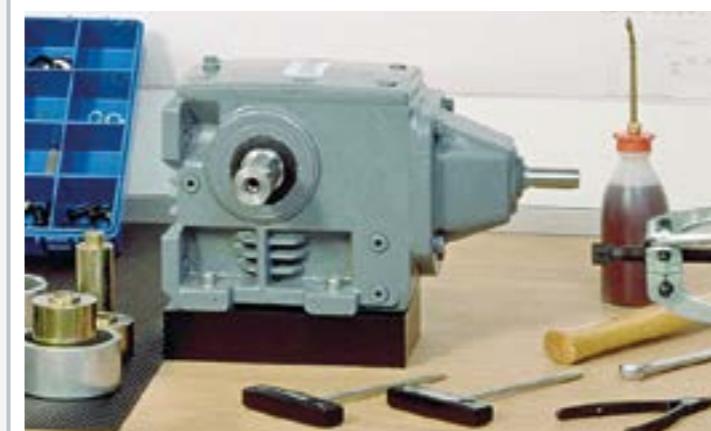
#### Description

- **kit d'assemblage d'un engrenage industriel conforme à la pratique, réalisable avec des outils et dispositifs simples**
- **champ d'apprentissage étendu avec des problématiques interdisciplinaires**
- **partie de la GUNT-Practice Line pour le montage, la maintenance et la réparation**

Le MT 110.02 traite d'un engrenage à deux étages. Le kit d'assemblage comprend toutes les pièces nécessaires au montage de l'engrenage. L'engrenage possède un étage d'entrée à roues droites, suivi d'un étage à vis sans fin (engrenage combiné). Les dispositifs d'ajustement de l'engrenage sont conçus de telle sorte que l'ensemble du montage puisse s'effectuer par la force manuelle. Ce kit d'assemblage est conçu sous forme de projet, permettant un travail varié et surtout interdisciplinaire durant le cours. Ce projet est particulièrement recommandé pour les cours orientés vers la pratique, associant travail autonome des élèves et travail d'équipe.

#### Contenu didactique/essais

- fonction et construction d'un engrenage combiné
- lecture et compréhension de dessins techniques
- composants et modules, caractéristiques de construction et fonctions
- exercices de cotation, mesure de pièces
- planification du travail, en particulier planification et présentation des étapes de montage
- familiarisation avec les auxiliaires et dispositifs de montage
- exercices de montage: montage de modules et de l'ensemble
- analyse de dysfonctionnements et dommages, en association avec des opérations de maintenance et de réparation
- critères de sélection des matériaux
- avec le MT 172
  - test fonctionnel de l'engrenage monté



L'illustration montre l'engrenage combiné entièrement monté.

#### Spécification

- [1] kit d'assemblage d'un engrenage droit et à vis sans fin
- [2] partie de la GUNT-Practice Line pour le montage, la maintenance et la réparation
- [3] engrenage démonté complet avec jeu de petites pièces et 12 dispositifs de montage dans une caisse de rangement
- [4] étage droit à denture hélicoïdale
- [5] étage à roue hélicoïdale avec vis sans fin cylindrique et roue globique
- [6] engrenage composé d'un carter d' entraînement, d'un carter d'embase de vis sans fin, d'arbres de sortie et d'arbres d' entraînement, d'un étage droit et d'un étage à vis sans fin

#### Caractéristiques techniques

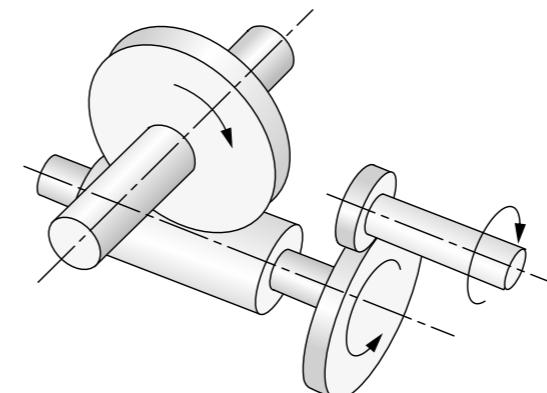
Dimensions de l'engrenage sans raccords d'arbre  
■ LxLxH: 282x138x188mm, env. 22kg

#### Transmissions

- étage droit:  $i=2,83$
- étage à vis sans fin:  $i=12,33$
- rapport de transmission global:  $i=34,89$

#### Étage droit

- pignon: nombre de dents:  $z=24$ , module normal:  $m=1\text{mm}$
- roue dentée:  $z=68$ ,  $m=1\text{mm}$



Principe d' entraînement de l'engrenage droit et à vis sans fin à deux étages

#### Étage à vis sans fin

- vis sans fin:  $z=3$
- roue hélicoïdale:  $z=37$ ,  $m=2,578\text{mm}$

Couple de sortie max.: 212Nm

#### Matériaux

- carters: fonte grise
- arbres: acier de traitement
- roues droites, vis sans fin: acier de cémentation allié

#### Raccords d'arbre

- entraînement: Øxl: 16x40mm
- sortie: Øxl: 30x60mm

LxLxH: 700x380x320mm (caisse à outils)

Poids: env. 38kg

#### Liste de livraison

- 1 jeu complet de pièces d'un engrenage
- 1 jeu de joints
- 1 jeu d'outils
- 1 documentation didactique

## MT 172

### Alignement d'entraînements, d'arbres et d'engrenages



L'illustration montre le MT 172 avec un engrenage monté à partir du kit d'assemblage MT 110.02.

#### Description

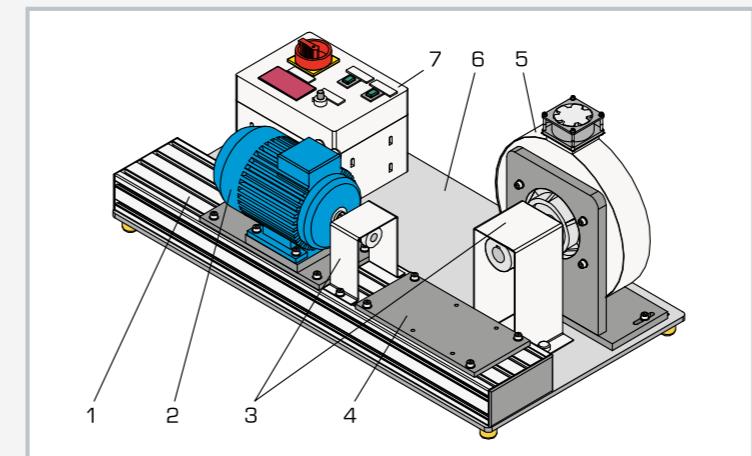
- **montage et alignement d'éléments d'entraînement**
- **compréhension de la technique d'entraînement mécanique dans toute sa diversité**
- **test fonctionnel sur des kits d'assemblage GUNT montés**

Le MT 172 permet d'effectuer les tests fonctionnels des appareils d'essai MT 170 (arbre monté sur paliers lisses), MT 110 et MT 110.02 (engrenages combinés). L'élément assemblé – palier lisse ou engrenage – est placé dans le dispositif de contrôle MT 172. On y effectue alors le montage dans les règles de l'art de l'ensemble du système, en particulier l'alignement des composants système. Un projet de montage réussi peut ensuite être clôturé par un contrôle final formel. Les paramètres de test sont les bruits de roulement, le dégagement de chaleur, les vibrations ou les défauts d'étanchéité.

Le MT 172 comprend un moteur asynchrone monophasé pour l'entraînement, un frein à particules magnétiques avec un couple de freinage réglable, et un banc de machine rigide avec rainures en T, lequel accueille le moteur et l'élément à contrôler.

#### Contenu didactique/essais

- en association avec les MT 170 et MT 110.02
  - ▶ montage et alignement d'engrenages ou d'arbres montés sur paliers lisses
  - ▶ planification et exécution de contrôles finaux sur un engrenage à roues droites et à vis sans fin (MT 110.02); sur un arbre monté sur paliers lisses (MT 170)
  - ▶ familiarisation avec les composants des engrenages et leurs fonctions
- en association avec l'engrenage combiné MT 110.02
  - ▶ contrôle du fonctionnement de l'engrenage avec un test de charge après le montage
  - ▶ comportement de marche de l'engrenage sous charge variable; évaluation des bruits de roulement; étude de l'échauffement; vérification de l'absence de défauts d'étanchéité
- en association avec l'arbre monté sur paliers lisses MT 170
  - ▶ caractéristiques de fonctionnement d'un palier lisse



1 banc de machine, 2 moteur d'entraînement, 3 capot de protection pour accouplement, 4 plaque de montage pour engrenage combiné, 5 frein à particules magnétiques, 6 plaque de base avec éléments élastiques d'amortissement des vibrations, 7 coffret de commande avec éléments d'affichage et de commande



L'illustration montre le MT 172 avec l'arbre monté sur paliers lisses MT 170.

#### Spécification

- [1] appareil d'essai pour le test fonctionnel de systèmes d'engrenages mécaniques: arbre sur paliers lisses, engrenage combiné
- [2] partie de la GUNT-Practice Line pour le montage, la maintenance et la réparation
- [3] moteur asynchrone monophasé avec accouplement à soufflet métallique
- [4] frein à particules magnétiques à ventilation forcée avec accouplement à griffes, puissance de freinage réglable via un potentiomètre
- [5] banc de machine en aluminium à rainures en T pour le montage variable des composants de l'engrenage
- [6] coffret de commande avec éléments de commande et affichage numérique du courant d'excitation du frein à particules magnétiques
- [7] caps de protection pour les accouplements

#### Caractéristiques techniques

##### Moteur d'entraînement

- moteur asynchrone à 4 pôles
- puissance max.: 0,55kW
- vitesse de rotation:  $1400\text{min}^{-1}$

##### Frein à particules magnétiques avec ventilateur et sonde de température

- couple de freinage nominal pour un courant d'excitation 0..0,4A
  - ▶ 0...45Nm
- couple de freinage max. à 1A: 110Nm
- protection thermique à bilame: 70°C

##### Banc de machine en aluminium avec rainures en T

- espace de montage: LxL: 640x160mm
- écartement des rainures: 40mm
- pour coulisseaux M8

230V, 50Hz, 1 phase  
120V, 60Hz, 1 phase; 230V, 60Hz, 1 phase  
UL/CSA en option  
Lxlxh: 950x500x450mm  
Poids: env. 75kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de vis, écrous à encoches, rondelles
- 1 jeu de cales
- 1 jeu d'outils
- 1 documentation didactique

# MT 190

## Montage: machine d'essais de matériaux



### Description

- **kit d'assemblage d'un appareil pour les essais de base des matériaux**
- **extensible grâce à l'acquisition électronique de données**
- **partie de la GUNT-Practice Line pour le montage, la maintenance et la réparation**

Le MT 190 est livré sous la forme d'un kit d'assemblage, et comprend toutes les pièces de montage mécanique, instruments de mesure, composants hydrauliques avec éléments d'étanchéité, ainsi que le matériel de tuyauterie avec toutes les pièces de raccordement. Le montage comprend le montage mécanique de base, le montage hydraulique des deux vérins, et le montage des conduites. Tous les outils et accessoires nécessaires à cet effet, ainsi qu'une documentation didactique très complète, sont inclus dans la liste de livraison.

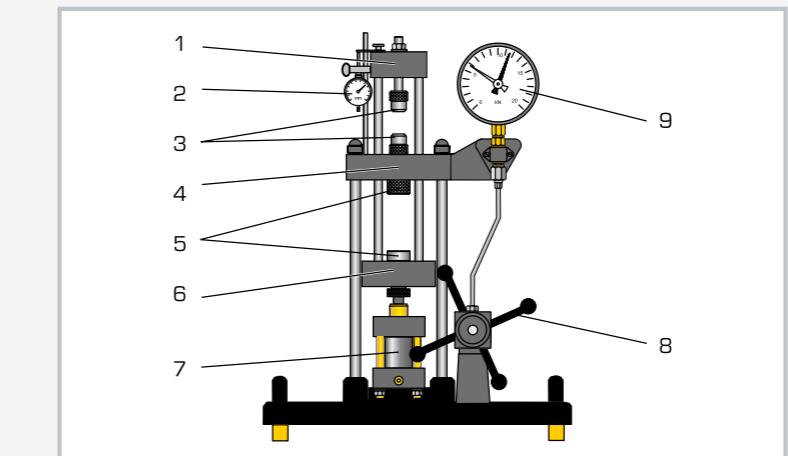
Le kit d'assemblage MT 190.01 étend les possibilités d'essai en permettant le montage d'un système d'acquisition de données. À l'aide du MT190, les étudiants ou élèves peuvent apprendre à travailler dans le cadre d'un projet complexe. Il est ici question de la planification, de la réalisation et de la vérification des procédures de montage, mise en service et réparation.

### Contenu didactique/essais

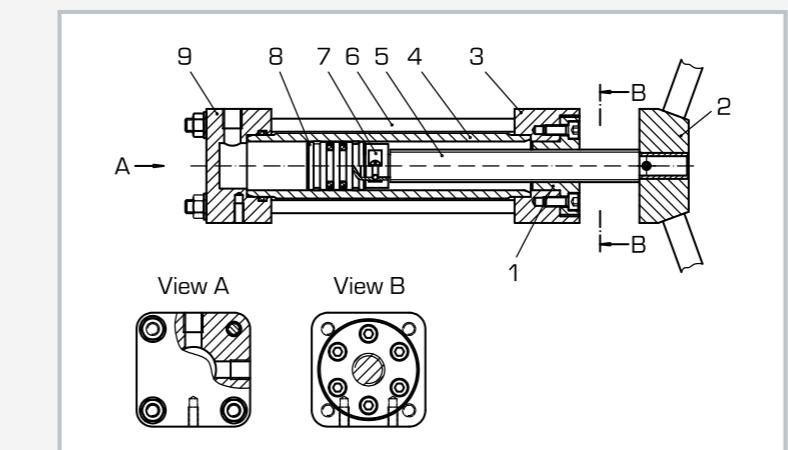
- lecture et compréhension des documents techniques
- planification et exécution des étapes et du déroulement du montage
- familiarisation avec les éléments de machine et leurs composants
- mise en service et contrôle d'une machine d'essai de matériaux, après en avoir effectué le montage
- planification, exécution et évaluation de procédures de maintenance
- analyse d'anomalies: recherche de pannes, évaluation et dépannage
- après exécution du montage
  - ▶ essai de traction sur des éprouvettes métalliques
  - ▶ enregistrement de diagrammes force-allongement
  - ▶ essai de dureté Brinell

Une fois monté, l'appareil d'essai MT 190 constitue une véritable machine d'essai de matériaux entièrement fonctionnelle, permettant d'exécuter des essais de traction et des essais de dureté Brinell. L'appareil d'essai a été spécialement développé pour les essais en petits groupes, et se distingue par sa conception claire, son utilisation simple et le remplacement rapide des accessoires.

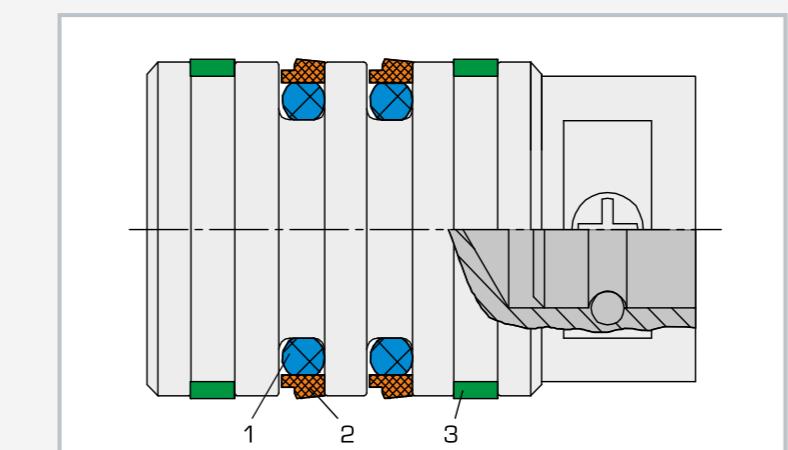
Les éprouvettes de traction sont serrées entre la traverse supérieure et la traverse fixe. Les éprouvettes de dureté sont fixées entre la traverse fixe et la traverse inférieure. La force d'essai est produite par un système hydraulique à commande manuelle, et affichée sur un dynamomètre à cadran avec aiguille entraînée. L'allongement des éprouvettes est enregistré via la mesure du déplacement, à l'aide d'un comparateur à cadran mécanique.



1 traverse supérieure, 2 comparateur à cadran pour l'allongement, 3 dispositif de serrage, 4 traverse fixe, 5 élément de pression et plaque de compression, 6 traverse inférieure, 7 vérin hydraulique, 8 roue à main, 9 dynamomètre à cadran



Dessin en coupe du vérin hydraulique horizontal: 1 écrou trapèze, 2 axe du volant à main, 3 flasque côté manivelle, 4 tube du vérin, 5 tige à filet trapézoïdal, 6 boulon de serrage, 7 pièce de sécurité, 8 piston, petit, 9 flasque côté pression



Détails du piston: 1 joint torique, 2 bague d'étanchéité du piston, 3 bague de guidage

### Spécification

- [1] kit d'assemblage d'une machine d'essai de matériaux
- [2] partie de la GUNT-Practice Line pour le montage, la maintenance et la réparation
- [3] montage hydraulique de 2 cylindres
- [4] montage des tuyauteries du système hydraulique
- [5] essais destructifs classiques de l'essai des matériaux: essais de traction, essai de dureté Brinell
- [6] génération de forces de traction et de compression
- [7] génération de forces par un système hydraulique à commande manuelle; aucune alimentation électrique requise
- [8] dynamomètre à cadran, instrument à aiguille entraînée
- [9] comparateur à cadran pour la détermination de la longueur
- [10] éprouvettes de dureté: aluminium, cuivre, acier, laiton
- [11] éprouvettes de traction conformes à la DIN 50125: aluminium, cuivre, acier, laiton
- [12] kit d'assemblage d'un système d'acquisition des données MT 190.01 disponible en option

### Caractéristiques techniques

Force d'essai: 20kN max.

Course: max. 45mm

Espace de montage libre pour les éprouvettes: 165x65mm

Éprouvettes de traction: B6x30mm, DIN 50125

Éprouvettes de dureté: LxLxH 30x30x10mm

Bille pour l'essai de dureté: diamètre Ø=10mm

Plages de mesure

- force: 0...20kN, graduation: 0,5kN
- déplacement: 0...10mm, graduation: 0,01mm

LxLxH: 610x520x850mm (monté)

Poids: env. 53kg

### Liste de livraison

- 1 kit d'assemblage complet d'une machine d'essai de matériaux
- 1 dynamomètre à cadran
- 1 comparateur à cadran pour la détermination de la longueur
- 1 jeu d'outils et d'auxiliaires de montage
- 1 jeu de petites pièces et pièces de montage (entre autres, joints)
- 1 jeu d'éprouvettes de traction
- 1 jeu d'éprouvettes de dureté
- 1 documentation didactique qui inclut: la description technique du système, le jeu de dessins complet des différentes pièces et la liste de pièces, la description des procédures de maintenance et de réparation, des propositions d'exercices

## MT 190.01

### Montage: acquisition de données pour essais de matériaux



#### Description

- **kit d'assemblage interdisciplinaire et touchant à de nombreux domaines d'apprentissage de la mécanique et de l'électronique**
- **système d'acquisition de données entièrement fonctionnel pour une machine d'essai de matériaux avec connexion USB et logiciel**

Le MT 190.01 est livré sous forme de kit d'assemblage et comprend tous les composants et le matériel requis pour la construction d'un système professionnel d'acquisition de données. Le montage inclut le montage de base mécanique et le câblage conformément au schéma de câblage. Tous les outils et accessoires nécessaires à cet effet, ainsi qu'une documentation didactique très complète, sont inclus dans la liste de livraison.

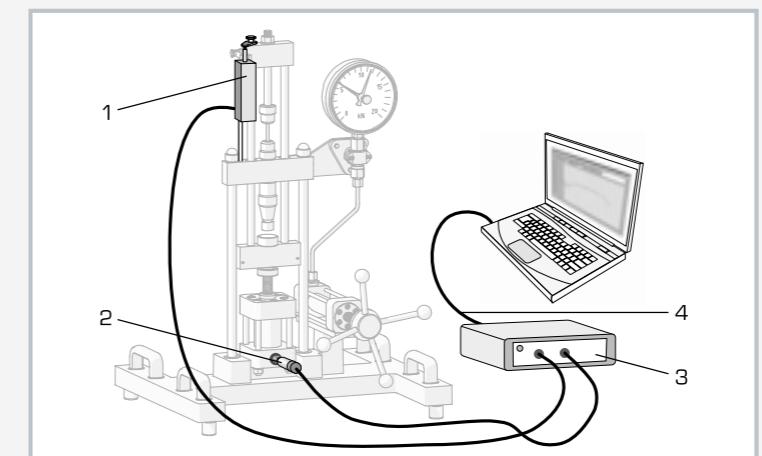
Une fois monté, le système MT 190.01 constitue un véritable système d'acquisition de données, entièrement fonctionnel, permettant de mesurer les modifications de pression [forces] et de longueur.

#### Contenu didactique/essais

- principes de base de l'acquisition de données: familiarisation avec les capteurs, systèmes électroniques d'acquisition et d'édition des valeurs de mesure, interface, logiciel
- lecture et compréhension de documents techniques
- planification et exécution d'étapes et de procédures de montage
- mise en service et contrôle d'un système d'acquisition de données après son montage
- intégration système: raccordement de la machine d'essai de matériaux au système d'acquisition de données
- avec le système MT 190
  - ▶ enregistrement de diagrammes force-allongement ou de diagrammes contrainte-déformation
  - ▶ traitement, représentation et sauvegarde des données
  - ▶ édition des diagrammes sur imprimante

Ces valeurs sont exploitées sur un PC à l'aide du logiciel d'interprétation. Le système d'acquisition de données étend sensiblement les possibilités du projet de montage MT 190. Les deux projets forment ensemble une machine d'essai de matériaux moderne avec acquisition de données, convenant à un grand nombre d'essais.

À l'aide du MT190.01, les étudiants ou élèves peuvent apprendre à travailler dans le cadre d'un projet complexe. Il est ici question de la planification, de la réalisation et de la vérification des procédures de montage, mise en service et réparation.



Raccordement du système d'acquisition de données à l'appareil de base: 1 capteur de déplacement, 2 capteur de pression pour la mesure de la force, 3 amplificateur de mesure, 4 câble USB



Système d'acquisition de données entièrement monté avec le CD du logiciel  
Au premier plan: à gauche: capteur de pression, à droite: capteur de déplacement

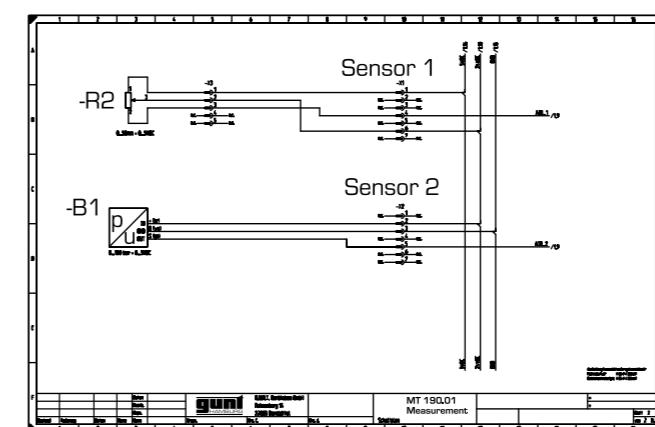


Schéma de câblage: raccordement des capteurs de pression et de déplacement

#### Spécification

- [1] kit d'assemblage pour la construction d'un système d'acquisition de données pour une machine d'essai de matériaux
- [2] partie de la GUNT-Practice Line pour le montage, la maintenance et la réparation
- [3] potentiomètre linéaire pour la mesure du déplacement
- [4] mesure de la force au moyen d'un capteur de pression
- [5] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10
- [6] logiciel d'enregistrement, de traitement et de sauvegarde des diagrammes contrainte-déformation

#### Caractéristiques techniques

Capteur de pression pour la mesure de la force  
■ 0...100bar

Capteur de déplacement  
■ 0...50mm

Amplificateur de mesure avec connexion USB

- entrée: 0...5V
- résolution: 12bit

230V, 50Hz, 1 phase  
120V, 60Hz, 1 phase; 230V, 60Hz, 1 phase  
UL/CSA en option  
Lxhx: 225x200x75mm (amplificateur)  
Poids: env. 5kg

#### Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

#### Liste de livraison

- 1 kit d'assemblage complet d'un système d'acquisition de données
- 1 capteur de pression
- 1 capteur de déplacement
- 1 jeu d'outils de montage
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique qui inclut: la description technique du système, le jeu de dessins complet des différentes pièces et la liste de pièces, le schéma de câblage, la description des procédures de maintenance et de réparation, des propositions d'exercices

# Essai des matériaux

## Introduction

<b>Aperçu</b> Méthodes d'essai mécanique	316
<b>Aperçu</b> Cours: principes de base de l'essai des matériaux	326

## Traction, compression, flexion et dureté

<b>WP 300</b> Essai des matériaux, 20 kN	332
<b>WP 310</b> Essai des matériaux, 50 kN	334
<b>SE 100</b> Bâti pour essais de charge, 400 kN	336
<b>SE 110.48</b> Essai de flexion, déformation plastique	338

## Essai de résilience

<b>WP 400</b> Essai de résilience, 25 Nm	340
<b>WP 410</b> Essai de résilience, 300 Nm	342

## Essai de torsion

<b>WP 500</b> Essai de torsion, 30 Nm	344
<b>WP 510</b> Essai de torsion 200 Nm, entraînement moteur	346

## Fatigue du matériau

<b>WP 140</b> Essai de résistance à la fatigue	348
<b>WP 600</b> Essai de flUAGE	350

## Tribologie et corrosion

<b>Aperçu</b> Tribologie et corrosion	352
<b>TM 260</b> Dispositif d'entraînement pour essais de tribologie	354
<b>TM 260.01</b> Frottement de roulement sur des roues de friction	356
<b>TM 260.02</b> Comportement élasto-hydrodynamique	358
<b>TM 260.03</b> Frottement de glissement sur goupille – disque	360
<b>TM 260.04</b> Vibrations à friction	362
<b>TM 260.05</b> Frottement de glissement sur goupille cylindrique – rouleau	364
<b>TM 260.06</b> Répartition de pression dans des paliers lisses	366
<b>TM 232</b> Frottement dans les paliers	368
<b>TM 282</b> Frottement dans des paliers lisses	370
<b>TM 280</b> Répartition de pression dans des paliers lisses	372
<b>TM 290</b> Palier lisse avec lubrification hydrodynamique	374
<b>CE 105</b> Corrosion des métaux	376

# Méthodes d'essai mécanique

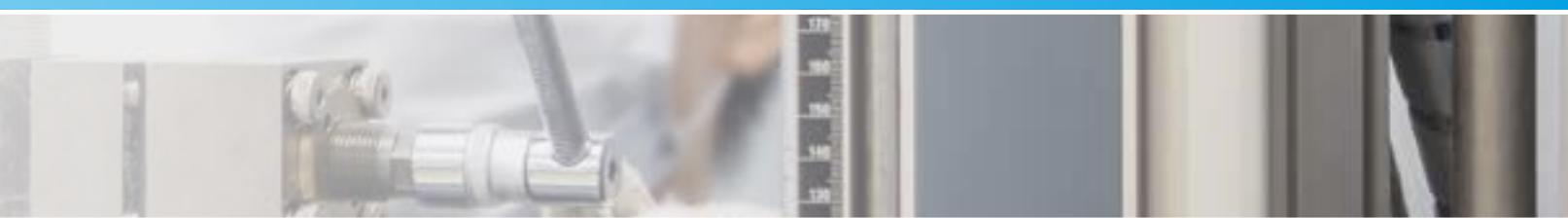
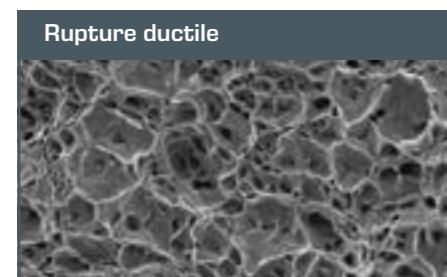
L'essai des matériaux étudie le comportement des matériaux soumis à différentes sollicitations. Il s'agit pour l'essentiel d'observer le rapport qui existe entre les forces appliquées et la déformation, ainsi que les sollicitations limites résultantes entraînant une défaillance des composants.

Les valeurs caractéristiques obtenues par les méthodes d'essai mécanique sont utilisées dans le développement des matériaux, la conception des composants, ainsi que dans l'application de l'assurance qualité. Afin de caractériser aussi précisément que possible les propriétés des matériaux, on dispose d'une série de méthodes d'essai normalisées:

Propriété mécanique	Méthode d'essai
Élasticité, plasticité	Essai de traction, essai de compression, essai de flexion, essai de torsion
Comportement des matériaux soumis à une sollicitation statique	
Comportement au fluage	Essai de fluage
Dureté	Brinell, Rockwell, Vickers
Ténacité	Essai de résilience
Comportement à la fatigue, résistance à la durée / aux efforts alternés	Essai de Wöhler

On se sert du comportement de rupture d'un matériau pour le caractériser. L'aperçu suivant montre le rapport qui existe entre le mécanisme de rupture et la sollicitation:

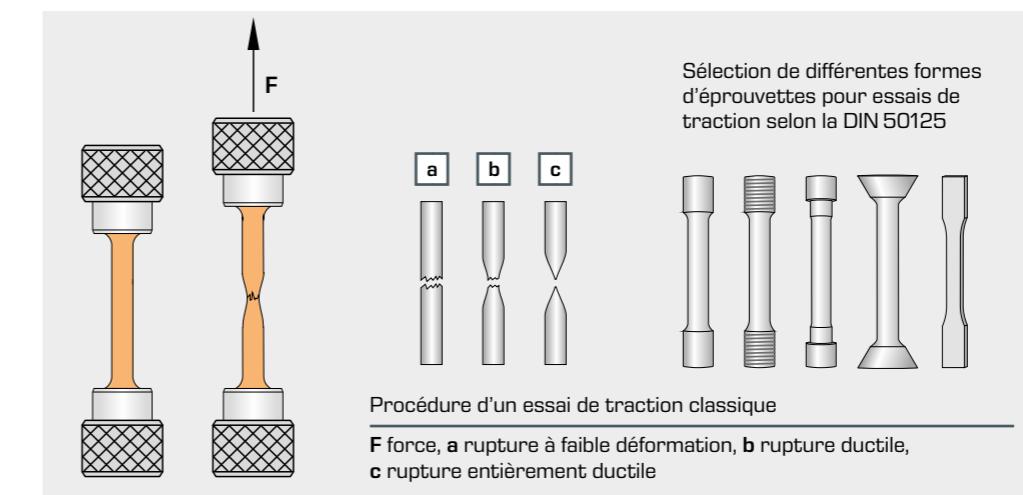
Forme de rupture	Mécanisme de rupture	Sollicitation
<b>Rupture par la force</b> ■ se produit brutalement ■ surface mate ou cristalline brillante, partiellement déchiquetée sur l'ensemble de sa coupe transversale; en cas de rupture de déformation, des lèvres de cisaillement apparaissent souvent en bordure	<b>Sursollicitation statique</b> a) il se produit une rupture par clivage à faible déformation, lorsque la contrainte normale la plus élevée dépasse la contrainte de rupture par clivage b) la rupture de déformation (rupture ductile microscopique) se produit lorsque la contrainte de cisaillement la plus élevée dépasse la contrainte de fluage c) une rupture intercristalline à faible déformation peut se produire en cas de diminution de la cohésion limite des grains sous l'influence d'une contrainte normale	Essai de traction, essai de résilience
<b>Rupture par fatigue</b> ■ peut apparaître au terme de sollicitations répétées sous l'influence de contraintes de cisaillement et de contraintes normales ■ rupture à faible déformation	<b>Sursollicitation dynamique</b> Des fissures par vibration se propagent au travers du matériau, en raison de la présence d'entailles ou d'endroits défectueux. Lorsque la résistance du matériau est dépassée, la surface résiduelle subit une rupture par la force.	Essai de Wöhler
<b>Rupture par fluage</b> ■ phénomène continu qui dépend du temps ■ apparaît à des températures élevées et entraîne une rupture, bien que la sollicitation du matériau soit inférieure à la limite élastique à chaud ■ la présence de pores aux limites de grain provoque l'endommagement du matériau	<b>Sollicitation statique, p.ex. température élevée</b> D'innombrables fissures apparaissent indépendamment les unes des autres	Essai de fluage



## Essai de traction pour la détermination de la résistance à la traction et de l'allongement de rupture

L'essai de traction est considéré comme étant la principale méthode des essais destructifs des matériaux. Dans ce dernier, l'éprouvette normalisée de coupe transversale connue est soumise à une force de croissance relativement faible dans la

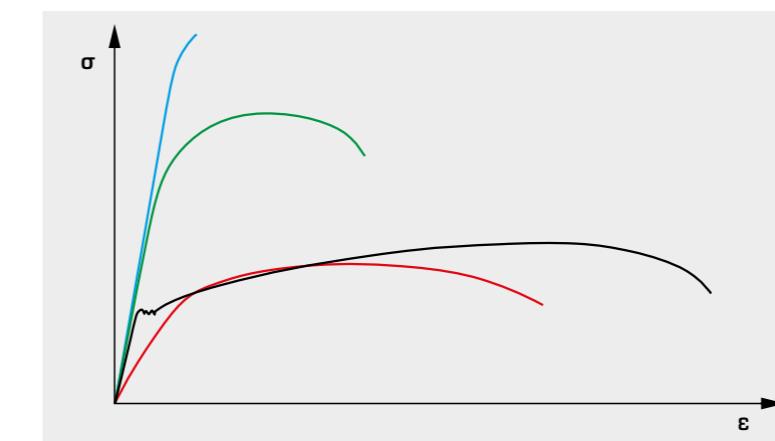
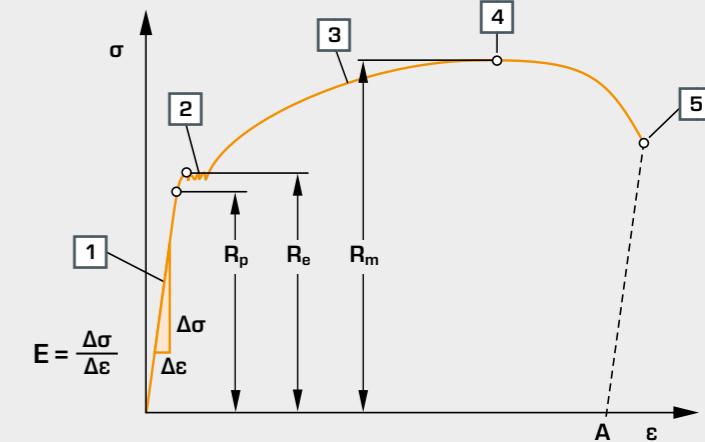
direction longitudinale jusqu'à la rupture. Avant que la striction ne débute, l'éprouvette présente un état de contrainte axiale. Le diagramme force-allongement enregistré permet d'illustrer le rapport qui existe entre la contrainte et la déformation.



## Diagramme contrainte-déformation

Le diagramme contrainte-déformation met très bien en évidence les différences de comportement des matériaux, et fournit les valeurs caractéristiques de résistance à la traction  $R_m$ , limite d'élasticité  $R_e$ , limite de proportionnalité  $R_p$ , allongement de rupture  $A$  et module d'élasticité  $E$ .

$\sigma$  contrainte,  $\epsilon$  déformation,  $R_p$  limite de proportionnalité,  $R_e$  limite d'élasticité,  $R_m$  résistance à la traction,  $A$  allongement de rupture  
1 droite de Hooke, 2 déformation de Lüders, 3 plage de renfort, 4 début de la striction, 5 rupture

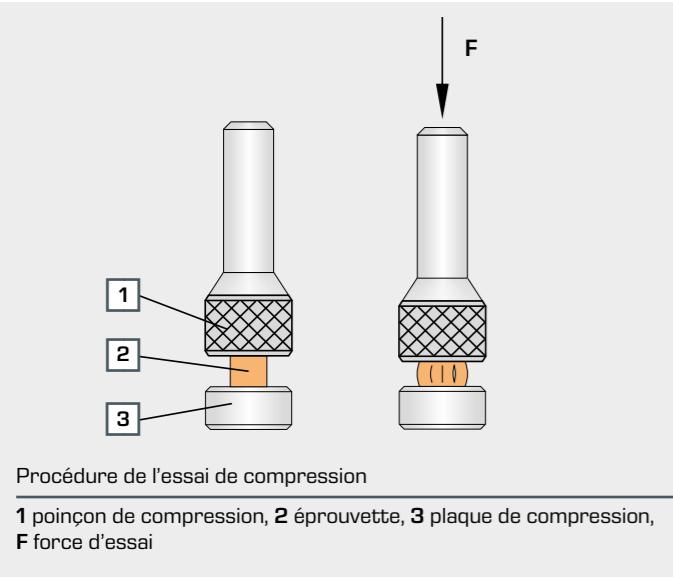


Chaque matériau a une courbe caractéristique de déformation et de contrainte.

- acier trempé: très haute résistance à la traction
- acier trempé et revenu: haute résistance à la traction
- acier de faible résistance: déformation très importante, faible résistance à la traction
- alliage d'aluminium: faible module d'élasticité

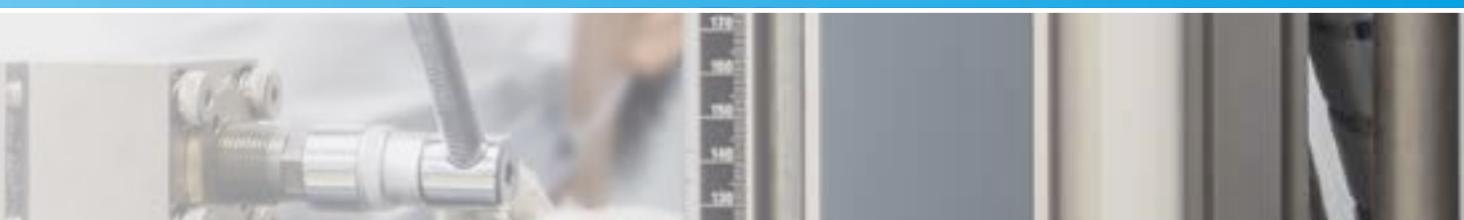
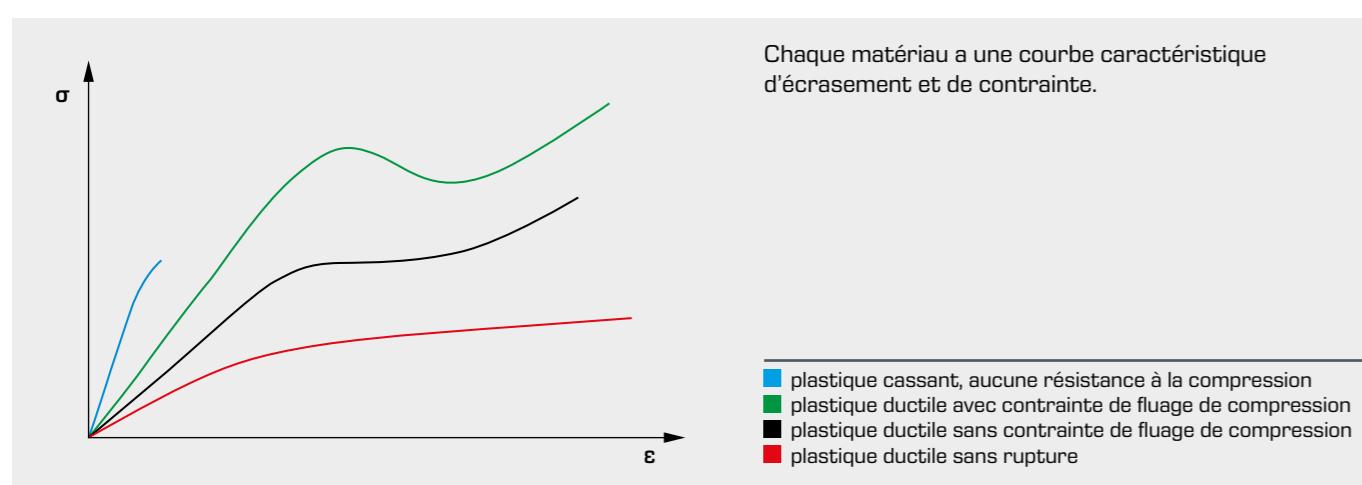
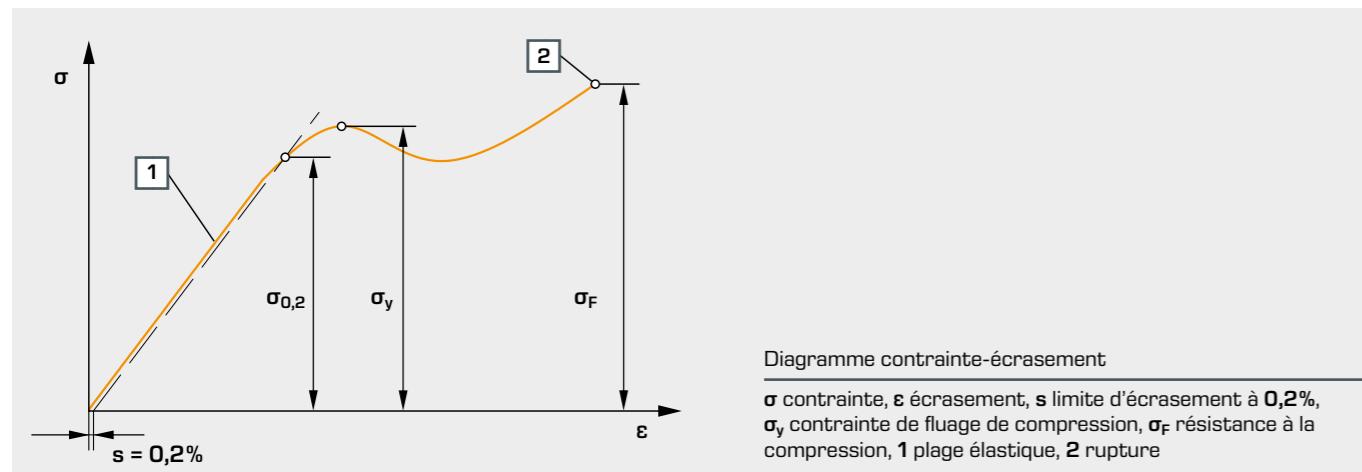
# Méthodes d'essai mécanique

## Essai de compression pour la détermination des courbes de fluage



Les essais de compression tiennent une place moins importante que les essais de traction dans le contrôle des matériaux métalliques. Mais ils sont toutefois essentiels pour l'étude de matériaux tels que les pierres naturelles, les briques, le béton, le bois de chauffage, etc. Lors de ces essais, l'éprouvette normalisée de coupe transversale connue est soumise à une force de croissance faible dans la direction longitudinale jusqu'à la rupture. L'éprouvette présente un état de contrainte axiale. Le diagramme force-trajet enregistré permet d'illustrer le rapport qui existe entre la contrainte et l'écrasement. Le **diagramme contrainte-écrasement** met très bien en évidence les différences de comportement des matériaux, et fournit les valeurs caractéristiques de résistance à la compression, de limite d'écrasement à 0,2%, ainsi que de contrainte de fluage de compression.

## Diagramme contrainte-écrasement



## Différentes méthodes de détermination de la dureté

On désigne par le terme de dureté la résistance mécanique qu'un corps oppose à la pénétration d'un autre corps.

### Principe de l'essai de dureté Brinell

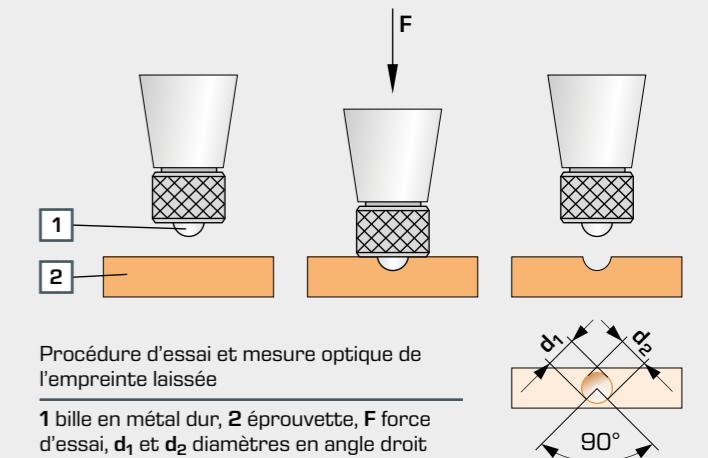
Cette méthode d'essai consiste, dans des conditions définies, à enfourcer un corps d'essai normalisé, une bille en métal dur, à l'intérieur du matériau. La surface de l'empreinte laissée est ensuite mesurée optiquement. Puis la surface de l'empreinte est calculée à partir de son diamètre et du diamètre de la bille. La pénétration du corps d'essai entraîne l'apparition d'un état de contrainte triaxiale dans l'éprouvette.

La dureté Brinell est calculée à partir de la force d'essai et de la surface de l'empreinte de la section sphérique.

$$HB = \frac{0,102 \cdot F}{A_B} \quad 0,102 = \frac{1}{9,81} = \frac{1}{g}$$

pour la conversion de N en kilogramme-force

HB valeur de dureté Brinell, F force d'essai en N,  $A_B$  surface de l'empreinte en  $\text{mm}^2$ , g=9,81 accélération de la pesanteur

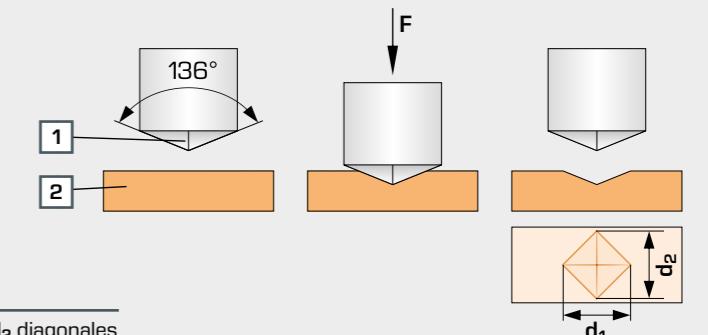


### Principe de l'essai de dureté Vickers

La méthode d'essai est similaire à celle de l'essai de dureté Brinell. Mais à la différence de la méthode Brinell, le corps d'essai utilisé est un diamant de forme pyramidale. La mesure des deux diagonales  $d_1$  et  $d_2$  et le calcul de la moyenne permettent de déterminer la diagonale de l'empreinte. La dureté Vickers est le quotient de la force d'essai par la surface de l'empreinte.

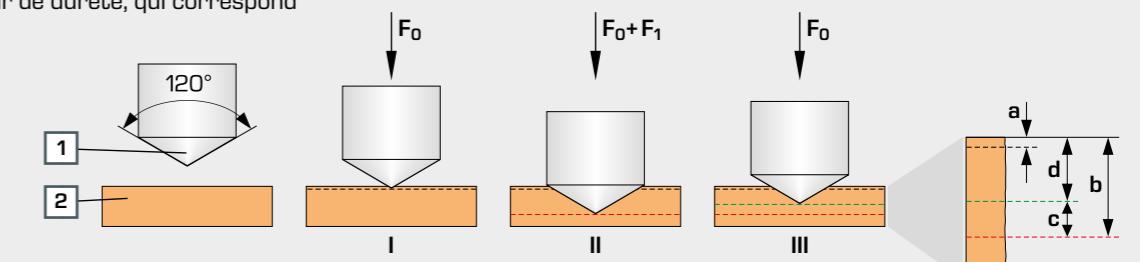
Procédure d'essai et mesure optique de l'empreinte laissée

1 diamant de forme pyramidale, 2 éprouvette, F force d'essai,  $d_1$  et  $d_2$  diagonales



### Principe de l'essai de dureté Rockwell

La méthode d'essai de dureté Rockwell permet de lire directement la valeur de dureté, qui correspond au différentiel des profondeurs de pénétration, sur le comparateur à cadran.



Procédure d'essai et mesure de la profondeur de pénétration

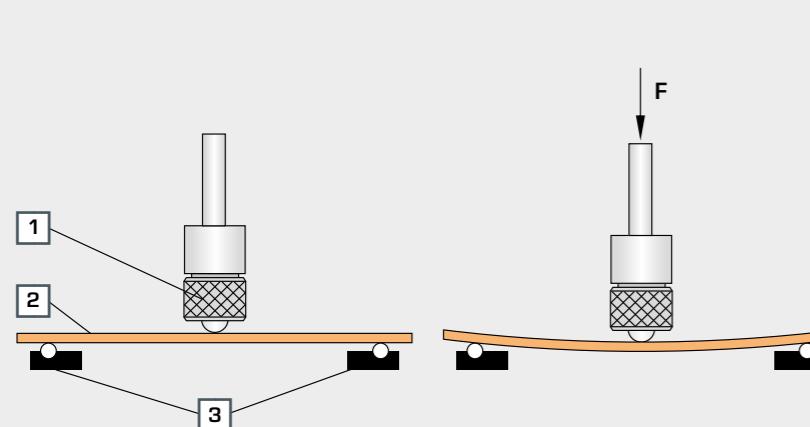
1 diamant en forme de cône, 2 éprouvette, I une pré-force d'essai  $F_0$  est appliquée au corps d'essai, et le comparateur à cadran est mis sur zéro, II la force d'essai supplémentaire  $F_1$  est appliquée pour une durée d'action déterminée, III la force d'essai supplémentaire  $F_1$  est retirée, a profondeur de pénétration due à la force d'essai supplémentaire  $F_0$ , b profondeur de pénétration due à la force d'essai supplémentaire  $F_1$ , c recouvrement de forme élastique après retrait de la force d'essai supplémentaire  $F_1$ , d profondeur de pénétration restante  $h$

## Méthodes d'essai mécanique

### Essais de flexion pour l'étude du comportement de déformation

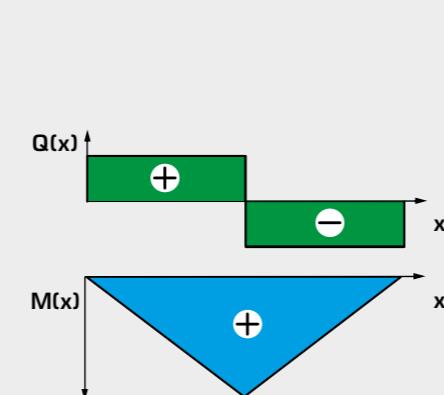
Le cas de charge de flexion le plus étudié dans les essais des matériaux est l'essai de flexion à trois points. Il s'agit d'étudier une poutre logée sur deux appuis, et soumise au milieu à une charge unique. L'essai de flexion démontre le rapport qui existe

entre la charge appliquée sur une poutre en flexion et sa déformation élastique. Il met en évidence l'influence exercée par le module d'élasticité et le moment d'inertie géométrique.



Procédure de l'essai de flexion à trois points

1 élément de pression, 2 éprouvette, 3 deux appuis pour le logement de la poutre, F force d'essai



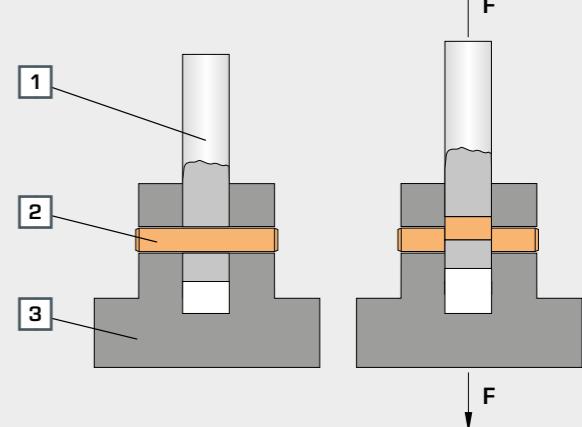
Contrainte en flexion avec courbe des forces transversales et du moment de flexion

Q effort tranchant, M moment de flexion, x distance

### Essai de cisaillement pour l'étude de la capacité de charge contre le cisaillement

L'essai de cisaillement est utilisé pour le contrôle des vis, rivets, tiges et clavettes, et sert à déterminer la résistance au cisaillement du matériau ou le comportement du matériau en cas de sollicitation de cisaillement. À cet effet, on génère des contraintes de cisaillement dans l'éprouvette, en lui appliquant

des efforts tranchants externes jusqu'à ce qu'elle se cisaille. Il existe deux méthodes pour déterminer la résistance d'un matériau à la sollicitation de cisaillement: la méthode de test à simple section, et la méthode de test à double section.



Dans le cas de la méthode à double section, l'éprouvette est cisaillée au niveau de deux sections, tandis qu'elle ne se cisaille que sur une section dans le cas de la méthode à simple section. Le calcul de la résistance au cisaillement diffère pour ces deux méthodes en ce qui concerne la surface de section à poser. La résistance au cisaillement déterminée lors de l'essai de cisaillement est importante pour le dimensionnement des vis, rivets et tiges, ainsi que pour le calcul de la force requise pour le cisaillement et le poinçonnage.

$$\tau = \frac{F}{2 \cdot A}$$

Résistance au cisaillement pour la méthode à double section  
 $\tau$  résistance au cisaillement, F force, A surface de cisaillement

Procédure de l'essai de cisaillement à double section

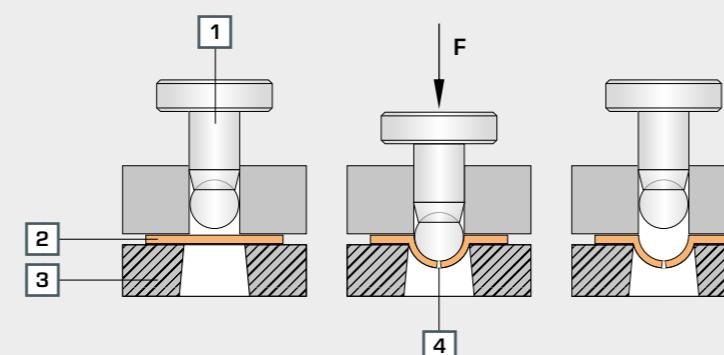
1 tirant de traction, 2 éprouvette, 3 boîtier, F force d'essai

### Essai d'emboutissage pour la détermination de la capacité d'emboutissage (capacité de déformation à froid) de tôles et de bandes

L'emboutissage pose des exigences élevées en ce qui concerne la capacité de déformation à froid des tôles et des bandes. Pendant le traitement, il faut éviter toute formation de fissures sur

ces tôles fines. L'essai d'emboutissage sert donc à contrôler la capacité de déformation à froid des tôles.

L'éprouvette d'emboutissage à contrôler est fixée entre un support de tôle et une matrice, puis bosselée (emboutie) au moyen d'un poinçon sphérique durci. La profondeur obtenue sert de référence de mesure de la capacité de déformation à froid. On évalue également la nature de la fissure et la structure de la surface de la zone débosselée.



Procédure de l'essai d'emboutissage

1 poinçon, 2 éprouvette, 3 matrice, 4 fissure, F force d'essai

### Essai de torsion pour l'étude du comportement plastique des matériaux

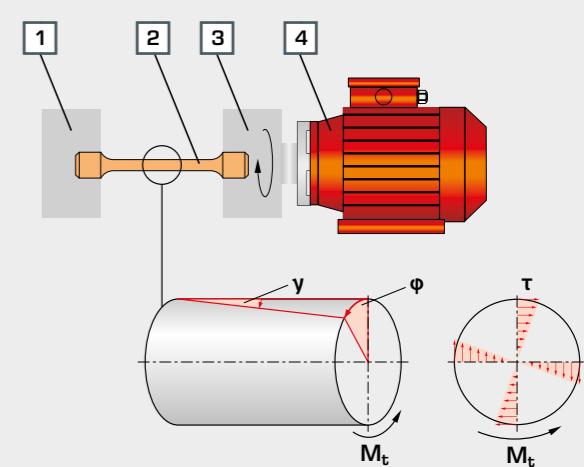
Les composants soumis à des mouvements rotatifs sont sollicités en rotation. Cette rotation est également appelée torsion. La résistance de torsion déterminée par l'essai de torsion sert d'orientation pour connaître la sollicitation admissible du

matériau. Cette méthode est utilisée pour les arbres, axes, fils métalliques et ressorts, ainsi que pour évaluer le comportement de ténacité des aciers à outils.

Lors de l'essai de torsion, une éprouvette est fermement fixée à une extrémité, et soumise à l'autre extrémité à un couple en croissance constante, le moment de torsion. Le moment de torsion provoque des contraintes de cisaillement dans la section de l'éprouvette; un état de contrainte s'installe, entraînant une déformation, puis une rupture.

Procédure de l'essai de torsion

1 serrage fixe, 2 éprouvette, 3 serrage rotatif, 4 entraînement;  $M_t$  moment de torsion,  $\gamma$  angle de cisaillement,  $\phi$  angle de torsion,  $\tau$  contrainte de cisaillement



# Méthodes d'essai mécanique

## Essai de résilience pour la détermination de la propriété de ténacité

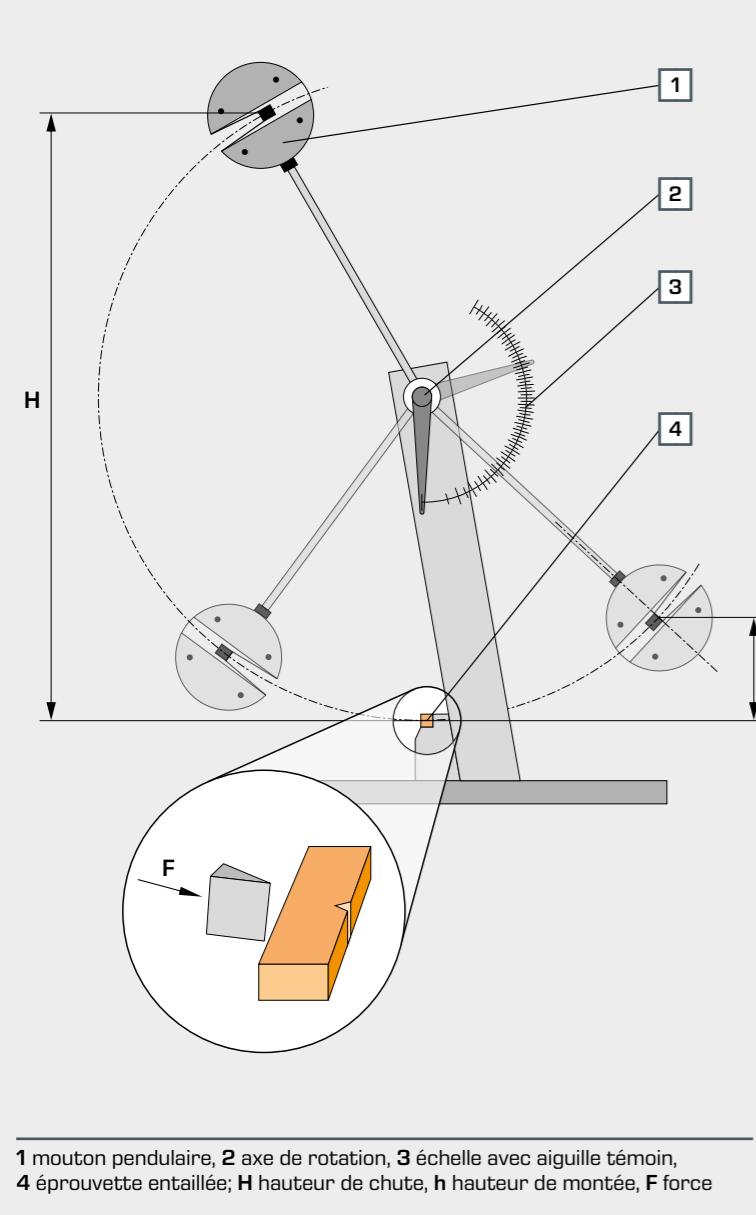
L'essai de résilience est une méthode avec sollicitation brutale, essentiellement adaptée à la détermination de la tendance à la rupture de fragilité ou de la propriété de ténacité d'un matériau. La méthode d'essai ne fournit pas de valeurs caractéristiques du matériau. Les valeurs de résilience déterminées au cours de l'essai de résilience ne sont pas directement utilisées pour calculer la résistance; elles aident uniquement à choisir des matériaux pour des applications spécifiques.

Le comportement de déformation est souvent un critère important de sélection des matériaux. Il permet de déterminer rapidement lesquels parmi les matériaux sélectionnés sont cassants

ou solides. La fragilité d'un matériau ne dépend pas seulement de lui, elle est également influencée par des données extérieures telles que la température ou l'état de contrainte.

Differentes méthodes d'essai sont utilisées pour déterminer la résilience. Pour l'essai Charpy, le corps d'essai est maintenu sur deux côtés, et le pendule entre en contact avec le corps d'essai au milieu, à la hauteur de l'entaille. Pour les méthodes d'essai Izod et Dynstat, le corps d'essai est à la verticale, et le pendule entre en contact avec l'extrémité libre du corps d'essai, au-dessus de l'entaille.

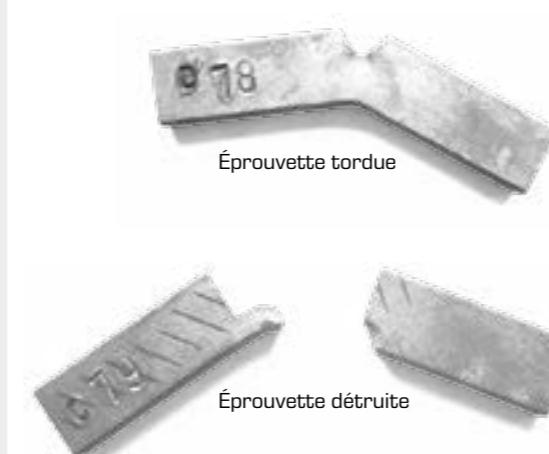
### Principe de l'essai de résilience Charpy



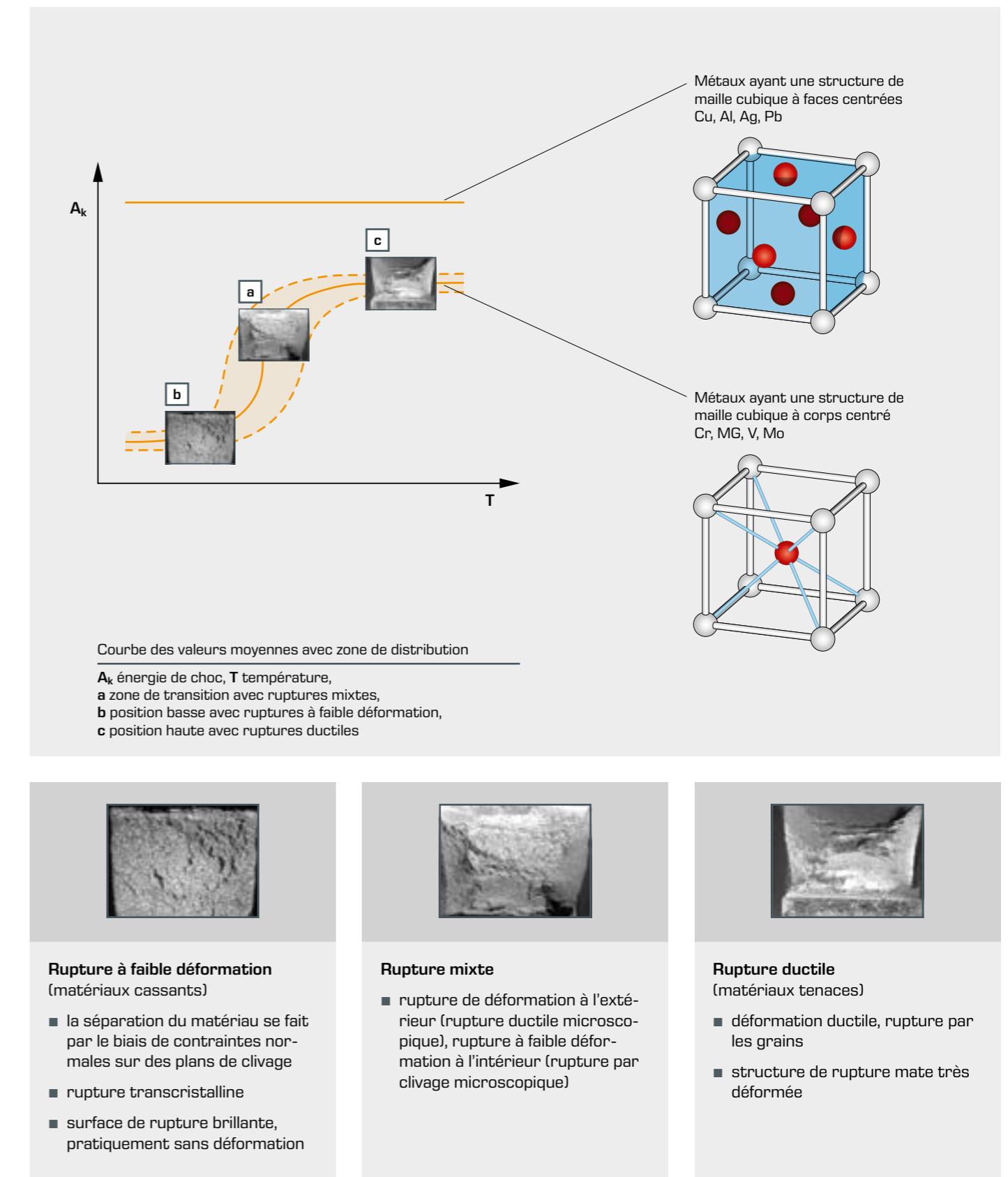
Lors de l'essai de résilience, un mouton pendulaire tombe d'une hauteur maximum. Au point le plus bas, selon le principe de Charpy, le mouton entre en contact avec la face arrière d'une éprouvette entaillée. Lorsque les butées transpercent ou passent par l'éprouvette, le mouton transmet son énergie d'impact à l'éprouvette. L'énergie résiduelle du mouton diminue à chaque passage oscillant par le point le plus bas (point zéro), freinant ainsi le mouton. Lorsque le mouton passe en oscillant par le point le plus bas, l'aiguille témoignante est entraînée, et le travail délivré pour le choc est indiqué sur une échelle.

La forme des éprouvettes de choc est normalisée.

L'énergie de choc requise est la force nécessaire pour transpercer une éprouvette entaillée définie. La résilience déterminée à partir de l'énergie de choc donne une mesure de la fragilité du matériau.



### Diagramme énergie de choc-température



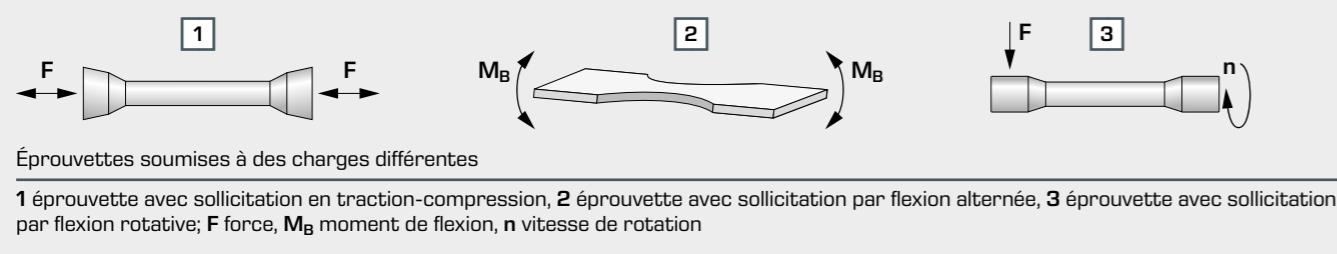
# Méthodes d'essai mécanique

## Fatigue du matériau

### Essai de résistance à la fatigue

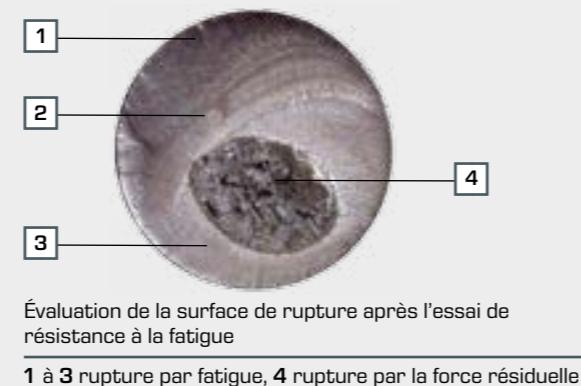
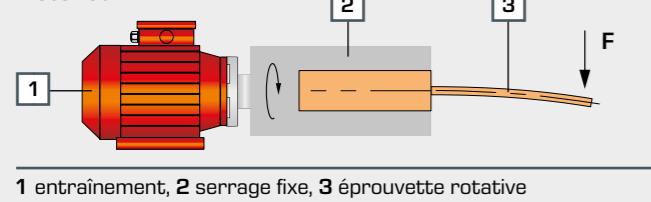
La résistance à la fatigue définit la limite de charge jusqu'à laquelle un matériau soumis à une charge de manière dynamique résiste sans se rompre. Ce sont avant tout les pièces de machine en mouvement qui sont soumises à des charges dyna-

miques provoquées par exemple par des vibrations. Lorsque le nombre d'alternances de charge est élevé, la rupture se produit alors à des contraintes bien inférieures à la limite d'élasticité et à la contrainte de rupture.



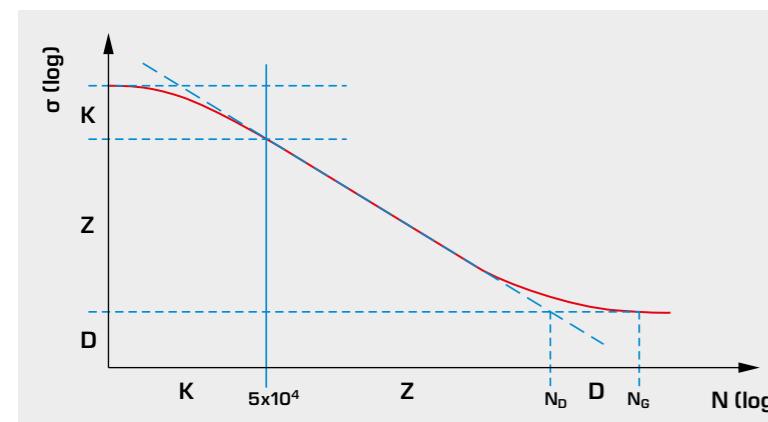
### Principe de l'essai de résistance à la fatigue, avec sollicitation sur flexion rotative

Lors de l'essai de résistance à la fatigue, une éprouvette en rotation fixée sur un côté est soumise à un moment de flexion. Ce qui produit dans l'éprouvette cylindrique une sollicitation alternée par flexion rotative. Après un certain nombre de cycles de charge, l'éprouvette se rompt suite à la fatigue du matériau.



### Diagramme de Wöhler pour l'évaluation de l'essai

Le diagramme de Wöhler représente graphiquement le rapport existant entre l'alternance de charge jusqu'à la rupture et la sollicitation en contrainte correspondante.



$N$  alternances de charge,  $\sigma$  sollicitation en contrainte,  $K$  résistance de courte durée,  $Z$  résistance dans le temps,  $D$  résistance à la fatigue,  $N_0$  nombre d'alternances de charge à partir de la résistance dans le temps,  $N_G$  nombre d'alternances de charge

### Essai de fluge pour l'étude des processus de fluge

À charge égale, des matériaux soumis à des charges statiques sur la durée se comportent différemment selon que la température est élevée ou de local. À température élevée, une déformation plastique lente et irréversible, également appelée fluge, apparaît au bout d'un certain temps, avec des

contraintes encore inférieures à la limite élastique à chaud, et sans augmentation de la charge. Lorsque cette charge est maintenue inchangée pendant une certaine durée, cela entraîne la rupture de l'éprouvette.

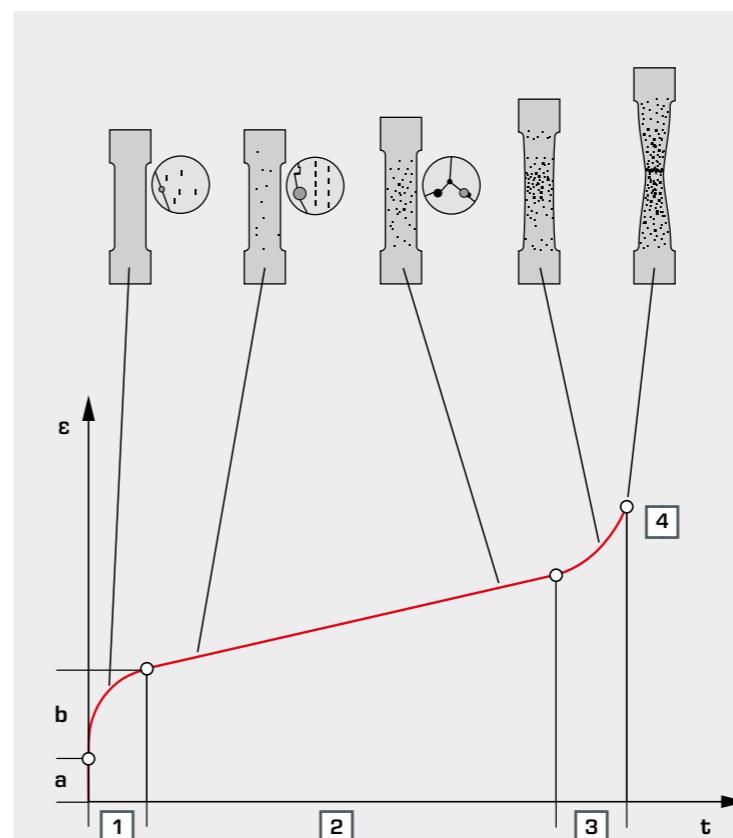
### Principe de l'essai de fluge

Lors de l'essai de fluge, une éprouvette est soumise à une charge à contrainte constante et température constante. Cet essai est répété plusieurs fois avec des contraintes différentes, mais toujours à la même température. Les déformations plastiques sont mesurées à des intervalles de temps continus. Toutes les valeurs de mesure peuvent ensuite être reportées

dans un diagramme de fluge. La déformation mesurée présente une courbe caractéristique appelée courbe de fluge. Lors de l'essai de fluge, on détermine les valeurs caractéristiques de la résistance au fluge, ainsi que les différentes quantités de déformation.

### Courbe déformation-temps

Lorsque l'on reporte sur un graphique la déformation en fonction du temps, on obtient ce que l'on appelle la courbe déformation-temps.



Modification de l'éprouvette au cours de l'essai

t temps,  $\epsilon$  déformation, 1 fluge primaire, 2 fluge secondaire, 3 fluge tertiaire, 4 rupture de l'éprouvette, a déformation élastique, b déformation plastique

Sur la courbe déformation-temps, on distingue trois phases dans les zones techniques de fluge:

**Phase 1:** fluge primaire avec réduction de la vitesse de fluge très importante au début. Ici, l'influence de la perte de résistance mécanique du matériau prévaut (fluge rapide).

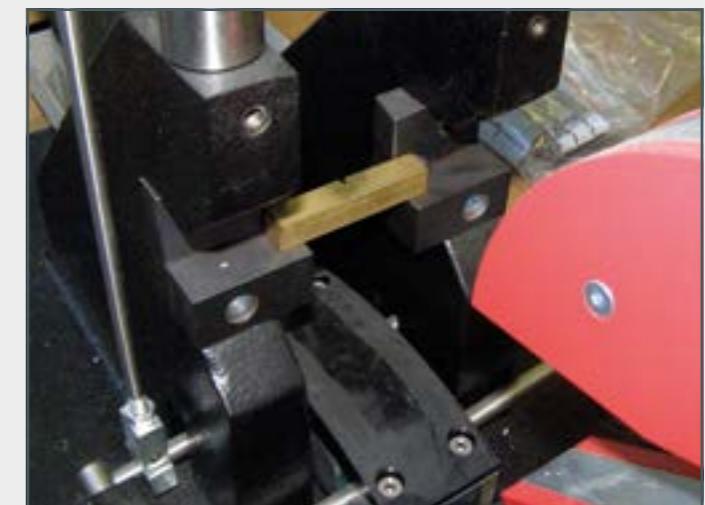
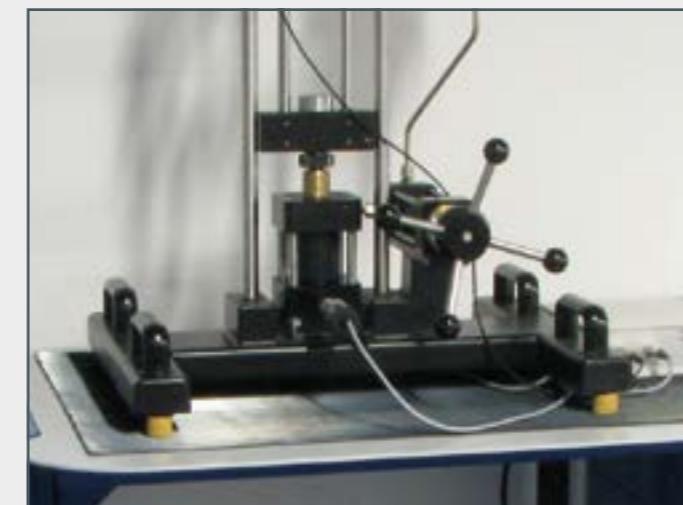
**Phase 2:** fluge secondaire avec vitesse de fluge pratiquement constante. La montée des dislocations au passage d'obstacles de fluge se trouve en équilibre stationnaire.

**Phase 3:** fluge tertiaire avec vitesse de fluge à nouveau croissante jusqu'à la rupture, suite à une striction à rupture croissante et à l'augmentation des contraintes réelles. Pour les ruptures à faible déformation, la phase 3 peut être très courte.

## Cours: principes de base de l'essai des matériaux

Série WP:

Un cours complet  
sur les principes de base  
de l'essai des matériaux



## Cours: principes de base de l'essai des matériaux

À l'aide des appareils d'essai, les étudiants ou apprentis apprennent à évaluer des matériaux en se familiarisant avec différentes méthodes d'essai servant à déterminer les propriétés des matériaux, et servant à évaluer et classifier des matériaux "inconnus".

Le cours complet inclut notamment les thématiques suivantes:

- déformation élastique et plastique
- résistance à la traction, contrainte, déformation, diagramme force-allongement, diagramme contrainte-déformation
- allongement de rupture, striction à rupture, comportement de rupture
- essai de dureté Brinell
- essai de compression, résistance à la compression, contrainte de fluage de compression, diagramme contrainte-écrasement
- essai de flexion
- essai d'emboutissage, capacité de déformation à froid
- essai de cisaillement, résistance au cisaillement
- essai de torsion, torsion, contraintes de cisaillement, résistance de torsion, comportement de ténacité
- essai de résilience Charpy, propriété de ténacité, diagramme énergie de choc-température
- essai de résistance à la fatigue, diagramme de Wöhler, évaluation de la surface de rupture
- essai de fluage, processus de fluage, diagramme déformation-temps (courbe déformation-temps)



**L'appareil d'essai compact WP 300**  
génère une force d'essai de 20kN

- essais classiques du domaine des essais destructifs des matériaux
- observation de toutes les particularités et phases de l'essai
- représentation claire des rapports entre augmentation des forces et modification des différents matériaux
- utilisation mobile grâce à un type de construction compact et léger
- préparation, représentation et sauvegarde de données avec le système d'acquisition de données WP 300.20



**L'appareil d'essai compact WP 500**  
génère des moments d'essai de 30Nm

- génération du moment de torsion par un engrenage à vis sans fin
- mesure du moment de torsion avec un couplemètre et codeur incrémental pour l'enregistrement de l'angle de torsion
- logiciel GUNT d'évaluation des valeurs de mesure compris dans la liste de livraison



**Le banc d'essai WP 310**  
génère une force d'essai de 50kN

- essais classiques du domaine des essais destructifs des matériaux, avec résultats de mesure basés sur les standards industriels
- banc d'essai pour essais basés sur les standards industriels
- signal acoustique de surcharge pour les forces d'essai
- logiciel GUNT d'évaluation de données de l'essai compris dans la liste de livraison



**L'appareil d'essai WP 510**  
génère des moments d'essai de 200Nm

- essai de torsion basé sur les standards industriels avec réalisation de l'essai assistée par moteur
- différentes vitesses de rotation, marche à droite et à gauche
- technique de mesure assistée par microprocesseur
- logiciel GUNT d'évaluation de données de l'essai compris dans la liste de livraison



**L'appareil d'essai compact WP 400**  
génère une capacité de travail de 25Nm

- essai de résilience Charpy pour le contrôle qualité et l'évaluation du comportement de rupture des matériaux métalliques
- mouton pendule basé sur la DIN EN ISO 148-1
- divers dispositifs de sécurité pour la réalisation sans danger des essais, et couvercle de protection disponible en option pour l'espace de travail WP 400.50
- préparation, représentation et sauvegarde avec le système d'acquisition de données WP 400.20



**L'appareil d'essai compact WP 140**  
permet de réaliser des essais de résistance à la fatigue

- résistance à la fatigue de barres soumises à une contrainte en flexions alternées
- compteur numérique pour l'affichage des alternances de charge
- arrêt automatique en cas de rupture de l'éprouvette
- préparation, représentation et sauvegarde avec le système d'acquisition de données WP 140.20



**Le banc d'essai WP 410**  
génère une capacité de travail de 300Nm

- essai de résilience Charpy avec capacité de travail augmentée
- mouton pendule basé sur les standards industriels / la DIN EN ISO 148-1
- réalisation sans danger des essais par l'activation à deux mains du mouton, et une cage de protection disponible en option pour mouton pendule WP 410.50
- préparation, représentation et sauvegarde avec le système d'acquisition de données WP 410.20



**L'appareil d'essai compact WP 600**  
permet de réaliser des essais de fluage

- essais de fluage simples avec des éprouvettes en plomb et en plastique
- essais réalisables à température de local
- des éléments de refroidissement permettent la réalisation d'essais en dessous de la température de local
- durée de l'essai: entre quelques minutes et une heure

# Cours: principes de base de l'essai des matériaux

## Accessoires pour différents essais des matériaux

### WP 300, force d'essai de 20kN

#### Essais de traction

WP 300.02 Éprouvettes de traction, jeu de 4, Al, Cu, St, CuZn

WP 300.21 Éprouvettes de traction, jeu de 4, Al

WP 300.22 Éprouvettes de traction, jeu de 4, Cu

WP 300.23 Éprouvettes de traction, jeu de 4, St

WP 300.24 Éprouvettes de traction, jeu de 4, CuZn

WP 300.14 Dispositif de serrage pour éprouvettes de traction plates

WP 300.25 Éprouvettes de traction plates, jeu de 4, Al, Cu, St, CuZn

#### Essais de compression

WP 300.05 Grandes plaques de compression pour essais de compression

WP 300.70 Éprouvettes de compression, jeu de 4, plâtre

WP 300.71 Éprouvettes de compression, jeu de 4, bois

WP 300.72 Éprouvettes de compression, jeu de 4, plastique

#### Essai de dureté Brinell

WP 300.03 Éprouvettes de dureté, jeu de 4, Al, Cu, St, CuZn

WP 300.31 Éprouvettes de dureté, jeu de 4, Al

WP 300.32 Éprouvettes de dureté, jeu de 4, Cu

WP 300.33 Éprouvettes de dureté, jeu de 4, St

WP 300.34 Éprouvettes de dureté, jeu de 4, CuZn

WP 300.12 Loupe de mesure pour l'essai de dureté Brinell

#### Essais de flexion

WP 300.04 Dispositif pour essais de flexion

#### Essais d'emboutissage

WP 300.11 Dispositif pour essais d'emboutissage

WP 300.41 Éprouvettes d'emboutissage, jeu de 5, Al

WP 300.42 Éprouvettes d'emboutissage, jeu de 5, Cu

WP 300.43 Éprouvettes d'emboutissage, jeu de 5, St

WP 300.44 Éprouvettes d'emboutissage, jeu de 5, CuZn

#### Essais de cisaillement

WP 300.10 Dispositif pour essais de cisaillement

WP 300.13 Dispositif de cisaillement à simple section

WP 300.52 Éprouvettes de cisaillement, jeu de 5, Cu

#### Tests de ressort

WP 300.06 Montage expérimental pour test de ressort, ressort hélicoïdal, 2 jeux

WP 300.07 Montage expérimental pour test de ressort, ressort à disques

### WP 310, force d'essai de 50kN

#### Essais de traction

WP 310.05 Mâchoires à coins pour éprouvettes de traction rondes et plates

WP 310.12 Éprouvettes de traction F10x50 DIN 50125, jeu de 10, St (S235JRC+C)

WP 310.06 Mâchoires à vis pour éprouvettes de traction à extrémités filetées

WP 310.11 Éprouvettes de traction B10x50 DIN 50125 M16, jeu de 10, St (S235JRC+C)

WP 310.07 Support pour éprouvettes de traction en forme d'haltères

WP 310.13 Éprouvettes de traction en forme d'haltères, jeu de 10, St (S235JRC+C)

#### Essais de compression

WP 310.04 Plaques de compression pour essais de compression

WP 310.15 Éprouvettes de compression, jeu de 5, 4x en plastique, 1x en bois

#### Essai de dureté Brinell

WP 310.01 Montage expérimental pour l'essai de dureté Brinell

WP 300.03 Éprouvettes de dureté, jeu de 4, Al, Cu, St, CuZn

WP 300.31 Éprouvettes de dureté, jeu de 4, Al

WP 300.32 Éprouvettes de dureté, jeu de 4, Cu

WP 300.33 Éprouvettes de dureté, jeu de 4, St

WP 300.34 Éprouvettes de dureté, jeu de 4, CuZn

WP 300.12 Loupe de mesure pour l'essai de dureté Brinell

#### Essais de flexion

WP 310.03 Dispositif pour essais de flexion

WP 310.84 Éprouvettes de flexion, jeu de 25, fonte

#### Essais d'emboutissage

WP 310.10 Dispositif pour essais d'emboutissage

WP 300.41 Éprouvettes d'emboutissage, jeu de 5, Al

WP 300.42 Éprouvettes d'emboutissage, jeu de 5, Cu

WP 300.43 Éprouvettes d'emboutissage, jeu de 5, St

WP 300.44 Éprouvettes d'emboutissage, jeu de 5, CuZn

#### Essais de cisaillement

WP 310.02 Dispositif pour essais de cisaillement

WP 300.52 Éprouvettes de cisaillement, jeu de 5, Cu

#### Tests de ressort

WP 310.08 Montage expérimental pour test de ressort, ressort hélicoïdal

WP 310.09 Montage expérimental pour test de ressort, ressort à disques

### WP 400, force d'essai de 25Nm

#### Essai de résilience

WP 400.01 Éprouvettes en V ISO, 10x5, jeu de 10, acier de construction (S235JRC+C)

WP 400.02 Éprouvettes en V ISO, 10x5, jeu de 10, CuZn

WP 400.03 Éprouvettes en V ISO, 10x10, jeu de 10, CuZn

WP 400.04 Éprouvettes en U ISO, 10x5, jeu de 10, acier de décolletage (9SMn28)

WP 400.05 Éprouvettes R7 GUNT, jeu de 10, acier de décolletage (9SMn28)

WP 400.06 Éprouvettes R5 GUNT, jeu de 10, acier de décolletage (9SMn28)

WP 400.07 Éprouvettes R7 GUNT, jeu de 10, acier de traitement (C45k)

WP 400.08 Éprouvettes R7 GUNT, jeu de 10, acier de traitement (S235JRC+C)

WP 400.09 Éprouvettes en V GUNT, jeu de 10, acier de construction (S235JRC+C)

WP 400.50 Revêtement de protection pour mouton pendule

### WP 410, force d'essai de 300Nm

#### Essai de résilience

WP 410.01 Éprouvettes en V ISO, 10x10, jeu de 10, St 37k

WP 410.02 Éprouvettes en V ISO, 10x10, jeu de 10, Cu

WP 410.03 Éprouvettes en V ISO, 10x10, jeu de 10, CuZn

WP 410.50 Revêtement de protection pour mouton pendule

### WP 510, force d'essai de 200Nm

#### Essai de torsion

WP 510.01 Éprouvettes de torsion, jeu de 5, St

WP 510.02 Éprouvettes de torsion, jeu de 5, CuZn

WP 510.03 Éprouvettes de torsion, jeu de 5, Al

#### Fatigue du matériau avec WP 600

#### Essai de fluage

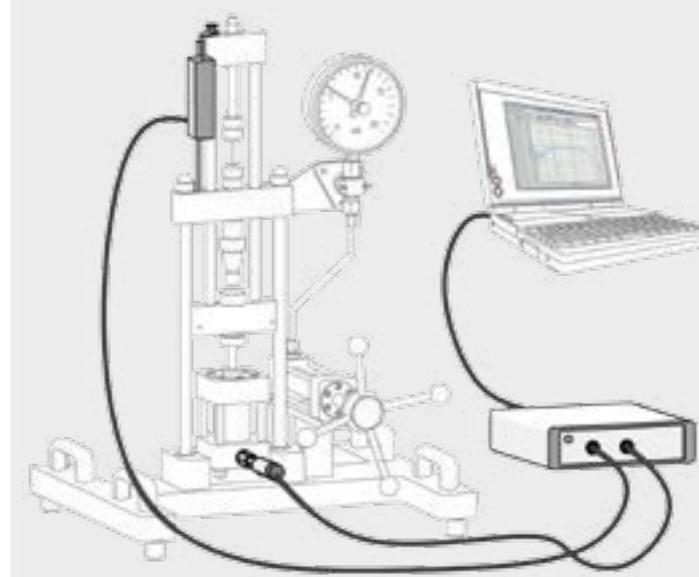
WP 600.01 Éprouvettes, jeu de 10, plastique PE

WP 600.02 Éprouvettes, jeu de 10, Pb

#### Accessoires

WP 300.09 Chariot de laboratoire

## Systèmes d'acquisition de données



#### Logiciel GUNT

- prend en charge différents essais des matériaux
- enregistrement de diagrammes typiques d'essais, p.ex. diagrammes contrainte-déformation, diagrammes énergie de choc-température
- protocoles d'essai complets conformes à la DIN (essai de traction et essai de compression)
- préparation, représentation et sauvegarde de données
- pour WP 140, WP 300, WP 400, WP 410: disponibles en option
- pour WP 310, WP 500, WP 510: compris dans la liste de livraison

## WP 300

### Essai des matériaux, 20kN



#### Description

- **appareil d'essai compact très complet pour essais destructifs de base**
- **essais de traction, essai de dureté Brinell**

Dans les métiers techniques et scientifiques, bien comprendre les propriétés des matériaux est essentiel. Ces connaissances aident à sélectionner les bons matériaux, à surveiller le processus de fabrication et de traitement, et à garantir les exigences posées pour un composant. L'essai des matériaux met à disposition les données requises, qui sont à la fois reproductibles et quantifiées avec exactitude. L'essai de traction, l'essai de flexion et l'essai de dureté comptent parmi les essais classiques des matériaux.

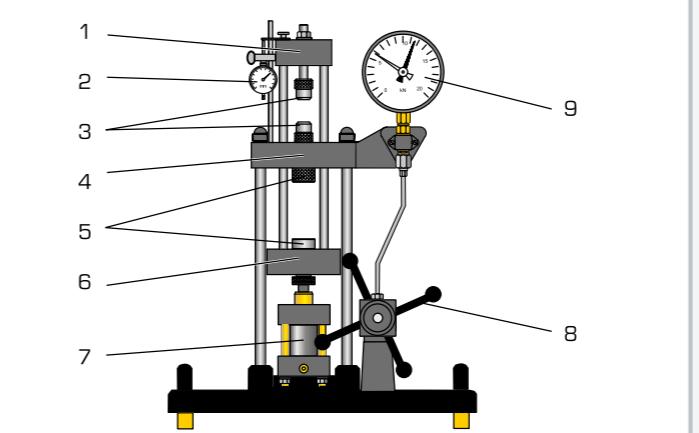
L'appareil de base du WP 300 permet d'effectuer des essais de traction ainsi que des essais de dureté Brinell.

Les accessoires proposés permettent de réaliser en outre des essais de compression, de flexion, de cisaillement et d'emboutissage. Il est également possible de tester des ressorts à disques et des ressorts hélicoïdaux. L'appareil d'essai a été spécialement développé pour les essais en petits groupes, et se distingue par sa conception claire, son utilisation simple et le remplacement rapide des accessoires. Les éprouvettes de traction sont serrées entre la traverse supérieure et la traverse fixe.

Les éprouvettes de dureté sont fixées entre la traverse fixe et la traverse inférieure. La force d'essai est produite par un système hydraulique à commande manuelle, et affichée sur un dynamomètre à cadran avec aiguille entraînée. L'allongement des éprouvettes est enregistré via la mesure du déplacement à l'aide d'un comparateur à cadran mécanique.

#### Contenu didactique/essais

- essais de traction
- enregistrement des diagrammes contrainte-déformation
- essai de dureté Brinell
- avec les accessoires
  - ▶ essais de compression
  - ▶ essais de flexion
  - ▶ essais d'emboutissage
  - ▶ essais de cisaillement
  - ▶ test de ressorts à disques et de ressorts hélicoïdaux



1 traverse supérieure, 2 comparateur à cadran pour l'allongement, 3 dispositif de serrage pour éprouvettes de traction, 4 traverse fixe, 5 élément de pression et plaque de compression, 6 traverse inférieure, 7 vérin hydraulique, 8 roue à main, 9 dynamomètre à cadran

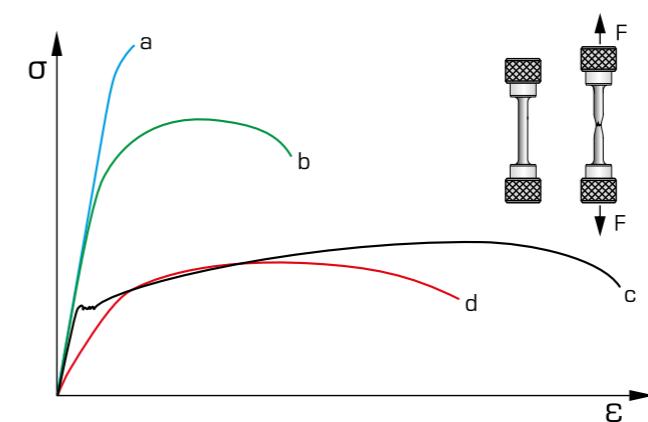
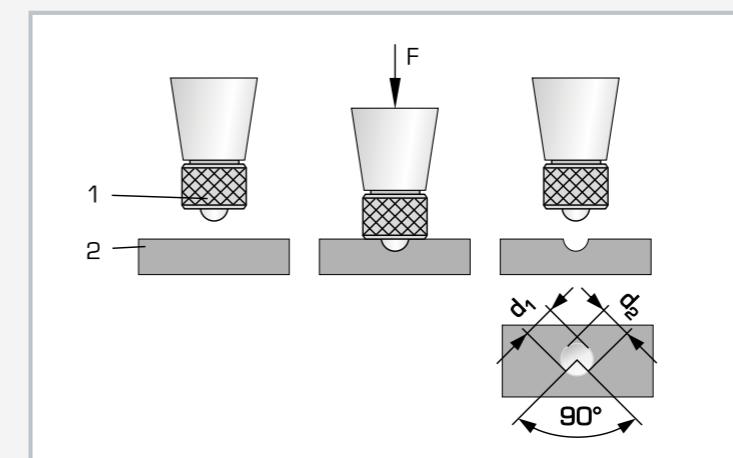


Diagramme contrainte-déformation pour différents matériaux: a acier trempé, b acier trempé et revenu, c acier recuit, d alliage d'aluminium



Essai de dureté Brinell: 1 bille en acier trempé, 2 éprouvette; F force d'essai, d<sub>1</sub> et d<sub>2</sub> dimensions de la surface de l'empreinte

#### Spécification

- [1] essais classiques du domaine des essais destructifs des matériaux
- [2] essais de traction, essais de dureté Brinell
- [3] nombreux accessoires disponibles pour essais complémentaires
- [4] génération de forces de traction et de compression
- [5] génération de forces par un système hydraulique à commande manuelle, aucune alimentation électrique requise
- [6] dynamomètre à cadran, instrument à aiguille entraînée
- [7] comparateur à cadran pour la détermination de l'allongement
- [8] matériaux des éprouvettes de dureté: aluminium, cuivre, acier, laiton
- [9] éprouvettes de traction conformes à la DIN 50125: aluminium, cuivre, acier, laiton
- [10] système d'acquisition de données (WP 300.20) disponible en option

#### Caractéristiques techniques

Force d'essai: 20kN max.  
Course: max. 45mm  
Espace de montage libre pour les éprouvettes: 165x65mm  
Éprouvettes de traction: B6x30mm, DIN 50125  
Éprouvettes de dureté: LxLxh 30x30x10mm  
Bille pour l'essai de dureté: diamètre Ø=10mm

Plages de mesure  
■ force: 0...20kN, graduation: 0,5kN  
■ déplacement: 0...20mm, graduation: 0,01mm

LxLxh: 610x500x860mm  
Poids: env. 48kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 dispositif pour essai de dureté
- 1 dynamomètre à cadran
- 1 comparateur à cadran pour l'allongement
- 4 jeux d'éprouvettes de traction
- 4 jeux d'éprouvettes de dureté
- 1 documentation didactique

## WP 310

### Essai des matériaux, 50kN



L'illustration montre le WP 310 avec l'accessoire WP 310.05.

#### Description

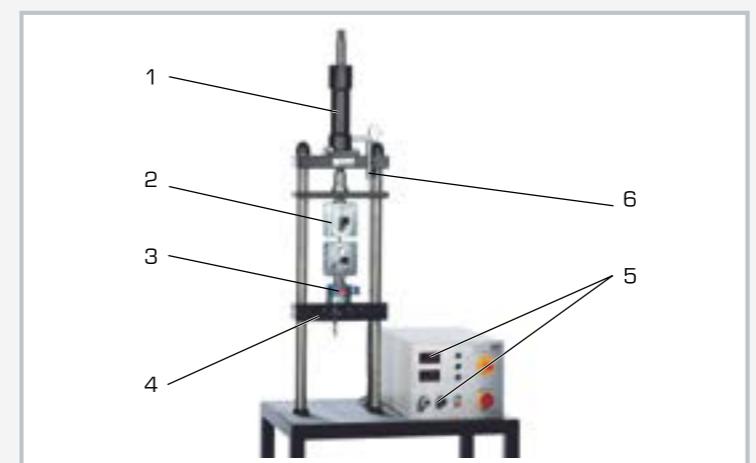
- **banc d'essai à entraînement hydraulique basé sur les standards industriels**
- **génération directe de forces de traction et de compression**
- **nombreux accessoires pour la réalisation d'essais destructifs des matériaux**

Une discipline classique de l'essai des matériaux est la méthode d'essai destructive. Elle consiste à tester mécaniquement des éprouvettes jusqu'à ce qu'elles se cassent. L'essai des matériaux met à disposition des données de dureté, de rigidité et de résistance, qui sont reproductibles et quantifiées avec exactitude.

Le WP 310 et ses accessoires permettent la réalisation d'essais destructifs des matériaux.

#### Contenu didactique/essais

- avec les accessoires
  - ▶ essai de traction
  - ▶ essai de compression
  - ▶ essai de dureté Brinell
  - ▶ essai de flexion
  - ▶ essai de cisaillement
  - ▶ essai d'emboutissage
  - ▶ test de ressort



1 cylindre hydraulique pour la génération de forces de traction et de compression, 2 zone de travail avec l'accessoire WP 310.05, 3 capteur de force, 4 traverse inférieure réglable en hauteur avec verrouillage, 5 éléments d'affichage et de commande, 6 capteur de déplacement

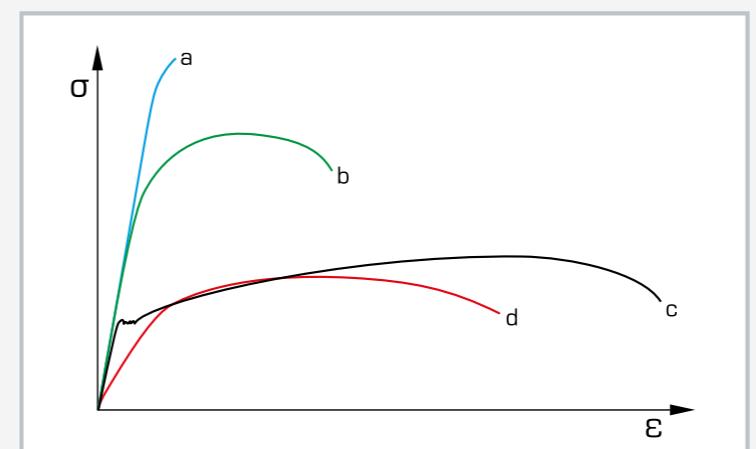


Diagramme contrainte-déformation pour différents matériaux: a acier trempé, b acier trempé et revenu, c acier recuit, d alliage d'aluminium



Capture d'écran du logiciel: essai de dureté Brinell

#### Spécification

- [1] banc d'essai à entraînement hydraulique pour essais des matériaux
- [2] génération de forces de traction et de compression
- [3] force d'essai et vitesse de déplacement ajustables
- [4] génération de la force d'essai par une pompe à engrenages et un cylindre hydraulique à double action
- [5] mesure des forces au moyen d'un pont de jauge de contrainte avec signal acoustique de surcharge, surcharge max. 150%
- [6] mesure du déplacement au moyen d'un potentiomètre linéaire
- [7] affichages LED pour la force et le déplacement avec enregistrement de tarage et de la valeur maximum
- [8] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10
- [9] nombreux accessoires disponibles

#### Caractéristiques techniques

- Zone de travail, l×h: 300x925mm  
Génération hydraulique de la force d'essai  
  - force d'essai: 0...50kN
  - pression max. du système: 175bar
  - course de piston max.: 150mm
  - vitesse de déplacement: 0...425mm/min
  - pompe à engrenages
    - ▶ débit de refoulement max.: 1cm<sup>3</sup>/tour
    - ▶ puissance absorbée: 0,55kW

- Plages de mesure  
  - force: 0...50kN
  - déplacement: 0...150mm

- 230V, 50Hz, 1 phase  
 230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase  
 UL/CSA en option  
 LxLxh: 1080x830x2300mm  
 Poids: env. 330kg

#### Nécessaire pour le fonctionnement

- PC avec Windows recommandé

#### Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

## SE 100

Bâti pour essais de charge, 400kN



L'illustration montre le SE 100 avec différents accessoires

### Description

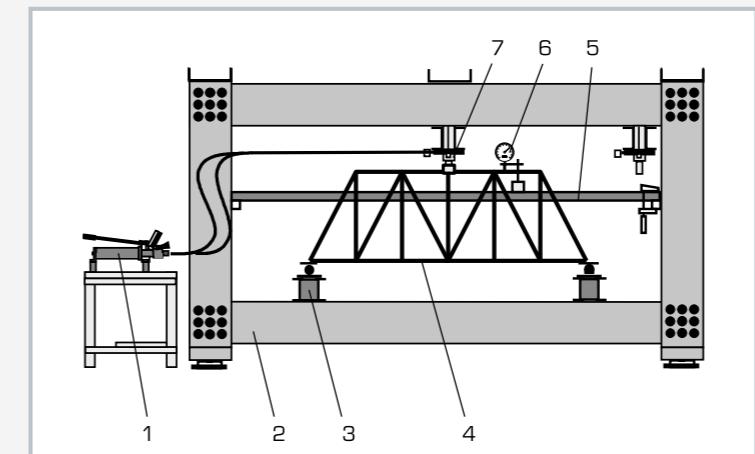
- **essais de charge sur des composants en acier issus de la construction métallique et du génie civil**
- **conçu spécialement pour les composants de grande taille à l'échelle 1:1**
- **grande diversité d'applications grâce à de nombreux accessoires**

Les exigences posées par les constructions modernes de grande technicité nécessitent une compréhension approfondie des phénomènes de résistance et de déformation des composants. Les essais de charge permettent de reproduire différents états de charge, et d'enregistrer et d'évaluer la réaction à la sollicitation. Cela permet de démontrer de manière expérimentale la force portante de la construction. Le bâti pour essais de charge SE 100 a été conçu spécialement pour les essais dans les domaines de la construction métallique et du génie civil. Les composants étudiés sont de grande taille, à l'échelle 1:1.

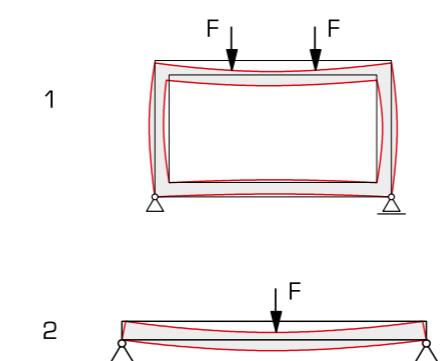
Le bâti est livré démonté sous la forme de modules préfabriqués à assembler sur place. De cette manière, les pièces passent par les ouvertures de portes de taille standard. Le bâti est installé sur quatre pieds ajustables, qui amortissent les vibrations. La zone de travail de

### Contenu didactique/essais

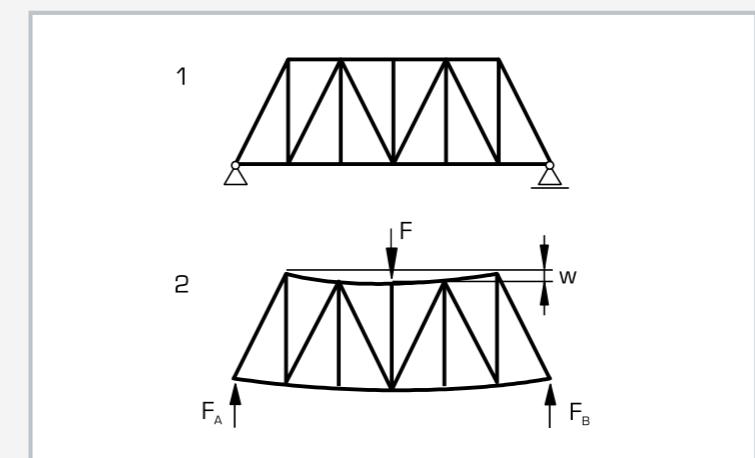
- en association avec les accessoires
  - ▶ essais de flexion
  - ▶ essais de charge
  - ▶ essais de compression



1 pompe pour dispositif de charge, 2 bâti, 3 appui SE 100.01, 4 treillis plan SE 100.04, 5 traverse de mesure, 6 comparateur à cadran SE 100.03, 7 dispositif de charge SE 100.02



Propositions de réalisation d'essais avec différents composants de grande taille, par exemple 1 charge du bâti, 2 charge de poutres



Essai de flexion sur un treillis plan SE 100.04; 1 treillis sans charge, 2 treillis chargé, F force d'essai, F<sub>A</sub> et F<sub>B</sub> forces d'appui, w fléchissement

### Spécification

- [1] étude de composants à l'échelle 1:1 issus de la construction métallique et du génie civil
- [2] bâti livré démonté sous la forme de modules, passage possible par des portes standards
- [3] espace de travail de grande taille, conçu sous la forme d'un bâti double également adapté aux composants très longs
- [4] installation sur 4 pieds ajustables qui amortissent les vibrations
- [5] un dispositif de charge à entraînement hydraulique pour la génération de forces de compression est disponible en option
- [6] dispositif de charge monté sur roulettes, disponible en option; le SE 100.12 comprend 1 dispositif de charge, le SE 100.02 comprend 2 dispositifs de charge
- [7] dispositifs de charge positionnables au choix dans le bâti
- [8] essais avec différents composants tels que poutres ou bâti
- [9] treillis plan avec jauge de contrainte pour la mesure de force, disponible comme accessoire (SE 100.04)

### Caractéristiques techniques

#### Bâti

- profils en acier: U 400, St52
- ouverture du bâti lxh: 4100x1700mm
- largeur utile du bâti double: 635mm

#### Forces d'essai

- position centrale: max. 300kN
- décentrée: max. 2x 200kN

Lxlxh: 5000x1350x2820mm  
Poids: env. 2600kg

### Liste de livraison

- 1 bâti constitué de profils en acier

## SE 110.48

### Essai de flexion, déformation plastique



L'illustration montre le SE 110.48 dans un bâti similaire au SE 112.

#### Description

- **observation et détermination du passage de la déformation élastique à la déformation plastique**
- **enregistrement du diagramme force-allongement**

Les sollicitations mécaniques, auxquelles sont soumis de manière générale les éléments de construction, génèrent des contraintes dans le composant ou matériau concerné. Lorsque ces contraintes sont trop élevées, une déformation plastique se produit en plus de la déformation réversible élastique. Le composant ne revient pas entièrement à sa forme initiale; c'est pourquoi on parle ici de modification de forme.

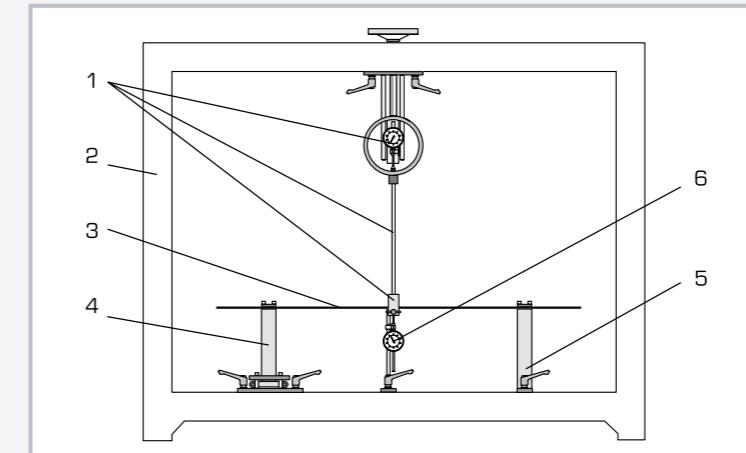
La poutre étudiée dans le SE 110.48 est maintenue à ses deux extrémités. Pour la fixation de la poutre, un palier fixe et un palier libre sont compris dans la liste de livraison. La poutre est soumise à une charge ponctuelle. Le dispositif de charge peut être positionné à n'importe quel endroit du bâti. Un comparateur à cadran mesure la déformation. Des poutres constituées de matériaux et profils différents sont comprises dans la liste de livraison.

#### Contenu didactique/essais

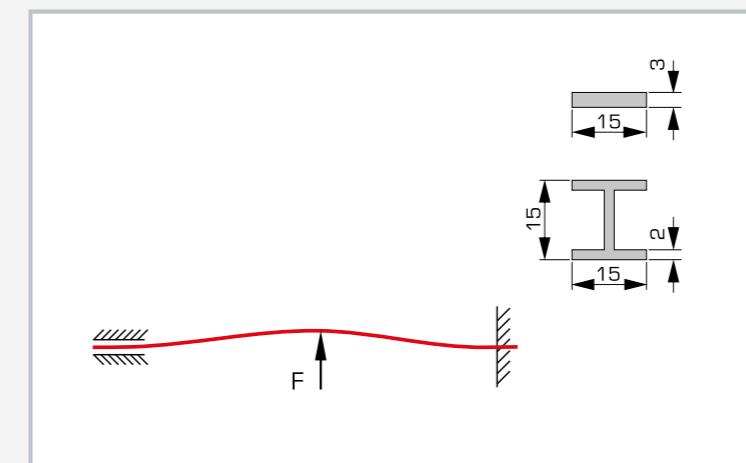
- poutre soumise à une charge élastique
- enregistrement d'un diagramme force-allongement et détermination du comportement non linéaire
- comparaison entre courbe de charge et courbe de décharge
- démonstration de la non-validité du principe de superposition dans la zone plastique

L'essai permet d'observer et déterminer avec précision le passage de la zone de déformation élastique à la zone de déformation plastique. Un diagramme force-allongement est établi à partir des valeurs obtenues; il met en évidence le comportement non linéaire.

Les pièces de l'essai sont disposées de manière claire, et bien protégées dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté dans le bâti SE 112.



1 dispositif de charge, 2 bâti SE 112, 3 poutre, 4 palier libre, 5 palier fixe, 6 comparateur à cadran



Déformation plastique d'une poutre; les deux profils de poutre sont compris dans la liste de livraison

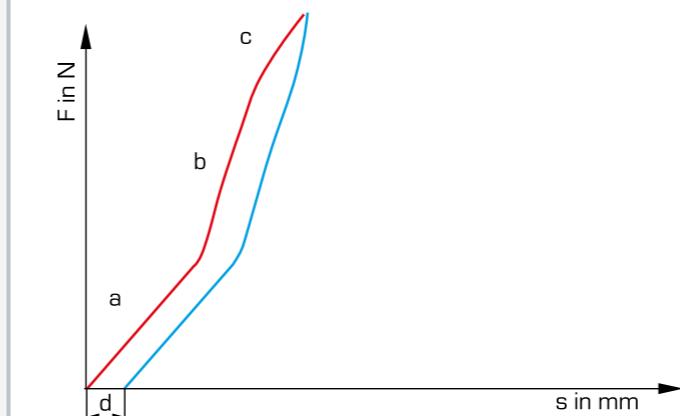


Diagramme force-allongement, pour, en rouge: la courbe de charge et en bleu: la courbe de décharge; a zone élastique, b zone de déformation non linéaire, c zone plastique, d déformation permanente; F force, s allongement

#### Spécification

- [1] étude d'une poutre jusqu'à sa déformation plastique
- [2] poutre soumise à une charge ponctuelle
- [3] palier fixe et palier libre pour le maintien de la poutre
- [4] poutres composées de différents matériaux et profils
- [5] comparateur à cadran pour la mesure de la déformation
- [6] système de rangement pour les pièces
- [7] montage de l'essai dans le bâti SE 112

#### Caractéristiques techniques

##### Poutres

- 1x 1000x15x3mm, acier
- 1x 1000x15x3mm, aluminium
- 1x profil en H, 1000x15x2mm, aluminium

##### Dispositif de charge

- charge max.:  $\pm 5000\text{N}$
- longueur max. du déplacement: 100mm

##### Plage de mesure

- déplacement: 0...50mm

Lxlhx: 1170x480x178mm

Poids: env. 30kg

#### Liste de livraison

- |   |  |
|---|--|
| 1 | jeu de poutres                                 |
| 1 | dispositif de charge                           |
| 2 | appuis   |
| 1 | comparateur à cadran                           |
| 1 | dispositif de traction                         |
| 1 | système de rangement avec mousse de protection |
| 1 | documentation didactique                       |

## WP 400

### Essai de résilience, 25Nm



#### Description

- essai de résilience Charpy
- méthode classique de l'essai destructif des matériaux pour le contrôle qualité et l'évaluation du comportement de rupture des matériaux métalliques
- mouton pendule suivant la DIN EN ISO 148-1

Dans le contrôle qualité industriel, l'essai de résilience est un essai très répandu; il permet de déterminer rapidement et simplement des valeurs caractéristiques pour l'évaluation de matériaux ou de composants.

L'appareil d'essai WP 400 est un mouton pendule solide suivant la DIN EN ISO 148-1, qui a été conçu pour la réalisation d'essais de résilience Charpy. Grâce à la clarté du montage et à la facilité d'utilisation, on peut observer tous les détails et les phases de l'essai.

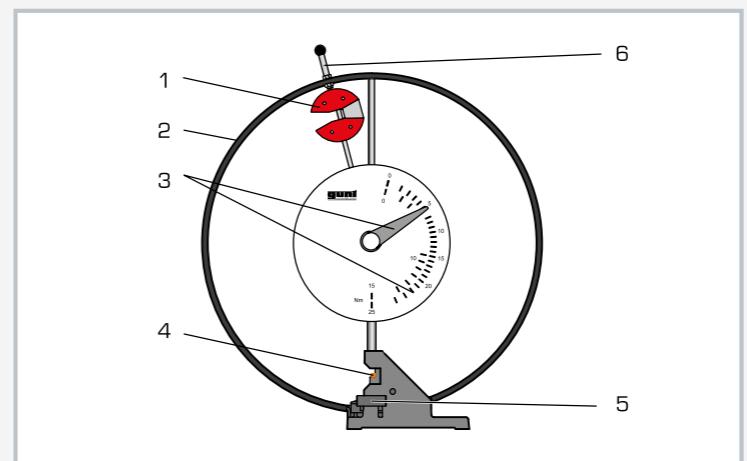
Lors de l'essai, un mouton fixé à un bras de pendule décrit, une fois déclenché, un arc de cercle. Au point le plus bas de la trajectoire du mouton, ce dernier transmet une partie de son énergie cinétique à l'éprouvette entaillée. Lors de l'impact, l'éprouvette est soit détruite, soit déformée par le choc et entraînée entre les appuis.

L'énergie de choc nécessaire à la déformation de l'éprouvette est lue directement sur une échelle de grande taille. Avec le système d'acquisition de données WP 400.20, il est possible de transmettre les valeurs de mesure sur un PC où elles pourront être évaluées à l'aide du logiciel.

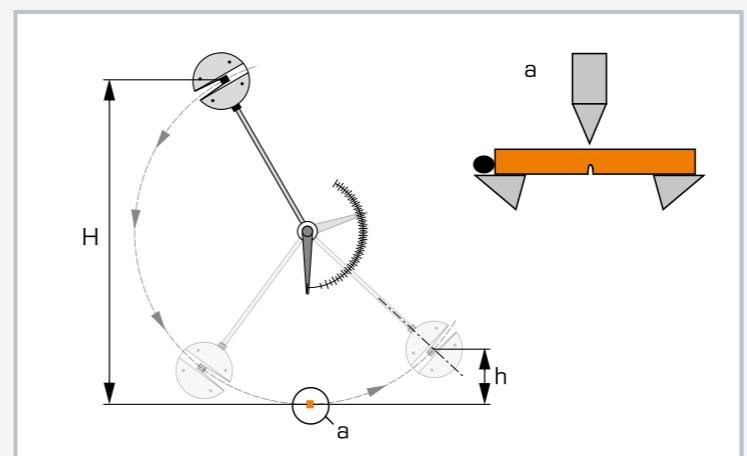
Afin de varier l'énergie de départ, on peut modifier la masse du mouton, en ajoutant ou retirant des poids. Un frein réduit l'énergie résiduelle du mouton à chaque oscillation par le point zéro.

#### Contenu didactique/essais

- détermination de l'énergie de choc
- détermination de la résilience
- évaluation des caractéristiques de la surface de rupture
- enregistrement d'un diagramme énergie de choc-température
- influence de la forme de l'entaille, du matériau et de la température de l'éprouvette sur l'énergie de choc



1 mouton avec poids supplémentaires amovibles, 2 anneau de protection, 3 échelle avec aiguille entraînée, 4 éprouvette de choc, 5 activation à deux mains et frein, 6 fixation du mouton



Principe de fonctionnement de l'essai de résilience Charpy: H hauteur de chute, h hauteur de montée, a mouton et éprouvette vus du dessus

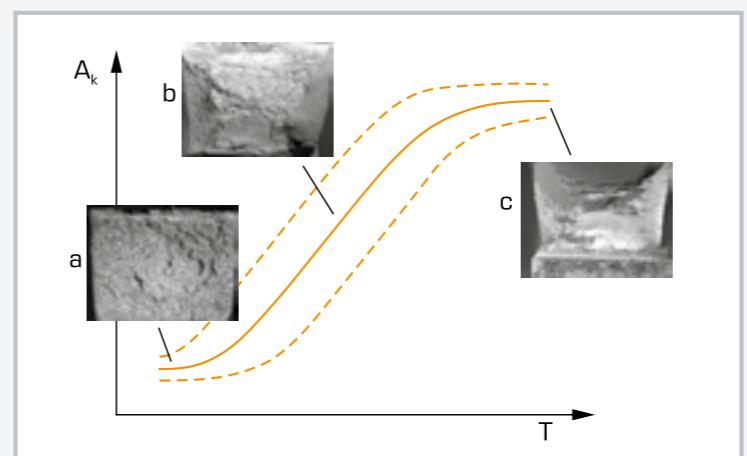


Diagramme énergie de choc-température avec surfaces de rupture typiques: courbe des valeurs moyennes avec zone de distribution,  $A_k$  énergie de choc, T température; a position basse avec rupture ductile ou de fragilité, b zone de transition avec rupture mixte, c position haute avec ruptures ductiles

#### Spécification

- [1] essai de résilience Charpy
- [2] mouton pendule suivant la DIN EN ISO148-1
- [3] masse du mouton variable grâce à des poids supplémentaires amovibles
- [4] frein pour réduction de l'énergie résiduelle
- [5] sécurité d'utilisation grâce à l'activation à deux mains du mouton, et à la présence d'un anneau de protection de la zone de travail
- [6] revêtement de protection WP 400.50 disponible comme accessoire
- [7] échelle pour l'indication de l'énergie de choc
- [8] éprouvettes de choc conformes à l'ISO (entaille en U/V) et éprouvettes GUNT: aluminium, cuivre, acier, laiton
- [9] système d'acquisition de données (WP 400.20) disponible en option

#### Caractéristiques techniques

##### Mouton pendule

- capacité de travail
  - 15Nm
  - 25Nm (avec poids supplémentaires)
- mouton
  - poids: 2,05kg et 3,42kg (avec poids supplémentaires)
  - poids supplémentaires: 4x 0,342kg
  - vitesse d'impact: 3,8m/s
  - hauteur de chute: 745mm

##### Appuis pour éprouvettes

- distance: 40mm

##### Éprouvettes de choc

- LxL: 10x5mm, 10x10mm
- section au fond de l'entaille: 10x8 et 10x5mm

##### Matériaux des éprouvettes

- acier de décolletage 9SMn28K
- acier de traitement C45k
- acier de construction S235JRC+C
- laiton CuZn40Pb2

LxLxh: 1000x300x1000mm  
Poids: env. 55kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de poids supplémentaires
- 1 jeu d'éprouvettes de choc (90 unités)
- 1 documentation didactique

## WP 410

### Essai de résilience, 300Nm



#### Description

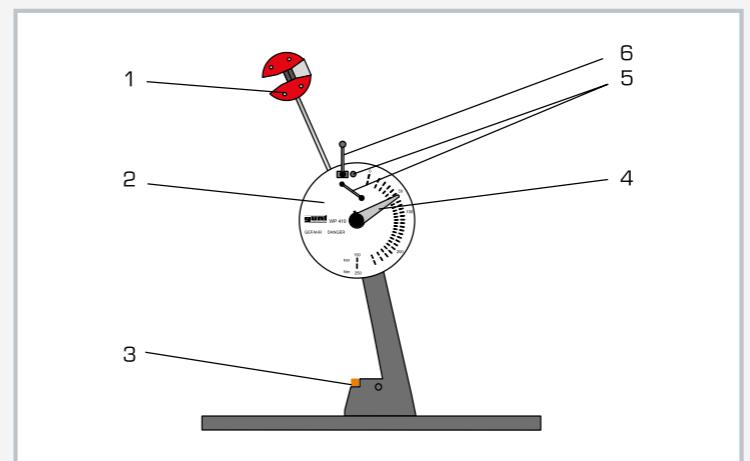
- **essai de résilience Charpy avec capacité de travail accrue jusqu'à 300Nm**
- **mouton pendule basé sur les standards industriels / DIN EN ISO 148-1**
- **réalisation des essais en toute sécurité grâce à l'activation à deux mains du mouton et à la cage de protection WP 410.50 disponible en option**

Dans le contrôle qualité industriel, l'essai de résilience est un essai très répandu; il permet de déterminer rapidement et simplement des valeurs caractéristiques pour l'évaluation de matériaux ou de composants.

Le banc d'essai WP 410 est un mouton pendule solide suivant la DIN EN ISO 148-1, qui a été conçu pour la réalisation d'essais de résilience Charpy.

#### Contenu didactique/essais

- détermination de l'énergie de choc
- détermination de la résilience
- évaluation des caractéristiques de la surface de rupture
- enregistrement d'un diagramme énergie de choc-température
- influence de la forme de l'entaille, du matériau et de la température de l'éprouvette sur l'énergie de choc



1 mouton avec poids supplémentaires amovibles, 2 échelle, 3 éprouvette de choc, 4 aiguille entraînée, 5 activation à deux mains, 6 frein

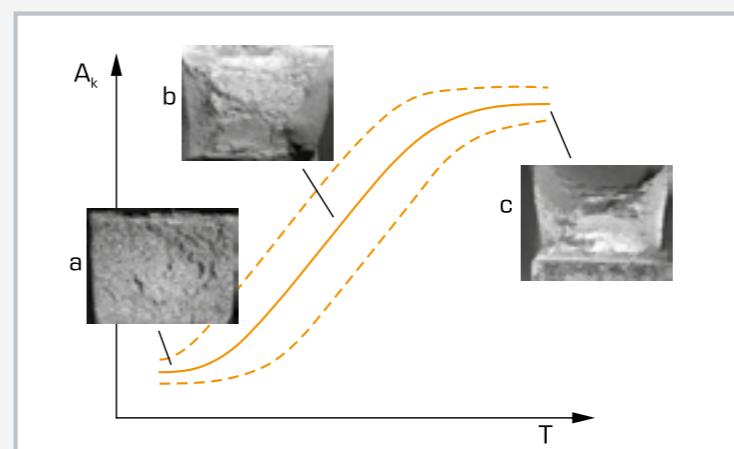


Diagramme énergie de choc-température avec surfaces de rupture typiques: courbe des valeurs moyennes avec zone de distribution,  $A_k$  énergie de choc, T température; a position basse avec rupture ductile ou de fragilité, b zone de transition avec rupture mixte, c position haute avec ruptures ductiles



Revêtement de protection pour mouton pendule WP 410.50 disponible en tant qu'accessoire.

#### Spécification

- [1] essai de résilience Charpy avec capacité de travail accrue
- [2] mouton pendule basé sur les standards industriels / DIN EN ISO 148-1
- [3] masse du mouton variable grâce à des poids supplémentaires amovibles
- [4] frein pour réduction de l'énergie résiduelle
- [5] sécurité d'utilisation grâce à l'activation à deux mains du mouton
- [6] revêtement de protection WP 410.50 pour le mouton pendule, disponible comme accessoire
- [7] échelle pour l'indication de l'énergie de choc
- [8] éprouvettes de choc en V ISO en acier inoxydable, éprouvettes en cuivre, laiton et acier disponibles comme accessoires
- [9] système d'acquisition de données (WP 410.20) disponible en option

#### Caractéristiques techniques

##### Mouton pendule

- capacité de travail
  - 150Nm
  - 300Nm [avec poids supplémentaires]
- mouton
  - poids: 9,9kg et 19,8kg [avec poids supplémentaires]
  - poids supplémentaires: 4x 2,475kg
  - vitesse d'impact: 5,5m/s
  - longueur du pendule: 840mm
  - angle de chute: 150°

##### Appuis pour éprouvettes

- distance: 40mm

##### Éprouvettes de choc [en V ou en U ISO]

- LxL: 10x10mm

##### Matériau des éprouvettes

- acier inoxydable 1.4301

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

LxLxH: 800x600x1460mm

Poids: env. 360kg

#### Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 jeu de poids supplémentaires
- 1 jeu d'éprouvettes de choc en V ISO en acier inoxydable [10 unités]
- 1 documentation didactique

## WP 500

### Essai de torsion, 30Nm



#### Description

- **génération du moment de torsion par un engrenage à vis sans fin**
- **mesure du moment de torsion avec un couplemètre**
- **codeur incrémental pour l'enregistrement de l'angle de torsion**

L'essai de torsion fait partie des méthodes d'essai destructif, et étudie le comportement plastique des matériaux. Dans la pratique, on se sert de cette méthode d'essai pour tester des composants qui sont tordus pendant leur utilisation, comme par exemple les vis, arbres, axes, fils et ressorts.

L'appareil d'essai WP 500 permet de réaliser des essais de torsion, durant lesquels des éprouvettes sont tordues jusqu'à la rupture. Grâce à la clarté du montage et à la facilité d'utilisation, on peut observer tous les détails et les phases de l'essai. Lors de l'essai, des éprouvettes métalliques sont tordues jusqu'à leur destruction, suite à une rupture de cisaillement typique.

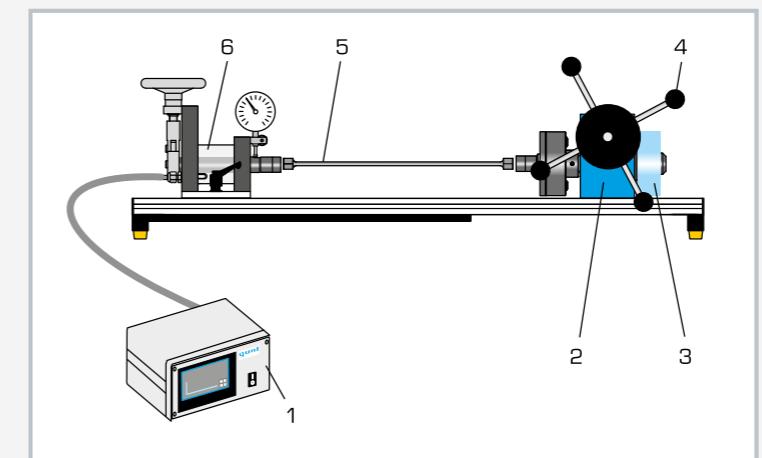
#### Contenu didactique/essais

- essais de torsion avec différents matériaux et jusqu'à la rupture de l'éprouvette
- détermination de la résistance à la torsion
- enregistrement du diagramme moment de torsion-angle de torsion
- influence
  - ▶ du matériau de l'éprouvette
  - ▶ de la section de l'éprouvette
  - ▶ de la longueur de l'éprouvette

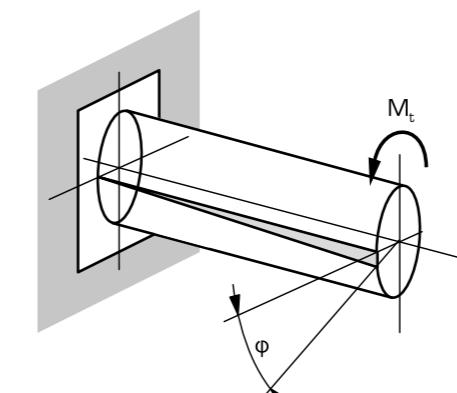
Le moment de torsion est appliqué manuellement par le biais d'une roue à main et d'un engrenage à vis sans fin. La plaque de base est renforcée contre la torsion. Un capot de protection transparent protège des éclats.

Le moment de torsion efficace est mesuré au moyen d'un couplemètre équipé de jauge de contrainte, et peut être lu directement sur un affichage. L'angle de torsion est enregistré par un codeur incrémental et peut lui aussi être lu directement. Les valeurs de mesure sont transmises vers un PC, afin d'y être évaluées à l'aide du logiciel.

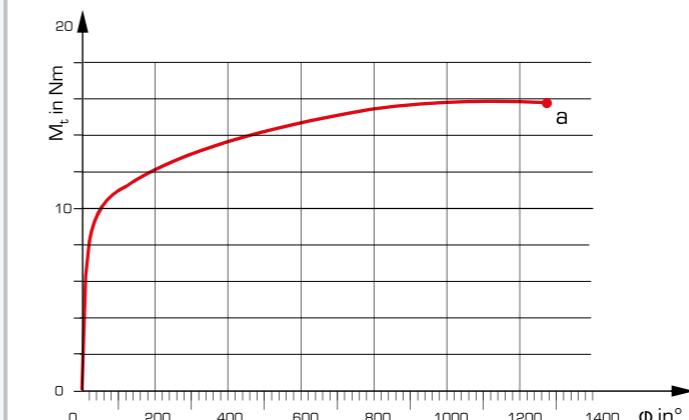
Des éprouvettes constituées de divers matériaux, et de longueurs différentes, sont comprises dans la liste de livraison. Pour s'adapter aux différentes longueurs des éprouvettes, le dispositif de mesure peut être déplacé sur le bâti rigide.



1 amplificateur de mesure avec affichage, 2 engrenage à vis sans fin, 3 codeur incrémental, 4 roue à main pour moment de torsion, 5 éprouvette, 6 dispositif de mesure mobile avec couplemètre et unité de compensation



Principe de fonctionnement de l'essai de torsion:  $M_t$  moment de torsion,  $\phi$  angle de torsion



Essai de torsion sur des matériaux métalliques jusqu'à la rupture:  $M_t$  moment de torsion,  $\phi$  angle de torsion, a rupture de l'éprouvette

#### Spécification

- [1] essais de torsion avec différentes éprouvettes métalliques jusqu'à leur rupture
- [2] génération manuelle du moment d'essai par une roue à main et un engrenage à vis sans fin
- [3] spécification de l'angle d'entrée par la roue à main
- [4] éprouvettes courtes et longues en acier, aluminium, laiton
- [5] dispositif de mesure mobile pour s'adapter aux différentes longueurs des éprouvettes
- [6] mesure du moment d'essai par un couplemètre et un amplificateur de mesure
- [7] couplemètre avec compensation de la déformation propre
- [8] mesure de l'angle de torsion par codeur incrémental
- [9] amplificateur de mesure électronique avec écran tactile pour l'affichage du moment de torsion et de l'angle de torsion
- [10] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

#### Caractéristiques techniques

Moment de torsion max.: 30Nm  
Dispositif de charge, engrenage à vis sans fin  
■ rapport de transmission: 1:63

Logement des éprouvettes: 2x17mm, hexagonal

#### Éprouvettes

- diamètre: 6mm
- 4x 75mm, acier
- 4x 75mm, aluminium
- 4x 75mm, laiton
- 2x 175mm, acier
- 2x 350mm, acier
- 2x 700mm, acier

#### Plages de mesure

- couple: 0...30,0Nm
- angle de torsion: 0...±3200°, résolution: 0,1°

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

Lxlh: 1400x700x500mm (appareil d'essai)

Lxlh: 230x210x120mm (amplificateur de mesure)

Poids: env. 43kg (total)

#### Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows recommandé

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 amplificateur de mesure
- 1 jeu d'éprouvettes de torsion
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

## WP 510

### Essai de torsion 200Nm, entraînement moteur



#### Description

- mesure du moment d'essai avec des jauge de contrainte
- codeur incrémental pour l'enregistrement de l'angle de torsion
- quatre vitesses de déformation différentes ajustables
- essais basés sur les standards industriels

L'essai de torsion fait partie des méthodes d'essai destructif, et étudie le comportement plastique des matériaux. Dans la pratique, on se sert de cette méthode d'essai pour tester des composants qui sont tordus pendant leur utilisation, comme par exemple les vis, arbres, axes, fils et ressorts.

L'appareil d'essai WP 500 permet de réaliser des essais de torsion durant lesquels des éprouvettes sont tordues jusqu'à la rupture. Grâce à la clarté du montage et à la facilité d'utilisation, on peut observer tous les détails et les phases de l'essai. L'appareil est suffisamment performant pour pouvoir réaliser des essais basés sur les standards industriels.

Lors de l'essai, des éprouvettes métalliques sont tordues jusqu'à leur destruction suite à une rupture de cisaillement typique.

#### Contenu didactique/essais

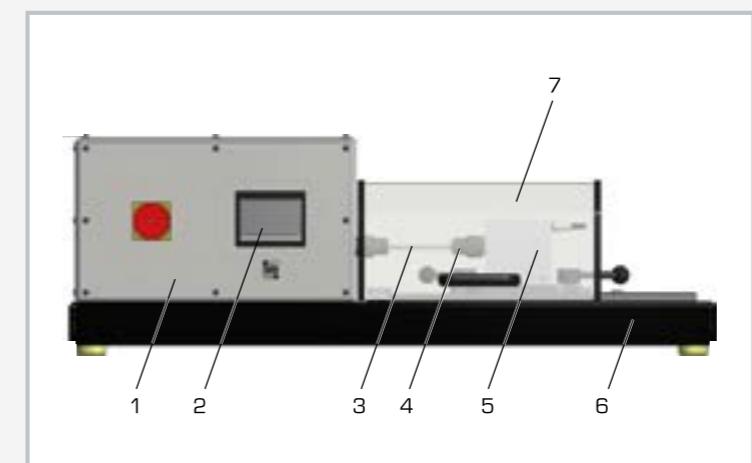
- essais de torsion avec différents matériaux et jusqu'à la rupture de l'éprouvette
- détermination de la résistance à la torsion
- enregistrement du diagramme moment de torsion-angle de torsion
- détermination de la plage élastique
- influence
  - ▶ du matériau de l'éprouvette
  - ▶ de la section de l'éprouvette
  - ▶ de la longueur de l'éprouvette

Le moment de torsion est appliqué par un motoréducteur à forte démultiplication. Un convertisseur de fréquence offre quatre vitesses d'entraînement différentes en marche à droite et à gauche. La plaque de base est renforcée contre la torsion. Un capot de protection transparent protège des éclats.

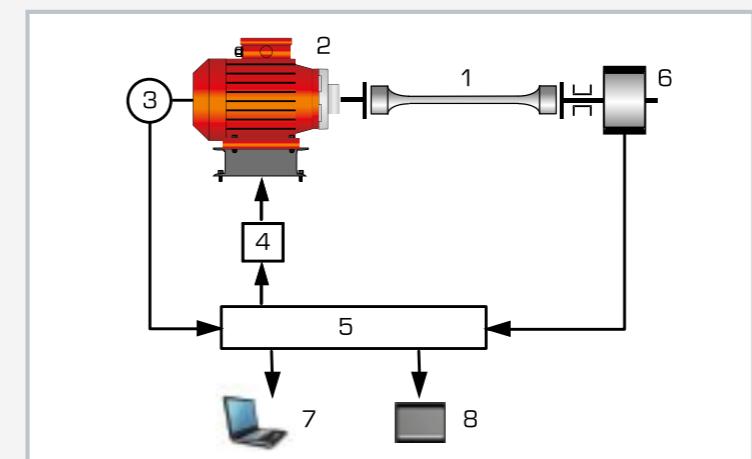
Des éprouvettes constituées de divers matériaux et de longueurs différentes sont comprises dans la liste de livraison. Pour s'adapter aux différentes longueurs des éprouvettes, le dispositif de mesure peut être déplacé sur le bâti rigide.

Le moment de torsion efficace (moment d'essai) est mesuré au moyen d'un couplemètre équipé de jauge de contrainte, et peut être lu directement sur un affichage. L'angle de torsion est enregistré par un codeur incrémental et peut lui aussi être lu directement. La technique de mesure assistée par microprocesseur est bien protégée à l'intérieur du boîtier.

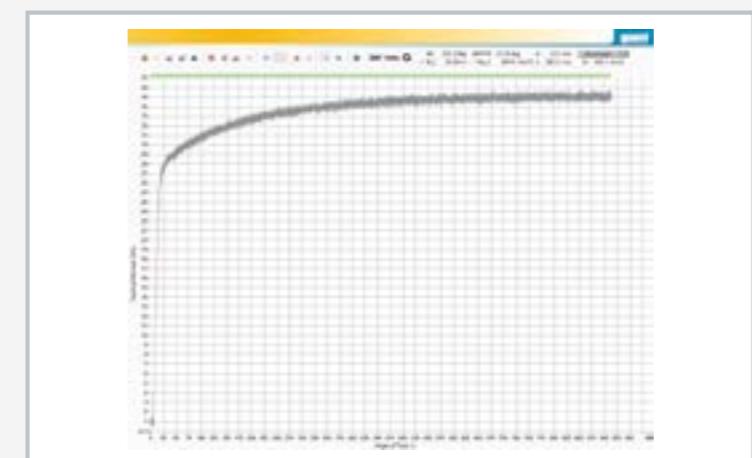
Le logiciel GUNT associé au microprocesseur permet de bénéficier de tous les avantages offerts par la réalisation et l'évaluation des essais assistés par ordinateur. La liaison au PC est assurée par une connexion USB.



1 unité d'entraînement avec motoréducteur, 2 écran tactile pour la commande et l'affichage des valeurs de mesure, 3 éprouvette, 4 logement de l'éprouvette [douille de clé à pipe usuelle de 19mm], 5 butée à serrage rapide sur rails de guidage avec dispositif de mesure du moment, 6 plaque de base résistante à la torsion, 7 capot de protection transparent



1 éprouvette, 2 motoréducteur, 3 codeur incrémental, 4 convertisseur de fréquence, 5 microprocesseur, 6 couplemètre, 7 PC, 8 écran tactile



Capture d'écran du logiciel: moment de torsion en fonction de l'angle de torsion

#### Spécification

- [1] essais de torsion assistés par moteur avec différentes éprouvettes métalliques jusqu'à la rupture
- [2] génération du moment de torsion par un motoréducteur à vis sans fin; vitesses de torsion ajustables, marche à droite et à gauche
- [3] motoréducteur à vis sans fin, vitesse de torsion régulée par un convertisseur de fréquence
- [4] éprouvettes: acier, aluminium, laiton
- [5] mesure du moment d'essai par un couplemètre
- [6] mesure de l'angle de torsion par un codeur incrémental
- [7] affichage des valeurs de mesure et commande par écran tactile
- [8] technique de mesure assistée par microprocesseur
- [9] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

#### Caractéristiques techniques

- Motoréducteur à vis sans fin
- moment de torsion max.: 200Nm
  - vitesses de torsion: 50, 100, 200, 500°/min
  - convertisseur de fréquence avec 4 vitesses de rotation fixes
  - puissance du moteur: 0,12kW, marche à droite et à gauche

#### Éprouvettes

- diamètre: 9mm, longueur: 100mm
- 3x acier
- 3x aluminium
- 3x laiton
- logement de l'éprouvette: 2x19mm, hexagonal
- longueurs d'éprouvettes possibles: max. 300mm

#### Plages de mesure

- couple: 0...199,9Nm
- angle de rotation: 0...±3200°, résolution: 0,1°

230V, 50Hz, 1 phase  
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase  
UL/CSA en option  
Lxlh: 1120x550x380mm  
Poids: env. 95kg

#### Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 3 jeux d'éprouvettes (acier, aluminium, laiton)
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

## WP 140

### Essai de résistance à la fatigue



#### Description

- différentes éprouvettes montrent l'influence de l'effet d'entaille et de la qualité des surfaces
- ajustage en continu de l'amplitude de charge
- arrêt automatique en cas de rupture de l'éprouvette

Les pièces de construction et de machine en mouvement sont souvent soumises à des charges à variation périodique. Même lorsque la charge dynamique est largement inférieure à la charge statique admissible, cette charge peut entraîner à moyen terme une rupture du composant due à la fatigue du matériau. La durée, ainsi que la stabilité des composants, sont déterminées par le biais de ce que l'on appelle les essais de résistance à la fatigue et essais de fatigue dynamique.

L'appareil d'essai WP 140 montre les principes de base de l'essai de résistance à la fatigue, ainsi que l'élaboration du diagramme de Wöhler. Grâce à la clarté du montage et à la facilité d'utilisation, on peut observer tous les détails et les phases de l'essai. Lors de l'essai, une éprouvette cylindrique en rotation, fixée sur un côté, est soumise à une force unique. La charge de l'éprouvette correspond à celle d'une poutre en flexion fixe. L'éprouvette est soumise à

#### Contenu didactique/essais

- résistance à la fatigue de barres sous contrainte en flexions alternées
- influence de différents rayons de congé et qualités des surfaces sur la résistance à la fatigue
- diagramme de Wöhler

une contrainte exclusivement en flexions alternées, et se rompt au bout d'un certain nombre d'alternances de charges en raison de la fatigue du matériau.

La force requise est générée dans le dispositif de charge au moyen d'une balance à ressort et d'un palier libre. L'amplitude de charge peut être ajustée en continu par le biais de la précontrainte de la balance à ressort, à l'aide d'une broche filetée. Un compteur électronique enregistre le nombre d'alternances de charges, et l'affiche sous forme numérique. Les impulsions requises pour le compteur sont délivrées par un détecteur de proximité inductif, situé sur l'accouplement du moteur. Le compteur peut également être utilisé pour mesurer la vitesse de rotation.

En cas de rupture de l'éprouvette, le moteur électrique est arrêté automatiquement par l'interrupteur d'arrêt. Un capot de protection protège des éclats. Des éprouvettes avec différents congés sont comprises dans la liste de livraison, afin de pouvoir démontrer l'effet d'entaille et l'influence des surfaces. Avec le système d'acquisition de données WP 140.20, on peut transférer les valeurs de mesure sur un PC où elles pourront être évaluées à l'aide du logiciel.



1 capot de protection, 2 moteur électrique, 3 coffret de commande, 4 outil, 5 éprouvettes, 6 palier, 7 éprouvette maintenue, 8 dispositif de charge avec balance à ressort et roue à main

#### Spécification

- [1] principes de base de l'essai de résistance à la fatigue
- [2] entraînement par moteur électrique
- [3] arrêt automatique en cas de rupture de l'éprouvette
- [4] dispositif de charge avec palier libre mobile, broche filetée avec roue à main, balance à ressort
- [5] éprouvettes cylindriques en acier, différents congés
- [6] mesure de la vitesse de rotation par un capteur de vitesse inductif ou un compteur électronique pour alternances de charges
- [7] affichage numérique du compteur
- [8] capot de protection pour un fonctionnement sécurisé
- [9] système d'acquisition de données (WP 140.20) disponible en option

#### Caractéristiques techniques

##### Moteur électrique

- vitesse de rotation:  $2800\text{min}^{-1}$
- puissance: 0,37kW

##### Force de charge

- 0...300N

##### Compteur de cycles de charge électronique

- 8 chiffres numériques
- commutable sur affichage de la vitesse de rotation

##### Éprouvettes

- matériau: acier Ck35
- 3 congés différents

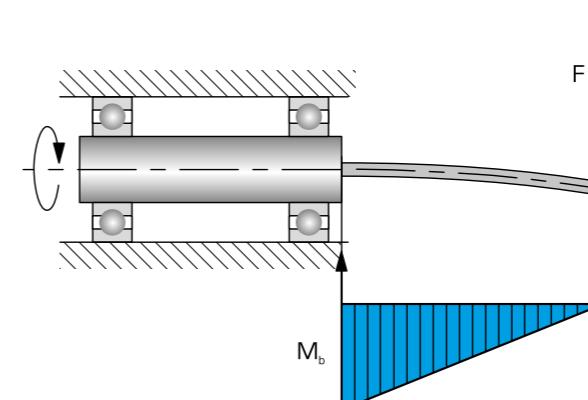
230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

LxLxH: 840x410x600mm

Poids: env. 31kg



Principe de fonctionnement de l'essai de résistance à la fatigue: éprouvette en rotation maintenue d'un seul côté, soumise à une force unique; F force,  $M_b$  moment de flexion

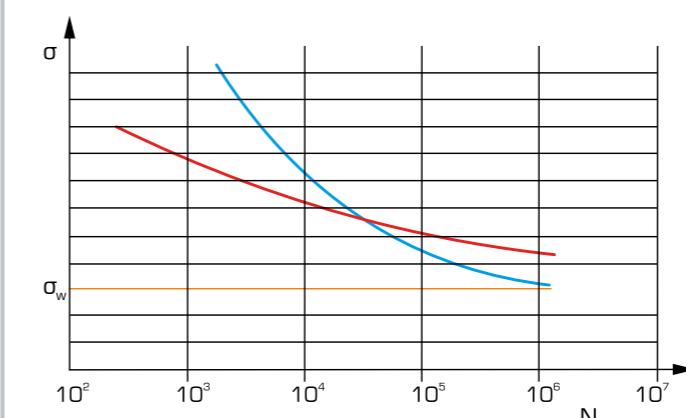


Diagramme de Wöhler pour deux matériaux différents N: nombre d'alternances de charges σ: sollicitation en contrainte de l'éprouvette Plus le nombre d'alternances de charges augmente, plus la sollicitation admissible d'un matériau se rapproche asymptotiquement de la résistance dynamique à la fatigue  $\sigma_w$ .

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu d'éprouvettes
- 1 documentation didactique

## WP 600

### Essai de fluge



#### Description

- phénomènes typiques lors des processus de fluge
- essais possibles à température de local et à température inférieure

Les composants soumis à des sollicitations constantes sur une longue durée subissent une déformation plastique. Ce comportement des matériaux est appelé fluge. L'essai de fluge est une méthode d'essai destructif qui sert à déterminer le comportement de matériaux (processus de fluge) à température d'essai constante (température de local mais aussi inférieure à la température de local) et après l'action d'une charge constante sur une longue durée.

L'appareil d'essai WP 600 montre des phénomènes typiques comme les phases de différentes vitesses de fluge, ou le comportement de fluge en fonction de la température. Grâce à la clarté du montage et à la facilité d'utilisation, on peut observer tous les détails et les phases de l'essai. Pour atteindre des vitesses de fluge acceptables dès la température de local, on utilise des éprouvettes en plomb et en plastique.

#### Contenu didactique/essais

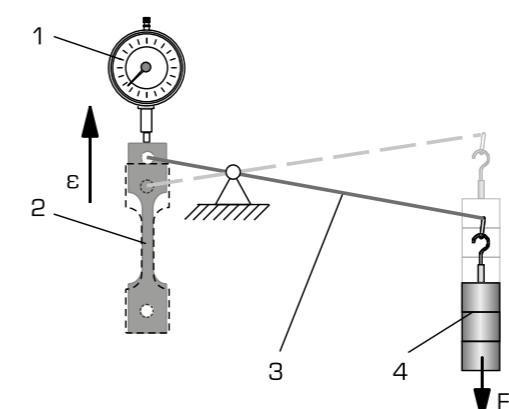
- processus de fluge sur des éprouvettes en différents matériaux
- enregistrement du diagramme déformation-temps (courbe déformation-temps)
- influence de la température et de la charge sur le fluge
- charge et relaxation des plastiques

Une boîte de températion transparente, équipée d'accumulateurs de chaleur, permet d'effectuer facilement des essais en dessous de la température de local.

Lors de l'essai, l'éprouvette est soumise, à température constante, à une charge de traction elle aussi constante. La charge de traction est générée par un levier et des poids progressifs. Afin d'éviter que des contraintes en flexion ne s'exercent sur l'éprouvette, les porte-éprouvettes sont équipés de paliers à couteau. Une butée mobile protège le comparateur à cadran en cas de rupture de l'éprouvette, et évite que les charges viennent percuter l'appareil d'essai. L'allongement de l'éprouvette en fonction du temps est enregistré par un comparateur à cadran et un chronographe, et représenté dans un diagramme déformation-temps appelé la courbe déformation-temps.



1 thermomètre pour boîte de températion, 2 accumulateur pour le refroidissement de l'éprouvette, 3 éprouvette maintenue, 4 éprouvettes, 5 poids, 6 butée mobile pour le levier, 7 levier, 8 comparateur à cadran



Principe de fonctionnement de l'essai de fluge: 1 comparateur à cadran, 2 éprouvette, 3 levier pour la transmission de la force, 4 poids; F force, ε déformation

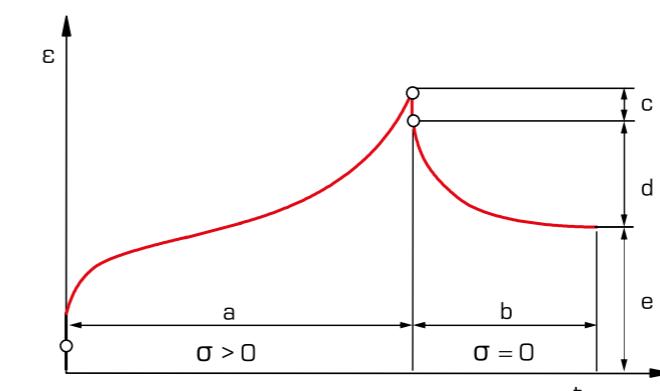


Diagramme déformation-temps [courbe déformation-temps] du plastique: a charge, b décharge, c relaxation élastique, d relaxation plastique, e déformation permanente, ε déformation, σ contrainte, t temps

#### Spécification

- [1] étude du comportement de fluge de différents matériaux dans des essais de fluge
- [2] charge constante de l'éprouvette grâce à un bras de levage et des poids progressifs
- [3] éprouvettes plates en plomb et en plastique (PE)
- [4] essais possibles à températures de local et inférieure
- [5] boîte de températion avec accumulateurs pour le refroidissement des éprouvettes
- [6] comparateur à cadran pour la détermination de l'allongement
- [7] chronographe pour l'enregistrement du temps

#### Caractéristiques techniques

##### Éprouvettes

- LxL: 25x5mm, épaisseur de 2mm
- 10x plomb
- 10x plastique (PE)

##### Poids

- 1x 1N (suspendue)
- 2x 5N
- 3x 2N
- 3x 1N
- 2x 0,5N

##### Plages de mesure

- contrainte de traction: 5...25Nmm<sup>-2</sup>
- déplacement: 0...10mm, graduation: 0,01mm
- température: -50...300°C

LxLxh: 700x350x510mm  
Poids: env. 23kg

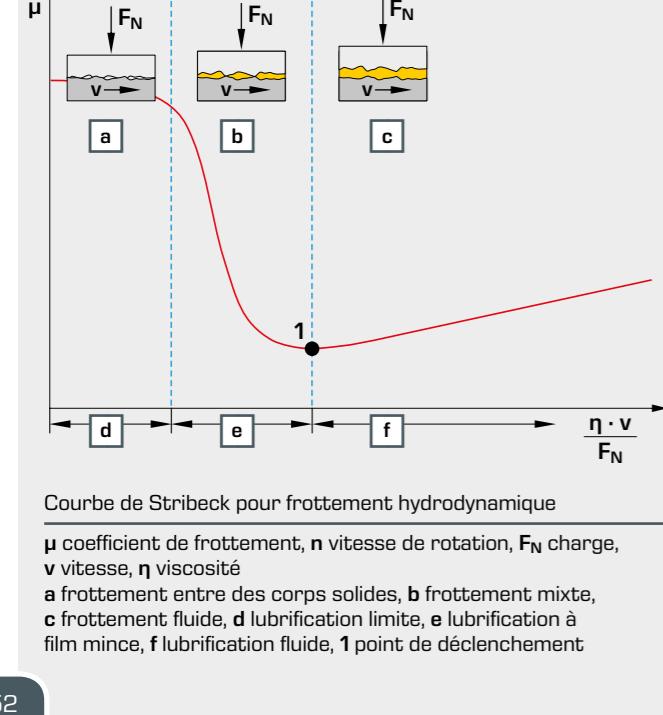
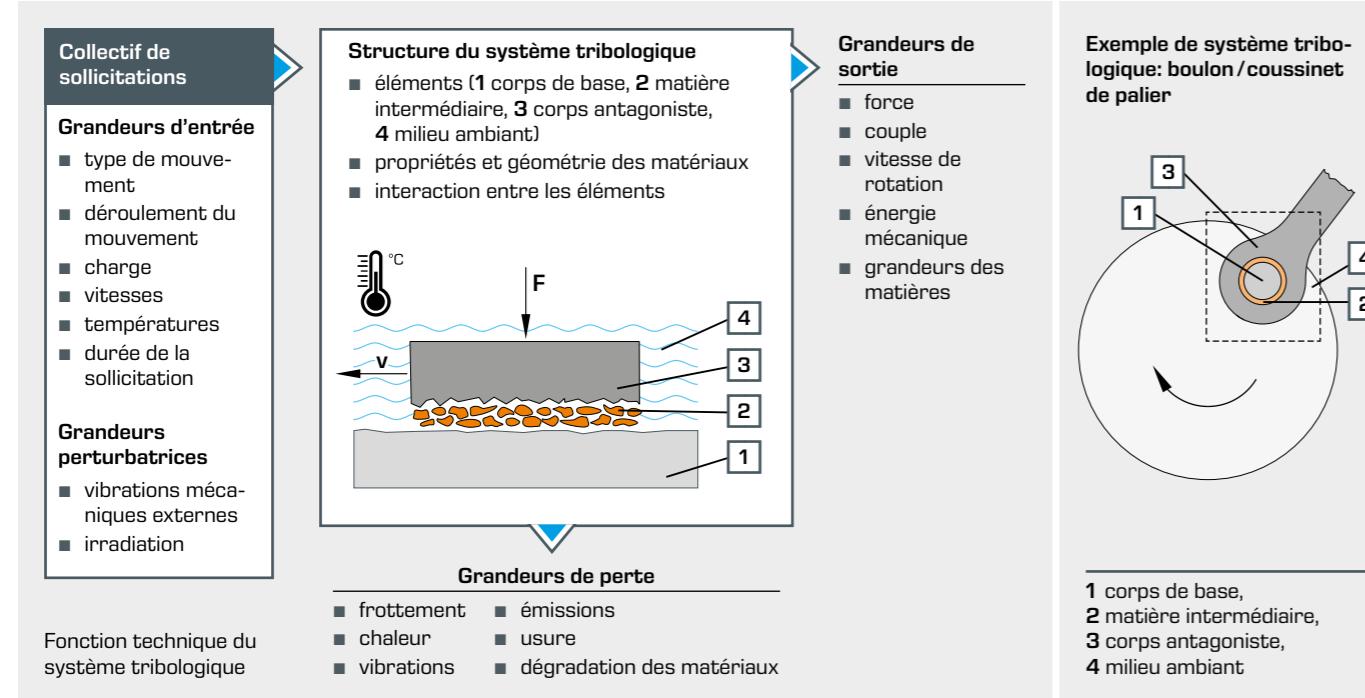
#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu d'éprouvettes
- 1 jeu de poids
- 1 chronographe
- 1 boîte de températion avec 2 accumulateurs et 1 thermomètre
- 1 documentation didactique

# Tribologie et corrosion

## Tribologie

La tribologie est la science et technique qui étudie l'interaction de surfaces en mouvement relatif. Dans le domaine technique, la tribologie sert à étudier le frottement, l'usure et la lubrification. Cette discipline s'étend à tous les domaines du développement, de la conception mécanique, de la production et de la maintenance des systèmes locomoteurs mécaniques. Les processus d'usure sont analysés à l'aide de ce que l'on appelle un système tribologique, et sont décrits par des grandeurs de perte "relatives au système". Un système tribologique comprend tous les éléments (composants et matières) qui participent à une sollicitation tribologique ainsi que leurs propriétés. Des composants matériels tels que le corps de base, le corps antagoniste, la matière intermédiaire et le milieu ambiant forment la structure de ce système. Les grandeurs d'entrée et les grandeurs perturbatrices sont rassemblées dans un collectif de sollicitations.



Lors de l'évaluation des systèmes tribologiques, des procédés de mesure adéquats permettent de déterminer les grandeurs de perte comme le coefficient de frottement, les forces de frottement et les vibrations à friction. La modification d'une grandeur d'entrée ou d'une grandeur perturbatrice peut déjà influencer, de manière significative, le comportement de frottement et d'usure. Pour étudier les dépendances des grandeurs de perte, il faut donc réaliser des essais expérimentaux.

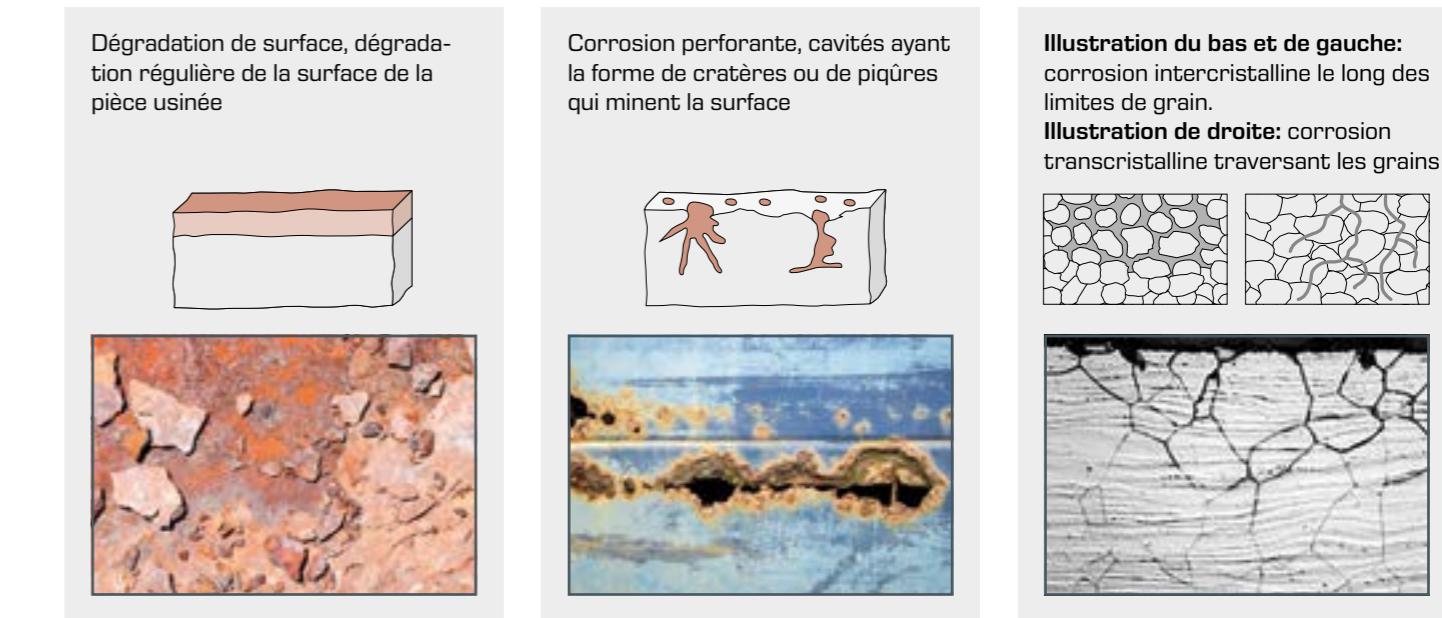
La courbe de Stribeck offre une bonne vue d'ensemble des états de frottement rencontrés, par exemple, sur des paliers lisses. Elle met en évidence le rapport existant entre le coefficient de frottement, la pression de friction et la force de palier. Plus la vitesse augmente, plus le film lubrifiant s'épaissit, et l'on traverse successivement les zones de frottement entre des corps solides, de frottement mixte et de frottement fluide, expérience durant laquelle les surfaces sont entièrement séparées par le film lubrifiant.

Le passage entre frottement mixte et frottement fluide est appelé point de déclenchement. C'est le frottement fluide qui produit l'usure la plus réduite.

## Corrosion

On appelle corrosion la réaction d'un matériau métallique avec son environnement, qui produit une altération mesurable du matériau. Cette dernière peut entraîner le dysfonctionnement d'un composant métallique ou d'un système tout entier.

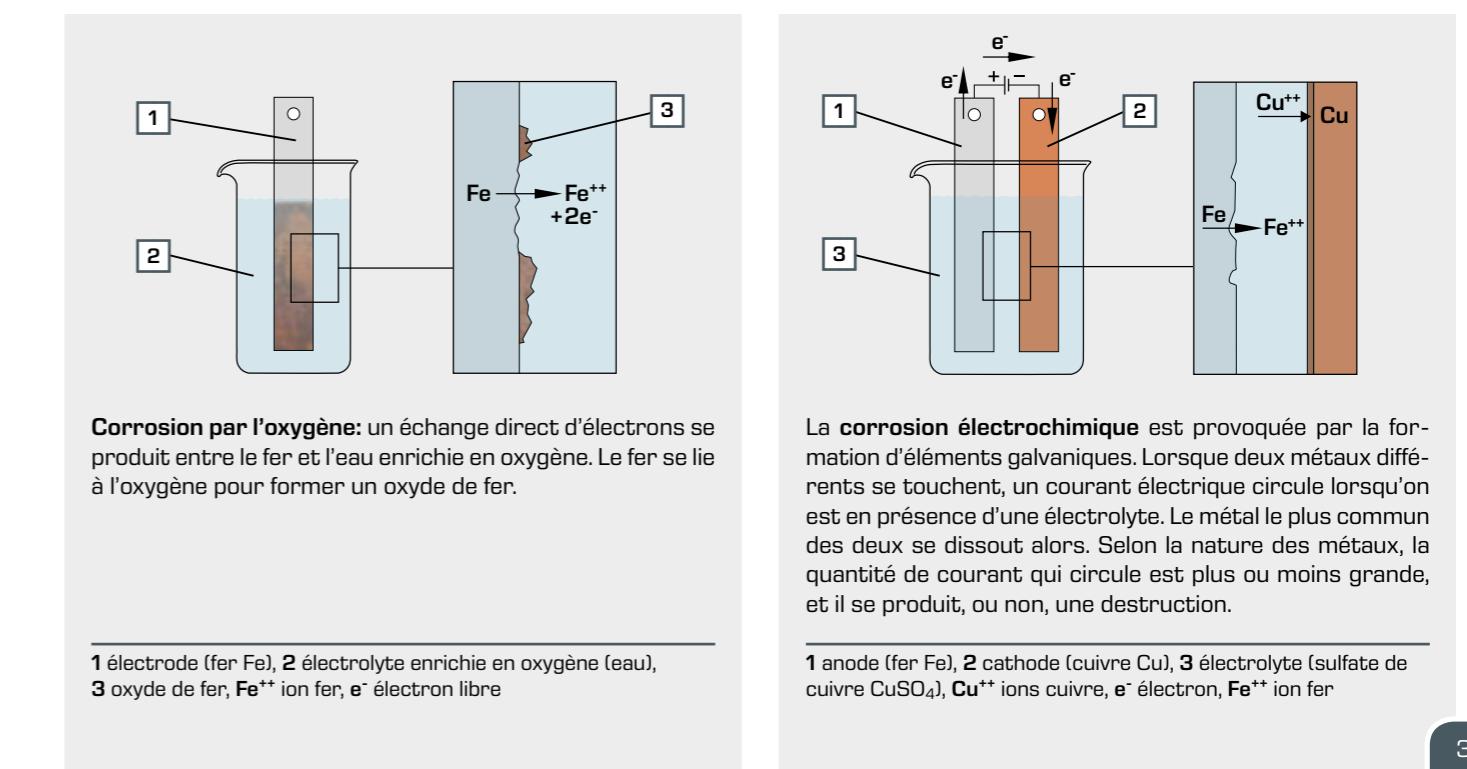
### Les formes d'altération des matériaux par la corrosion



### Les processus de la corrosion

Les conditions ambiantes du matériau jouent un rôle essentiel dans la corrosion. Il s'agit principalement des gaz se trouvant dans l'atmosphère et les liquides environnants. Les solutions

peuvent être des électrolytes (liquides conducteurs d'ions). Dans le cas des métaux, la corrosion est due principalement aux processus électrochimiques ou chimiques.



## TM 260

### Dispositif d'entraînement pour essais de tribologie



#### Description

- **module de base pour l'étude de différents cas de frottements de glissement et de roulement pur force de serrage par des poids et un levier**
- **mesure électronique des forces de frottement entre les partenaires de friction**

La tribologie étudie le frottement, l'usure et la lubrification. Un frottement se produit lorsque deux corps solides sont en contact et que leur mouvement est entravé. Si une perte progressive de matière s'ajoute à cela, elle est qualifiée d'usure. Pour minimiser le frottement et l'usure, on utilise des lubrifiants appropriés.

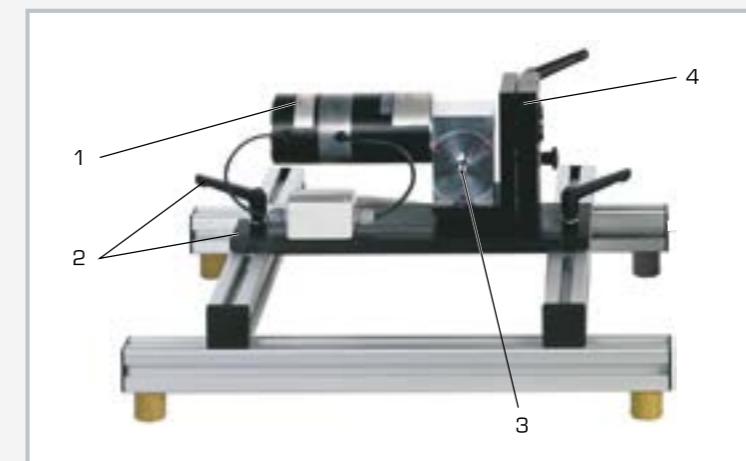
L'unité d'entraînement TM 260, associée aux appareils d'essai TM 260.01 à TM 260.06, couvre un cours complet d'étude des phénomènes tribologiques avec toute une série d'essais. Différents cas de frottement par roulement et par glissement peuvent être présentés de manière très explicite en classe ou étudiés dans le laboratoire. Les paramètres d'un système tribologique sont enregistrés et évalués. Une sélection très complète de paires de friction permet, entre autres, de montrer que la force de frottement ne dépend pas des surfaces de contact.

#### Contenu didactique/essais

- en association avec les appareils d'essai TM 260.01 à TM 260.06
  - ▶ frottement de roulement de deux disques avec glissement
  - ▶ comportement élastohydrodynamique (théorie EHD), frottement de roulement pur d'une bille contre une surface plane
  - ▶ contrôle de l'usure: tige contre disque
  - ▶ contrôle de l'usure: essai de la roue de friction
  - ▶ vibrations à friction et effets stick-slip
  - ▶ répartition de pression dans un palier lisse

L'appareil d'affichage et de commande affiche la force de frottement et la vitesse de rotation, et permet l'ajustage en continu de la vitesse de rotation.

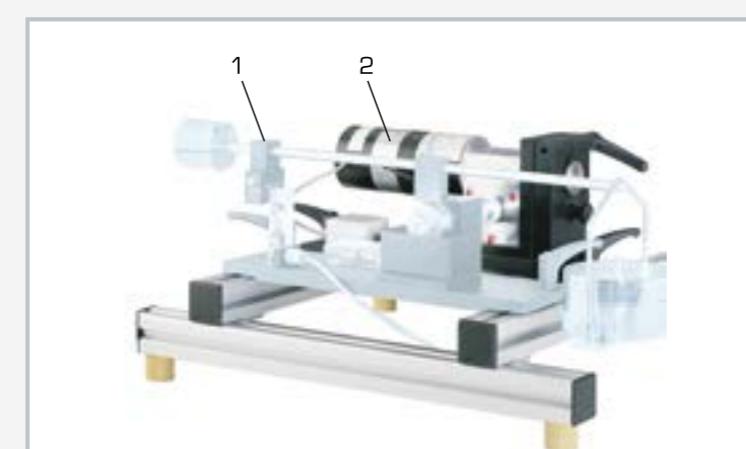
Le cours permet de réaliser les essais suivants: Frottement de roulement sur des roues de friction (TM 260.01), Comportement élasto-hydrodynamique (TM 260.02), Frottement de glissement sur goupille-disque (TM 260.03), Vibrations à friction (TM 260.04), Frottement de glissement sur goupille cylindrique-rouleau (TM 260.05), Répartition de pression dans des paliers lisses (TM 260.06).



1 moteur et engrenage, 2 éléments à serrage rapide, 3 arbre d'entraînement, 4 entraînement pivotant



1 l'appareil d'essai TM 260.03 étudie un système tribologique, composé d'une tige et d'un disque, qui glissent l'un sur l'autre, 2 unité d'entraînement TM 260



1 l'appareil d'essai TM 260.05 étudie un système tribologique, composé d'une tige cylindrique et d'un rouleau, qui glissent l'un sur l'autre (contact ponctuel), 2 unité d'entraînement TM 260

#### Spécification

- [1] module de base avec unité d'entraînement et appareil d'affichage et de commande pour l'étude des phénomènes tribologiques
- [2] position horizontale ou verticale de l'arbre d'entraînement grâce au bloc-moteur pivotant
- [3] différents appareils d'essai disponibles comme accessoires
- [4] fixation de l'unité d'entraînement et des appareils d'essai par des éléments à serrage rapide
- [5] unité d'entraînement composée d'un moteur à courant continu, avec engrenage à vis sans fin
- [6] vitesse de rotation du moteur à courant continu ajustable en continu
- [7] mesure de la vitesse de rotation par un codeur incrémental
- [8] mesure de la force de frottement par un capteur de force
- [9] affichage de la force et de la vitesse de rotation sur l'appareil d'affichage et de commande

#### Caractéristiques techniques

Moteur à courant continu  
■ vitesse de rotation nominale:  $3000\text{min}^{-1}$   
■ couple:  $18,5\text{Nm}$

Engrenage à vis sans fin: transmission 15:1  
■ vitesse de rotation de service:  $0\ldots200\text{min}^{-1}$ , régulation électrique

Plages de mesure  
■ force:  $0\ldots50\text{N}$   
■ vitesse de rotation:  $0\ldots200\text{min}^{-1}$

230V, 50Hz, 1 phase  
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase  
UL/CSA en option  
Lxlxh:  $500\times450\times280\text{mm}$  (module de base)  
Poids: env. 10kg  
Lxlxh:  $360\times330\times170\text{mm}$  (appareil d'affichage et de commande)  
Poids: env. 6kg

#### Liste de livraison

- 1 module de base
- 1 appareil d'affichage et de commande
- 1 jeu de câbles
- 1 documentation didactique

## TM 260.01

### Frottement de roulement sur des roues de friction



L'illustration montre le TM 260.01 sur le bâti du TM 260.

#### Description

- **forces de frottement entre deux roues de friction roulant l'une sur l'autre**
- **influence du glissement sur la force de frottement**
- **possibilité d'utiliser différents lubrifiants**

En technique de palier et d'entraînement, des frottements dynamiques apparaissent aux endroits de glissement et de roulement, et entraînent des pertes de performance des systèmes techniques. Parmi les frottements dynamiques, on distingue le frottement de glissement, de roulement pur, de roulement et de pivotement. Pour le frottement de glissement, on a uniquement un mouvement de translation des deux corps. Un frottement de roulement pur apparaît lorsque deux corps roulent l'un sur l'autre, sans glissement. Lors d'un frottement de roulement, un faible mouvement de glissement se superpose au mouvement de roulement. Le frottement de roulement est donc la combinaison d'un frottement de roulement pur et d'un frottement de glissement.

Le système tribologique du TM 260.01 permet d'obtenir une représentation claire du frottement de roulement, et d'étudier les forces de frottement.

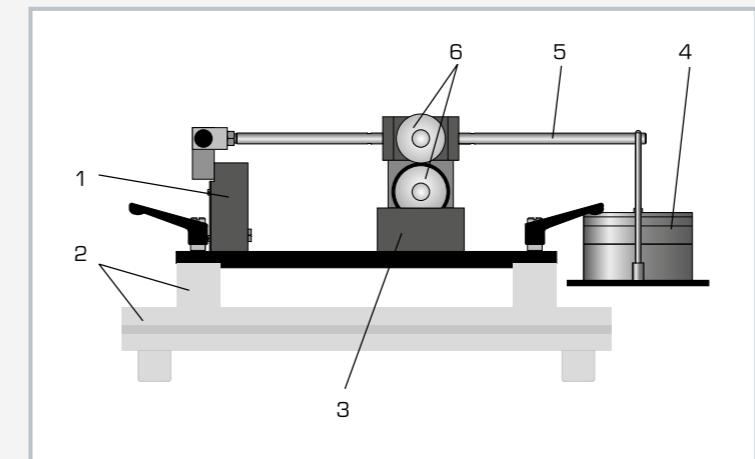
#### Contenu didactique/essais

- en association avec l'unité d'entraînement
- ▶ détermination des forces de frottement en fonction des charges, de la lubrification et de la vitesse de rotation de service
- ▶ influence du glissement sur la force de frottement
- ▶ détermination des coefficients de frottement

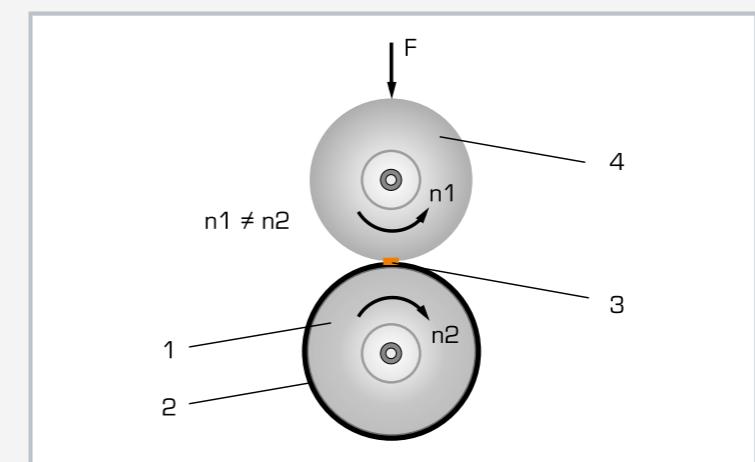
L'appareil d'essai comprend deux roues de friction avec la paire de matériaux aluminium/caoutchouc aux points de contact. Le glissement entre les roues de friction est maintenu constant à 4% au moyen d'un engrenage. La force de serrage peut être ajustée graduellement par un levier jusqu'à 80N max. L'appareil d'essai est pourvu d'un réservoir d'alimentation en lubrifiant. Il est possible d'étudier différents états de lubrification tels que le frottement à sec, la lubrification à l'eau ou à l'huile.

Pour la réalisation de l'essai, l'unité d'entraînement TM 260 est requise. L'appareil d'essai se monte rapidement et facilement sur le bâti de l'unité grâce à des éléments à serrage rapide. L'entraînement de la roue motrice est assuré par un accouplement fixable entre l'unité d'entraînement et l'engrenage. L'appareil d'affichage et de commande de l'unité d'entraînement affiche la force de frottement et la vitesse de rotation, et permet l'ajustage en continu de la vitesse de rotation.

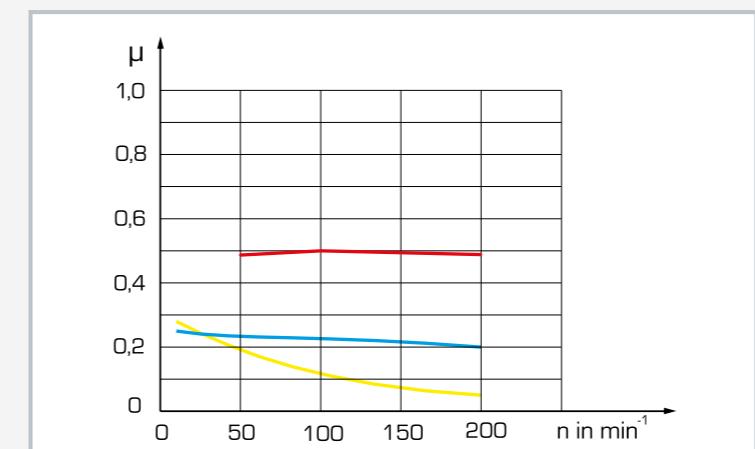
Lors des essais, on peut déterminer la force de frottement ainsi que le coefficient de frottement. Un capteur de force assure la mesure des forces de frottement.



1 capteur de force, 2 bâti du TM 260, 3 réservoir de lubrifiant, 4 poids, 5 levier du dispositif de charge, 6 roues de friction



Exemple de système tribologique: les roues de friction avec la paire de matériaux aluminium/caoutchouc: 1 roue de friction motrice comme corps de base, 2 anneau en caoutchouc, 3 lubrifiant comme matière intermédiaire, 4 roue de friction entraînée comme corps antagoniste; F force, n vitesse de rotation



Coefficients de frottement pour différentes lubrifications à charge constante;  $\mu$  coefficient de frottement,  $n$  vitesse de rotation, en rouge: frottement à sec, en bleu: lubrification à l'eau, en jaune: lubrification à l'huile

#### Spécification

- [1] forces de frottement entre deux roues de friction roulant l'une sur l'autre
- [2] montage facile et rapide de l'appareil d'essai sur le bâti de l'unité d'entraînement
- [3] entraînement de la roue motrice par un accouplement fixable entre l'unité d'entraînement et l'engrenage
- [4] glissement entre les roues de friction maintenu constant à 4% grâce à l'engrenage
- [5] charge des roues de friction par le biais d'un bras de levier et de poids progressifs
- [6] roues de friction Paire de matériaux: aluminium/caoutchouc
- [7] utilisation de différents lubrifiants
- [8] mesure de la force de frottement avec un capteur de force
- [9] affichage de la force et de la vitesse de rotation ainsi qu'ajustage de la vitesse de rotation, par l'unité d'entraînement

#### Caractéristiques techniques

##### Dispositif de charge

- charge max.: 80N
- transmission par le bras de levier: 2:1

##### Roues de friction

- Ø=49mm
- Ø=45mm, avec anneau en caoutchouc

##### Transmission de l'engrenage

- i: 0,96, glissement env. 23%

##### Capteur de force pour force de frottement

- 0...50N

##### Poids

- 1x 5N (suspendue)
- 1x 5N
- 1x 10N
- 1x 20N

LxLxH: env. 480x250x150mm

Poids: env. 7kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 2 roues de friction
- 1 jeu de poids
- 1 documentation didactique

## TM 260.02

### Comportement élasto-hydrodynamique



#### Description

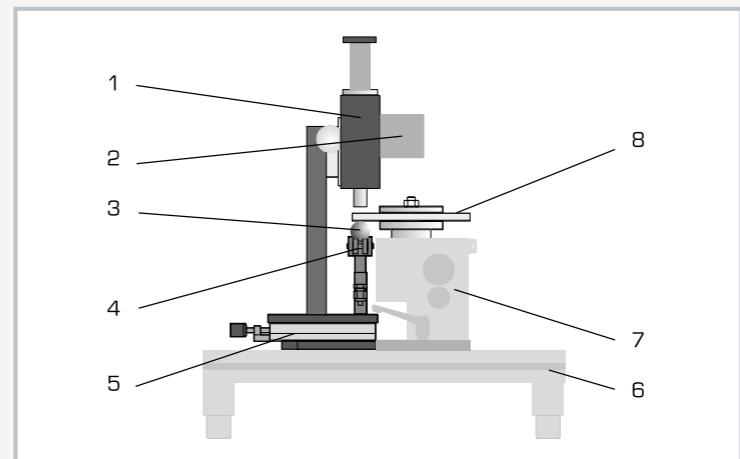
- comportement élasto-hydrodynamique entre la paire de friction bille-disque en verre en rotation
- étude de l'épaisseur et de la forme du film lubrifiant

La lubrification élasto-hydrodynamique se produit sur les paliers à roulement, les engrenages à roues dentées et les pousoirs à came, dont les surfaces de contact sont fortement sollicitées. Sous l'effet de pressions de contact élevées, ces surfaces subissent une déformation élastique. La théorie de l'élasto-hydrodynamique (théorie EHD) considère la déformation élastique des corps en contact, et fournit les bases de calcul de l'influence de la lubrification sur les dommages des roues dentées et paliers à roulement.

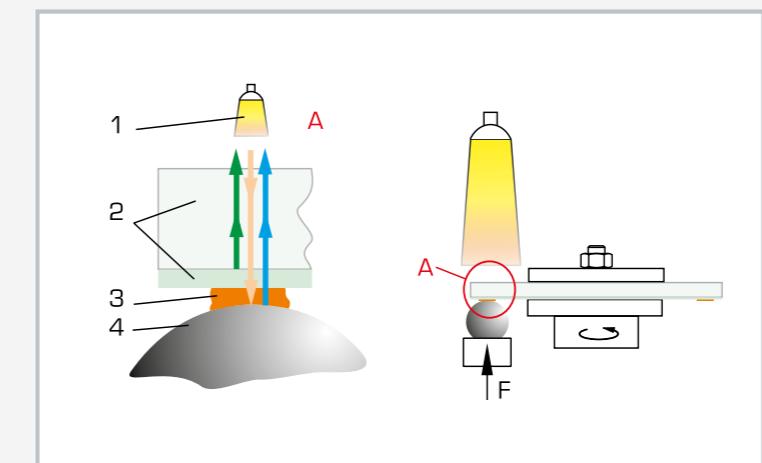
Le système tribologique du TM 260.02 permet d'obtenir une représentation claire du comportement élasto-hydrodynamique des couches de films lubrifiants.

#### Contenu didactique/essais

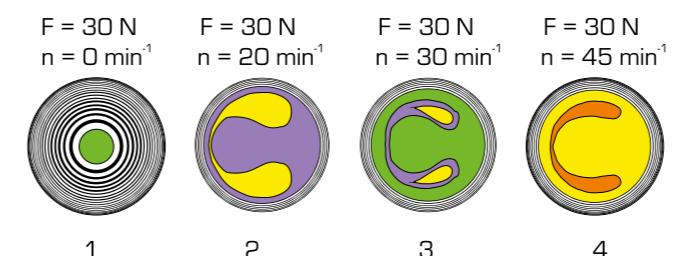
- en association avec l'unité d'entraînement
  - ▶ détermination de l'épaisseur du film lubrifiant au point de contact entre une bille et un disque en verre – comparaison avec la valeur théorique
  - ▶ étude de l'influence de la charge et de la vitesse de rotation sur l'épaisseur du film lubrifiant



1 microscope à lumière incidente, 2 lampe halogène, 3 bille en acier, 4 dispositif de charge, 5 table en croix, 6 bâti du TM 260, 7 unité d'entraînement du TM 260, 8 disque en verre



Détermination de l'épaisseur du film lubrifiant par interférence optique: 1 lampe halogène, 2 disque en verre avec revêtement diélectrique, 3 film lubrifiant, 4 bille en acier; flèche orange: lumière incidente, en vert: le revêtement diélectrique réfléchit 30% de la lumière, en bleu: la bille en acier réfléchit la lumière restante



Influence de la vitesse de rotation sur l'épaisseur du film lubrifiant: 1 cas statique, 2 à 4 augmentation de l'épaisseur du film lubrifiant [huile lubrifiante utilisée: ISO VG 100]

#### Spécification

- [1] comportement élasto-hydrodynamique d'une couche de film lubrifiant entre une bille et un disque en verre en rotation
- [2] montage rapide et facile de l'appareil d'essai sur le bâti de l'unité d'entraînement
- [3] détermination de l'épaisseur de la couche de film lubrifiant par interférence optique
- [4] entraînement du disque en verre par un accouplement fixable entre l'unité d'entraînement et l'engrenage
- [5] bille en acier trempé, poli
- [6] disque en verre en rotation à faces planes et parallèles avec revêtement diélectrique
- [7] charge continue de la bille par un bras de levier
- [8] mesure de la charge par un capteur de force
- [9] affichage de la force et de la vitesse de rotation, ainsi qu'ajustage de la vitesse de rotation par l'unité d'entraînement

#### Caractéristiques techniques

##### Dispositif de charge

- charge max.: 150N
- transmission par le bras de levier: 3:1

##### Bille

- diamètre: 25,4mm
- acier, trempé, poli

##### Disque en verre

- diamètre: 150mm, à faces planes et parallèles
- revêtement: BK 7, diélectrique, R=30%

##### Microscope

- agrandissement: 50 fois
- lampe halogène: 10W

##### Capteur de force

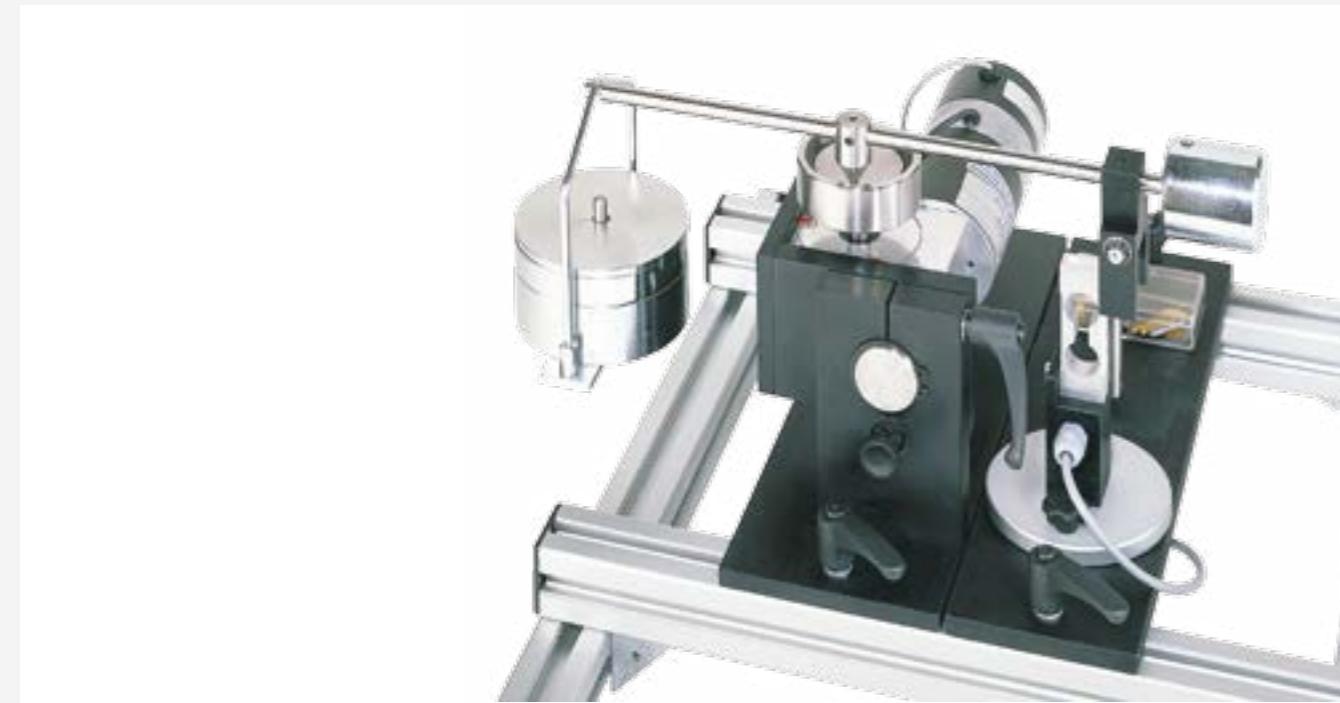
LxTxH: 350x250x550mm  
Poids: env. 8kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 bille
- 1 disque en verre
- 1 documentation didactique

## TM 260.03

### Frottement de glissement sur goupille - disque



#### Description

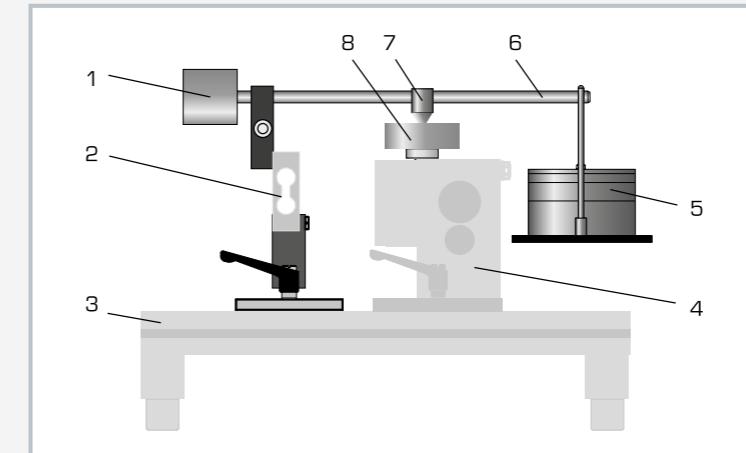
- **force de frottement entre deux paires de friction glissant l'une contre l'autre**
- **étude de l'usure**
- **possibilité d'utiliser différents lubrifiants**

En technique de palier et d'entraînement, des frottements dynamiques apparaissent aux endroits de glissement et de roulement, qui entraînent des pertes de performance des systèmes techniques. Parmi les frottements dynamiques, on distingue le frottement de glissement, de roulement pur, de roulement et de pivotement. Pour le frottement de glissement, on a uniquement un mouvement de translation des deux corps.

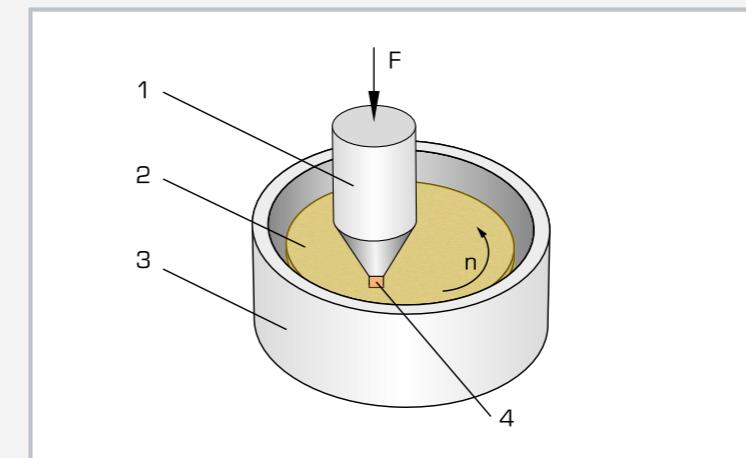
Le système tribologique du TM 260.03 permet d'obtenir une représentation claire du frottement de glissement, et d'étudier les forces de frottement. L'appareil d'essai comprend comme paire de friction une tige fermement fixée dont la face avant est appuyée axialement contre un disque rotatif. La force de serrage entre les deux partenaires de friction peut être ajustée graduellement par un levier jusqu'à 80N max. Lors des essais, on peut déterminer la force de frottement ainsi que le coefficient de frottement. Un capteur de force assure la mesure des forces de frottement. En mesurant la modification de longueur (raccourcissement) de la tige, on peut déterminer l'usure avec exactitude.

#### Contenu didactique/essais

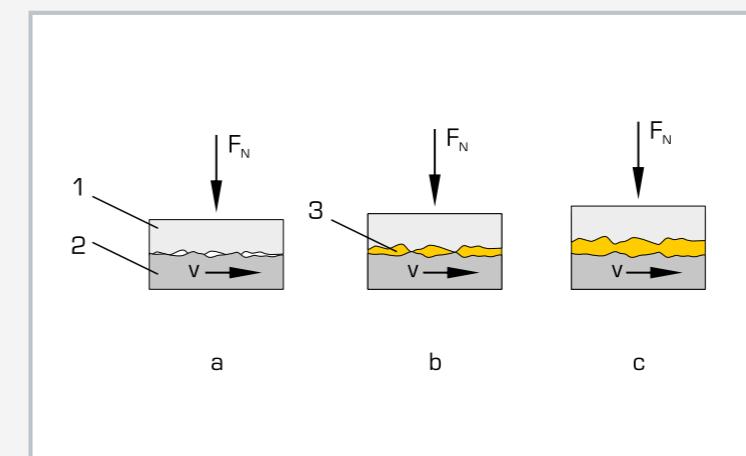
- en association avec l'unité d'entraînement
  - ▶ forces de frottement avec différentes paires de friction et charges
  - ▶ forces de frottement avec différentes lubrifications
  - ▶ forces de frottement à différentes vitesses de rotation relatives des partenaires de friction
  - ▶ usure avec différents paramètres de friction et états de lubrification



1 contrepoids, 2 capteur de force, 3 bâti du TM 260, 4 unité d'entraînement du TM 260, 5 poids, 6 levier du dispositif de charge, 7 tige, 8 disque



Système tribologique tige et disque: 1 tige comme corps antagoniste, 2 disque rotatif comme corps de base, 3 bâcher avec lubrifiant comme matière intermédiaire, 4 surface de contact; F force, n vitesse de rotation



Effet du film lubrifiant sur le frottement: 1 tige, 2 disque, 3 lubrifiant; a frottement entre des corps solides, b frottement mixte, c frottement fluide;  $F_N$  force, v vitesse

#### Spécification

- [1] forces de frottement pour une tige et un disque glissant l'un contre l'autre, sollicitation axiale du disque
- [2] montage simple et rapide de l'appareil d'essai sur le bâti de l'unité d'entraînement
- [3] entraînement du disque par un accouplement fixable entre l'unité d'entraînement et l'engrenage
- [4] tige fixe en différents matériaux: aluminium, laiton ou acier
- [5] disque rotatif en acier inoxydable trempé et taillé
- [6] charge de la tige par un bras de levier et des poids progressifs
- [7] utilisation de différents lubrifiants comme de l'eau ou de l'huile
- [8] mesure de la force de frottement avec un capteur de force
- [9] affichage de la force et de la vitesse de rotation, et ajustage de la vitesse de rotation par l'unité d'entraînement

#### Caractéristiques techniques

##### Dispositif de charge

- charge max.: 80N
- transmission par le bras de levier: 2:1

##### Disque

- Ø=50mm
- acier inoxydable, trempé, taillé

##### Tige, Dxh: 4x25mm

- 3x aluminium
- 6x laiton
- 6x acier

##### Capteur de force pour force de frottement

- 0...50N

##### Poids

- 1x 5N [suspenste]
- 1x 20N
- 1x 10N
- 1x 5N

LxLxH: 350x430x230mm

Poids: env. 8kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 disque
- 1 jeu de tiges
- 1 jeu de poids
- 1 documentation didactique

## TM 260.04

### Vibrations à friction



#### Description

- vibrations à friction (effet slip-stick) lors du passage du frottement d'adhérence au frottement de glissement
- anneaux de friction en différents matériaux pour l'étude de différentes paires de friction

Le frottement est la résistance d'un corps au mouvement sur un support. Le frottement d'adhérence signifie qu'un corps soumis à une force reste au repos. Lorsqu'un seuil est dépassé, le corps commence à se mouvoir sur le support, ce qui produit un frottement de glissement. Les vibrations à friction auto-générées, ou effets slip-stick, apparaissent lorsque le frottement d'adhérence est nettement supérieur au frottement de glissement.

Le système tribologique du TM 260.04 permet de représenter de manière explicite le passage du frottement d'adhérence au frottement de glissement, ainsi que l'apparition des vibrations à friction. L'appareil d'essai comprend, comme paire de friction, un disque rotatif en acier inoxydable et un anneau de friction libre en appui.

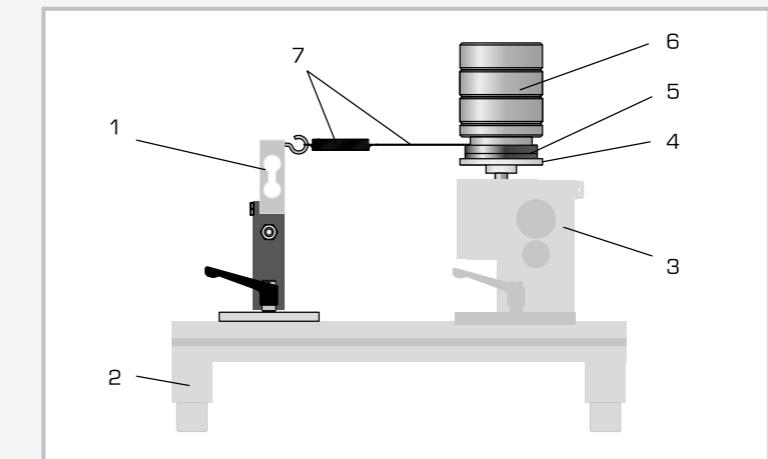
La force de serrage entre les deux partenaires de friction peut être ajustée graduellement par des poids jusqu'à 40N max. Un ressort de traction empêche l'anneau de friction de tourner avec le disque. La force de retenue requise est mesurée par un capteur de force.

Pour la réalisation de l'essai, l'unité d'entraînement TM 260 est requise. L'appareil d'essai se monte rapidement et facilement sur le bâti de l'unité grâce à des éléments à serrage rapide. L'entraînement du disque est assuré par un accouplement fixable entre l'unité d'entraînement et l'engrenage. L'appareil d'affichage et de commande de l'unité d'entraînement affiche la force de frottement et la vitesse de rotation, et permet l'ajustage en continu de la vitesse de rotation.

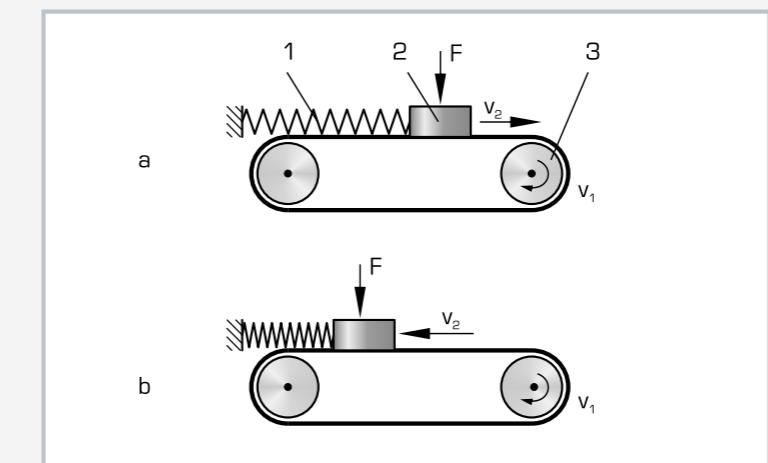
Lors des essais, on peut déterminer la force de frottement ainsi que le coefficient de frottement. Un capteur de force assure la mesure des forces de frottement. Pour permettre l'étude de différentes paires de friction, des anneaux de friction constitués de différents matériaux sont inclus dans la liste de livraison.

#### Contenu didactique/essais

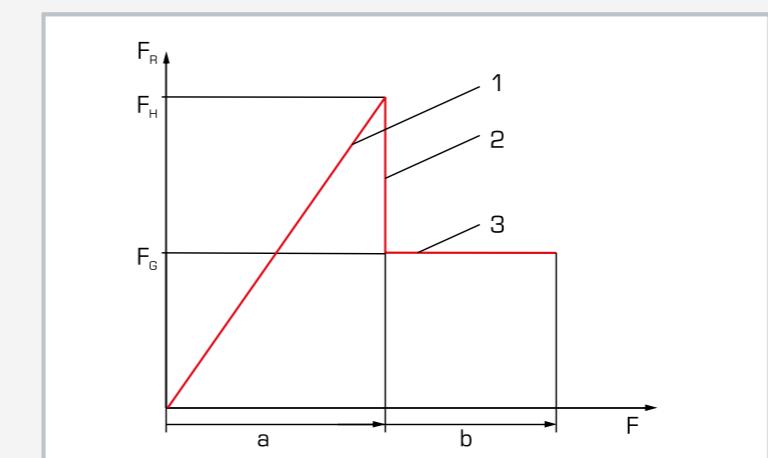
- en association avec l'unité d'entraînement
  - ▶ observation du passage du frottement d'adhérence au frottement de glissement
  - ▶ influence de la lubrification sur la vibration à friction (effets slip-stick)
  - ▶ influence de la force entre les partenaires de friction sur la vibration à friction (effet slip-stick)
  - ▶ influence de la vitesse relative sur la vibration à friction (effet slip-stick)



1 capteur de force, 2 bâti du TM 260, 3 unité d'entraînement du TM 260, 4 disque rotatif, 5 anneau de friction, 6 poids, 7 ressort et câble



Vibration à frictions (effet de slip-stick): 1 ressort, 2 corps, 3 entraînement; F force, v vitesse, a adhérence, b glissement



Force de frottement avec frottement d'adhérence et frottement de glissement: 1 frottement d'adhérence, 2 limite de glissement, 3 frottement de glissement,  $F_R$  force de frottement,  $F$  force de traction,  $F_H$  force d'adhérence,  $F_G$  force de glissement, a état de repos, b mouvement

#### Spécification

- [1] vibrations à friction avec le frottement d'adhérence ou de glissement
- [2] montage simple et rapide de l'appareil d'essai sur le bâti de l'unité d'entraînement
- [3] disque rotatif en acier inoxydable
- [4] entraînement du disque par un accouplement fixable entre l'unité d'entraînement et l'engrenage
- [5] anneau de friction en différents matériaux: acier, laiton ou plastique (PA)
- [6] charge de la paire de friction par des poids progressifs
- [7] mesure de la force de frottement par un capteur de force
- [8] affichage de la force et de la vitesse de rotation ainsi qu'ajustage de la vitesse de rotation par l'unité d'entraînement

#### Caractéristiques techniques

##### Disque

- Ø: 60mm
- acier inoxydable

##### Anneau de friction

- Ø: 80mm
- Ø: 50mm
- 1x acier inoxydable
- 1x laiton
- 1x plastique (PA)

##### Capteur de force pour la force de frottement

- 0...50N

##### Poids

- 1x 5N
- 3x 10N

##### Poids: env. 7kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 disque
- 1 anneau de friction
- 1 ressort
- 1 jeu de poids
- 1 documentation didactique

## TM 260.05

### Frottement de glissement sur goupille cylindrique - rouleau



#### Description

- **force de frottement entre deux paires de friction glissant l'une contre l'autre**
- **étude de l'usure**
- **possibilité d'utiliser différents lubrifiants**

En technique de palier et d'entraînement, des frottements dynamiques apparaissent aux endroits de glissement et de roulement, qui entraînent des pertes de performance des systèmes techniques. Parmi les frottements dynamiques, on distingue le frottement de glissement, de roulement pur, de roulement et de pivotement. Pour le frottement de glissement, on a uniquement un mouvement de translation des deux corps.

Le système tribologique du TM 260.05 permet d'obtenir une représentation claire du frottement de glissement, et d'étudier les forces de frottement. L'appareil d'essai comprend comme paire de friction une tige cylindrique fermement fixée, qui est appuyée radialement contre un rouleau rotatif. Il s'ensuit un contact ponctuel entre les partenaires de friction. La force de serrage entre les deux partenaires de friction peut être ajustée graduellement par un levier jusqu'à 80N max.

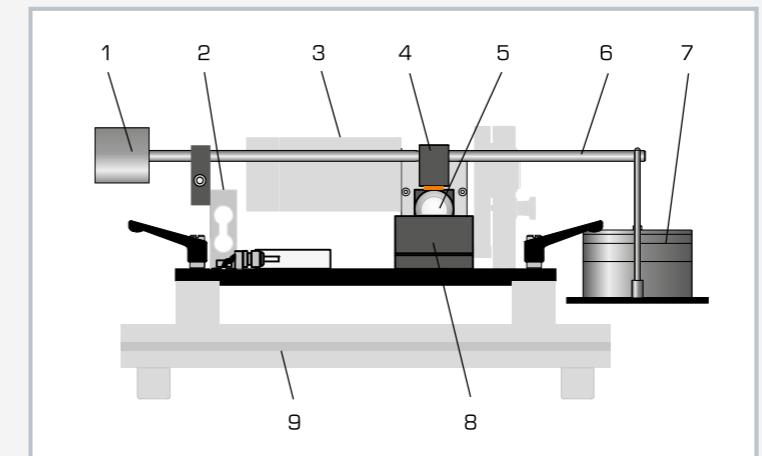
#### Contenu didactique/essais

- en association avec l'unité d'entraînement
  - ▶ forces de frottement avec différentes paires de friction et charges
  - ▶ forces de frottement avec différentes lubrifications
  - ▶ forces de frottement à différentes vitesses de rotation relatives des partenaires de friction
  - ▶ usure avec différents paramètres de friction

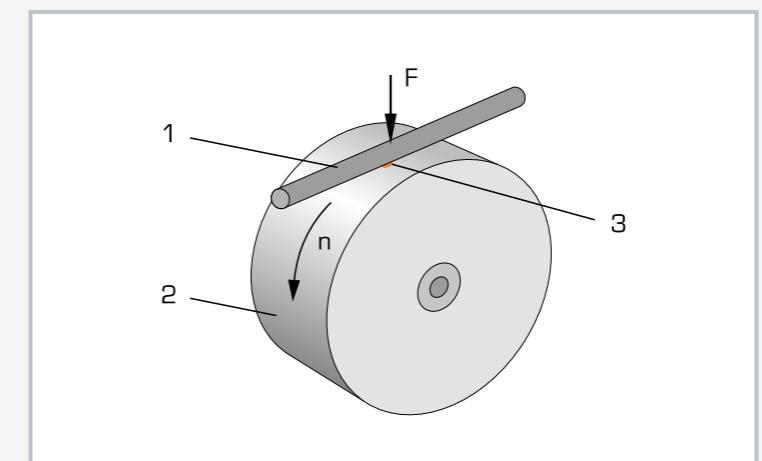
L'appareil d'essai est pourvu d'un réservoir d'alimentation en lubrifiant. Il est possible d'étudier différents états de lubrification tels que le frottement à sec, la lubrification à l'eau ou à l'huile. Pour permettre l'étude de différentes paires de friction, des tiges cylindriques constituées de différents matériaux sont incluses dans la liste de livraison.

Pour la réalisation de l'essai, l'unité d'entraînement TM 260 est requise. L'appareil d'essai se monte rapidement et facilement sur le bâti de l'unité grâce à des éléments à serrage rapide. L'entraînement du rouleau est assuré par un accouplement fixable entre l'unité d'entraînement et l'engrenage. L'appareil d'affichage et de commande de l'unité d'entraînement affiche la force de frottement et la vitesse de rotation, et permet l'ajustage en continu de la vitesse de rotation.

Lors des essais, on peut déterminer la force de frottement ainsi que le coefficient de frottement. Un capteur de force assure la mesure des forces de frottement.



1 contrepoids, 2 capteur de force, 3 unité d'entraînement du TM 260, 4 supports mobiles avec tige cylindrique, 5 rouleau, 6 levier pour dispositif de charge, 7 poids, 8 réservoir de lubrifiant, 9 bâti du module de base TM 260



Système tribologique tige cylindrique et rouleau (contact ponctuel): 1 tige cylindrique fixe comme poids antagoniste, 2 rouleau rotatif comme corps de base, 3 lubrifiant comme matière intermédiaire; F force, n vitesse de rotation

#### Spécification

- [1] forces de frottement pour une tige cylindrique et un rouleau glissant l'un contre l'autre [contact ponctuel]
- [2] montage simple et rapide de l'appareil d'essai sur le bâti de l'unité d'entraînement
- [3] rouleau rotatif en acier inoxydable trempé et poli
- [4] entraînement du rouleau par un accouplement fixable entre l'unité d'entraînement et l'engrenage
- [5] tige cylindrique fixe en différents matériaux: aluminium, laiton ou acier
- [6] charge de la tige cylindrique par un bras de levier et des poids progressifs
- [7] utilisation de différents lubrifiants comme de l'huile ou de l'eau
- [8] mesure de la force de frottement avec un capteur de force
- [9] affichage de la force et de la vitesse de rotation et ajustage de la vitesse de rotation par l'unité d'entraînement

#### Caractéristiques techniques

##### Dispositif de charge

- charge max.: 80N
- transmission par le bras de levier: 2:1

##### Rouleau

- Ø=40mm
- acier inoxydable, trempé, poli

##### Tige cylindrique, Dxh: 10x20mm

- 3x aluminium
- 6x laiton
- 6x acier

##### Capteur de force pour force de frottement

- 0...50N

##### Poids

- 1x 5N [suspendu]
- 1x 20N
- 1x 10N
- 1x 5N

LxLxH: 570x100x120mm

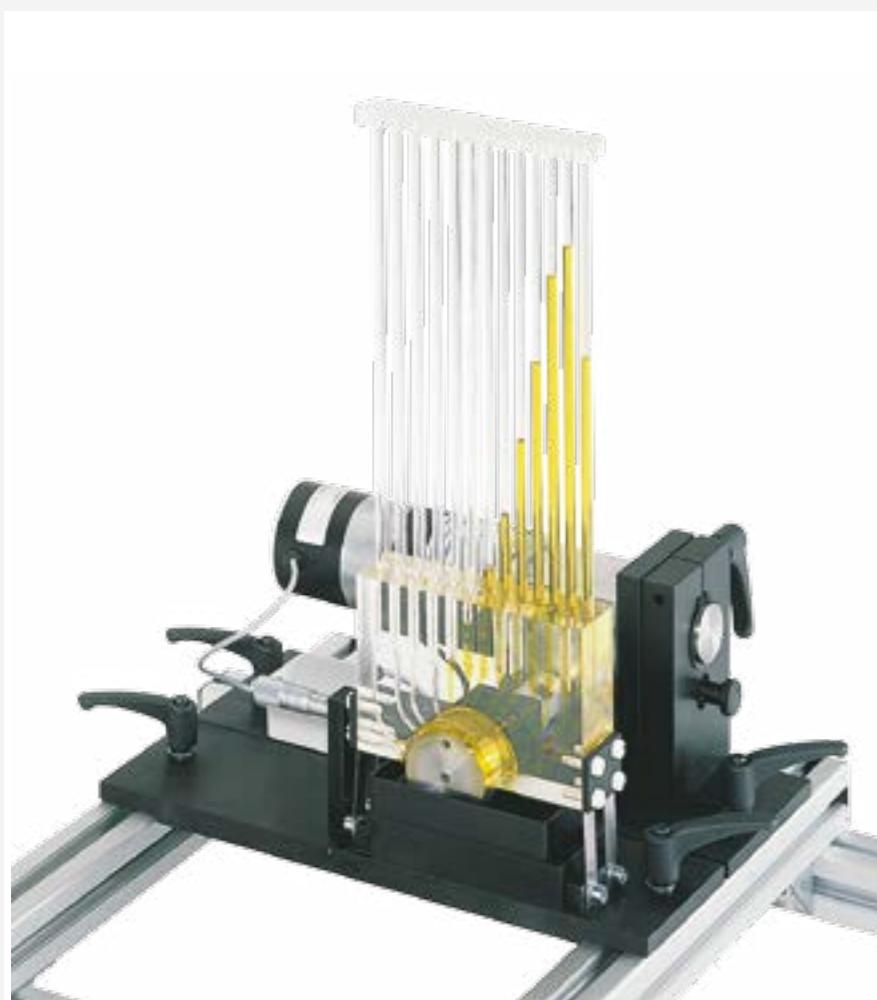
Poids: env. 8kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 rouleau
- 1 jeu de tiges cylindriques
- 1 jeu de poids
- 1 documentation didactique

## TM 260.06

### Répartition de pression dans des paliers lisses



#### Description

- **représentation de la répartition de pression radiale dans un palier lisse avec différentes largeurs de fente du palier**
- **boîtier du palier en plastique transparent**

Le domaine de la tribologie porte sur toutes les formes de frottement. Dans le palier lisse ont lieu des frottements solides, liquides et mixtes. En fonctionnement, le frottement est totalement liquide, l'arbre et la coquille du palier sont séparés par un film lubrifiant porteur. La fonction portante du film lubrifiant peut être décrite au moyen de la répartition de pression dans la fente du palier.

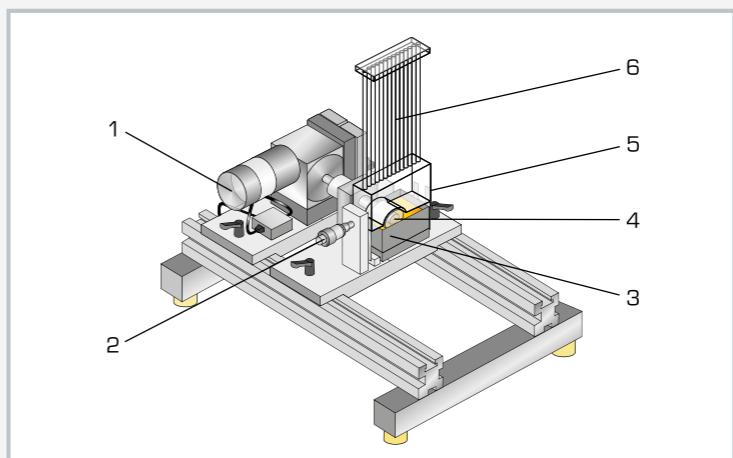
L'appareil d'essai TM 260.06 permet de visualiser l'évolution de la pression dans le palier lisse avec une lubrification hydrodynamique. L'appareil d'essai comprend à cet effet un coussinet de palier ouvert qui entoure un arbre seulement

de moitié et simule le palier lisse. Le coussinet de palier est fixé de manière mobile à deux tôles élastiques. À la différence des paliers lisses hydrodynamiques réels, la largeur de fente peut être ajustée par le biais du logement de palier mobile dans la direction radiale à l'aide des tôles élastiques et d'une vis micrométrique.

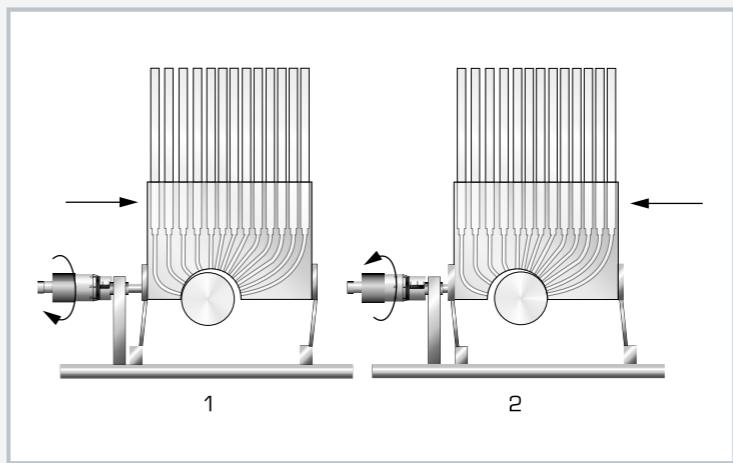
Pour la réalisation de l'essai, l'unité d'entraînement TM 260 est requise. L'appareil d'essai se monte rapidement et facilement sur le bâti de l'unité grâce à des éléments à serrage rapide. L'entraînement de l'arbre est assuré par un accouplement fixable entre l'unité d'entraînement et l'engrenage. L'appareil d'affichage et de commande de l'unité d'entraînement affiche la force de frottement et la vitesse de rotation et permet l'ajustage en continu de la vitesse de rotation.

#### Contenu didactique/essais

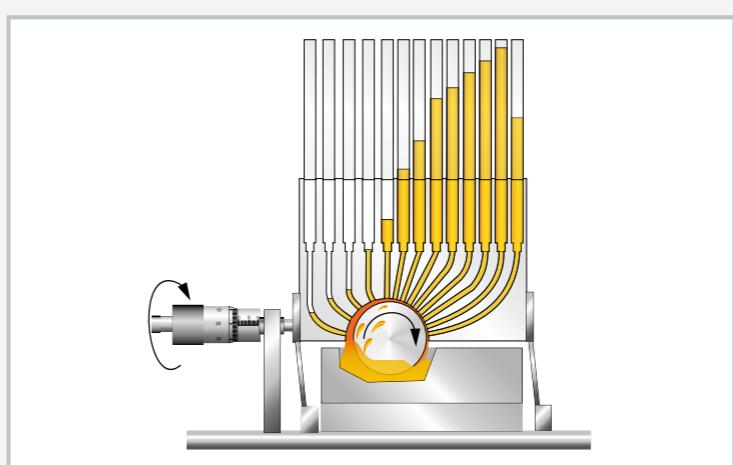
- en association avec l'unité d'entraînement
  - ▶ répartition de pression dans le palier lisse en fonction de la vitesse de rotation
  - ▶ répartition de la pression dans le palier lisse en fonction de la charge ou de la largeur de la fente du palier
  - ▶ limite de stabilité en fonction de la largeur de la fente



1 module de base TM 260, 2 ajustage de la largeur de la fente du palier, 3 carter d'huile, 4 arbre, 5 boîtier du palier avec la coquille du palier, 6 manomètre à tubes



Fonctionnement de l'unité de réglage de la coque du palier (largeur de la fente du palier):  
1 coque du palier en position droite, 2 coque du palier en position gauche



Répartition de pression sur une coque de palier; la pression augmente quand la fente du palier diminue

#### Spécification

- [1] démonstration et visualisation de la répartition de pression dans un palier lisse avec lubrification hydrodynamique
- [2] montage simple et rapide de l'appareil d'essai sur le bâti de l'unité d'entraînement
- [3] entraînement d'arbre par un accouplement fixable entre l'unité d'entraînement et l'engrenage
- [4] le boîtier du palier est complètement transparent
- [5] boîtier du palier mobile, fente du boîtier ajustable
- [6] 13 points de mesure de pression radiale sur la coquille du palier
- [7] indication de la répartition de pression radiale avec un manomètre à 13 tubes
- [8] affichage de la vitesse de rotation et ajustage de la vitesse de rotation par l'unité d'entraînement

#### Caractéristiques techniques

##### Arbre

- diamètre: 50mm
- longueur: 50mm
- matériau: acier inoxydable

##### Coquille du palier

- diamètre: 52,5mm
- fente du palier ajustable de: 0...2,5mm

##### Dispositif de réglage de la coque du palier

- graduation: 0,01mm

##### Classe de viscosité ISO de l'huile: VG 32

##### Plages de mesure

- pression: 360mm de colonne d'huile
- vitesse de rotation: 0...200min<sup>-1</sup>

LxLxH: 350x150x450mm  
Poids: env. 4kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 huile (0,5L)
- 1 documentation didactique

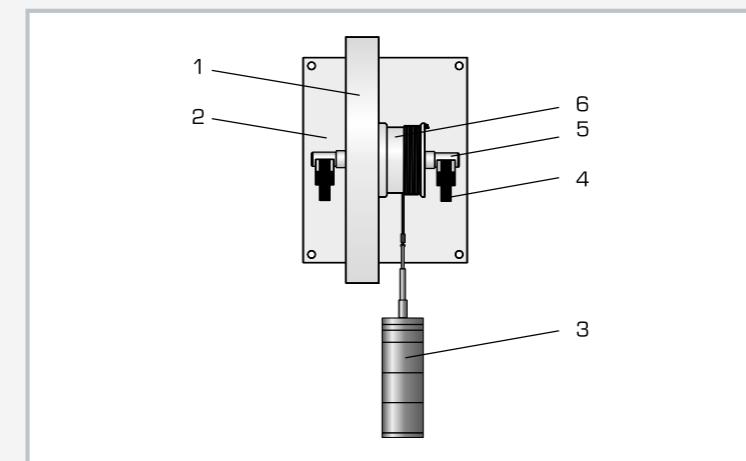
## TM 232

### Frottement dans les paliers

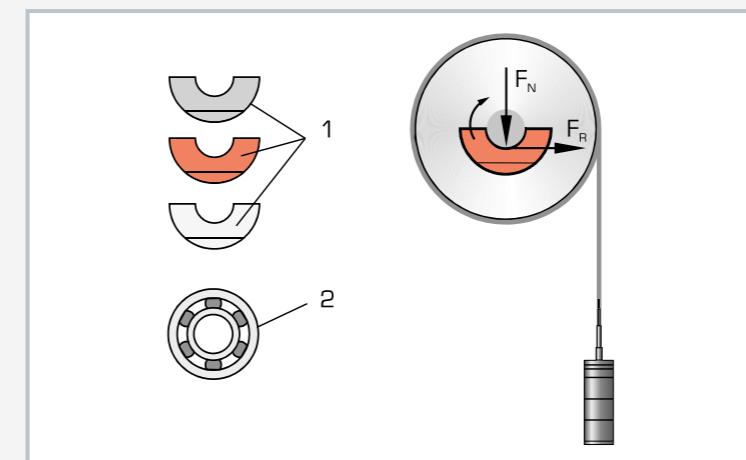


#### Contenu didactique/essais

- détermination du couple de frottement sur des paliers lisses, avec différentes paires de friction
- détermination du couple de frottement sur un palier à roulement
- comparaison entre paliers lisses / à roulement
- essais de base sur la dynamique de rotation



1 volant d'inertie, 2 plaque, 3 poids, 4 logement de palier, 5 arbre, 6 tambour de câbles



1 coussinets de palier interchangeables en fonte grise, bronze et plastique (PTFE), 2 palier à roulement;  $F_N$  force normale,  $F_R$  force de frottement

#### Description

- frottement sur les paliers lisses et les paliers à roulement
- coussinets de palier interchangeables en différents matériaux

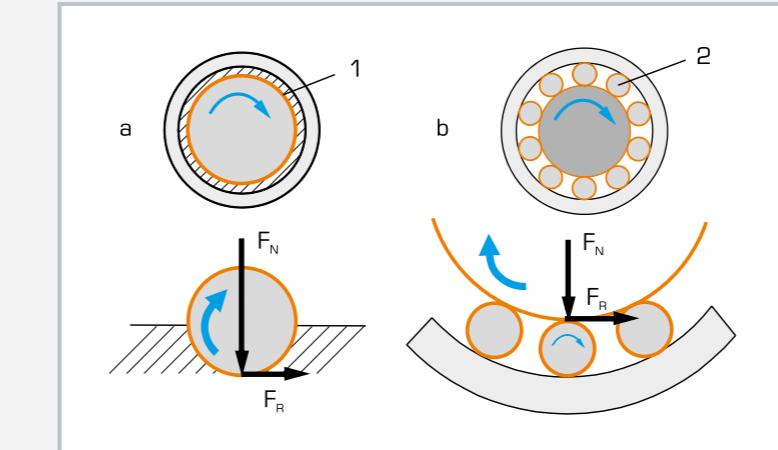
On fait la distinction entre paliers lisses et paliers à roulement, selon la nature de leurs mouvements. Sur le palier lisse, on a un mouvement de glissement entre le palier et le composant monté dessus. Sur le palier à roulement, on a aussi bien des mouvements de glissement que des mouvements de roulement réciproques entre le corps de roulement et le composant monté dessus. Sur les paliers à roulement, les mouvements de glissement, par exemple entre le corps de roulement et la cage, sont des effets secondaires indésirables. Sur le palier à roulement, la force de palier est transmise par l'intermédiaire du rouleau.

Sur les deux types de paliers, le palier lisse et le palier à roulement, des forces de frottement apparaissent lors du fonctionnement, qui opposent une résistance au mouvement.

L'appareil d'essai TM 232 permet d'étudier le frottement sur des paliers lisses avec différents coussinets de palier, ainsi que sur des paliers à roulement. Un arbre monté sur palier avec un tambour de câbles et un volant d'inertie se trouve sur une plaque de base. Les forces d'appui sont générées par le poids propre du lourd volant d'inertie. Un couple est appliqué à l'aide de poids; au début du mouvement rotatif, il correspond au couple de frottement. Des coussinets de palier interchangeables servent de paliers lisses.

Les coefficients de frottement sont déterminés par des essais. Pour permettre l'étude de différentes paires de friction, des coussinets de palier constitués de différents matériaux sont inclus dans la liste de livraison. Lorsque l'on utilise des paliers à roulement, les frottements de palier sont très faibles. Dans ce cas, le volant moteur peut être utilisé pour la réalisation d'essais de base de la dynamique de rotation.

L'appareil d'essai est conçu pour être fixé au mur. Les pièces de l'essai sont disposées de manière claire, et bien protégées dans un système de rangement.



a frottement de glissement sur le palier lisse, 1 surface de glissement b frottement de glissement et frottement de roulement pur sur le palier à roulement, 2 corps de roulement;  $F_N$  force normale,  $F_R$  force de frottement

#### Spécification

- [1] comparaison entre frottement lisse et frottement de roulement
- [2] essais possibles sur la dynamique de rotation
- [3] coussinets de palier en différents matériaux comme paliers lisses
- [4] volant d'inertie en acier, galvanisé
- [5] entraînement par tambour de câbles et poids
- [6] système de rangement pour les pièces
- [7] support pour montage mural

#### Caractéristiques techniques

Coussinets de palier comme paliers lisses, demi-coussinets

- GG-25
- bronze
- PTFE (téflon)

Roulements rainurés à billes  
■ type 6203

Tourillons de palier de l'arbre  
■ Ø=17mm

Volant d'inertie  
■ Ø=300mm  
■ poids: 22,2kg

Poids  
■ 1x 1N (suspendue)  
■ 5x 1N  
■ 1x 2N  
■ 3x 5N

Plaque de base  
■ LxL: 250x200mm

LxLxh: 200x330x300mm  
Poids: env. 30kg  
LxLxh: 290x140x130mm (système de rangement)

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 6 coussinets de palier
- 2 paliers à roulement
- 1 jeu de poids
- 1 système de rangement
- 1 documentation didactique

## TM 282

### Frottement dans des paliers lisses



#### Description

- principes de base de la lubrification hydrodynamique
- états de frottement avec différents états de fonctionnement
- régulation électronique de la vitesse de rotation, et affichage numérique de la vitesse de rotation et de la température du lubrifiant

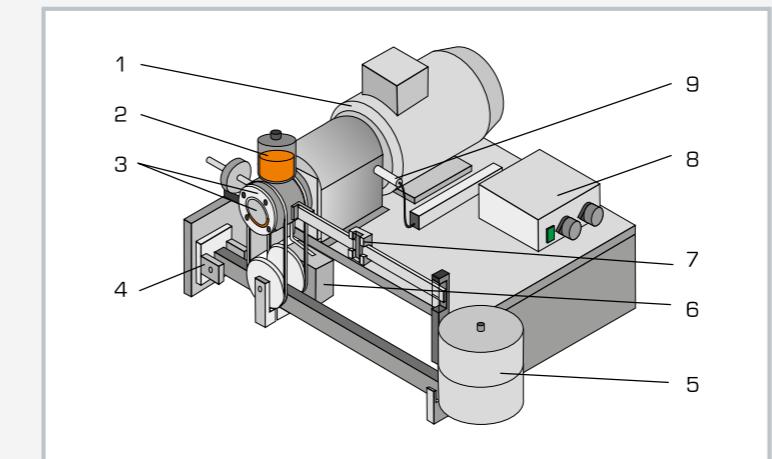
Les facteurs d'influence sur les états de frottement dans le palier lisse hydrodynamique sont très variés. Les principaux sont la vitesse de rotation, la charge et la viscosité du lubrifiant utilisé.

Le TM 282 permet d'étudier différents facteurs d'influence sur le frottement.

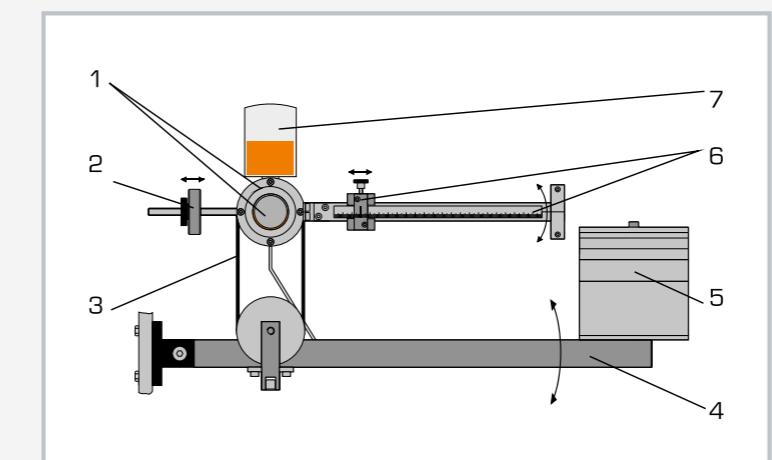
Le palier lisse est constitué d'un tourillon d'arbre à entraînement électrique qui tourne dans un logement de palier mobile. On peut y observer le mouvement de l'huile dans le palier.

#### Contenu didactique/essais

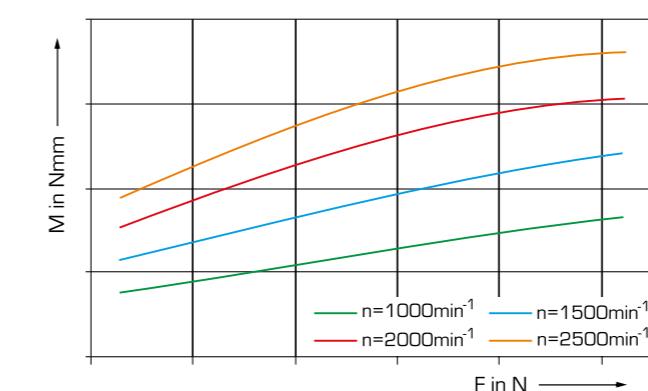
- assimilation des principes technologiques de la lubrification hydrodynamique à travers des essais
- couple de frottement dans un palier lisse hydrodynamique en fonction de
  - ▶ la vitesse de rotation
  - ▶ la charge du palier
  - ▶ le type et la température du lubrifiant



1 moteur, 2 graisseur compte-gouttes, 3 logement de palier lisse avec tourillon d'arbre, 4 palier fixe pour levier de charge, 5 poids, 6 réservoir pour l'huile de fuite, 7 poids coulissant pour la mesure du couple de frottement, 8 coffret de commande, 9 capteur de vitesse de rotation



1 logement de palier lisse avec tourillon d'arbre, 2 tare, 3 courroie pour la transmission de la force en direction du logement de palier, 4 levier de charge, 5 poids, 6 levier de mesure avec échelle et poids coulissant mobile, 7 graisseur compte-gouttes



Influence de la force de charge F et de la vitesse de rotation n sur le couple de frottement M

#### Spécification

- [1] étude et visualisation du palier hydrodynamique
- [2] palier lisse radial avec tourillon d'arbre en acier inoxydable et coussinets de palier mobiles en bronze
- [3] lubrification compte-gouttes pour l'alimentation en continu en lubrifiant (graisseur compte-gouttes)
- [4] charge du palier lisse via un levier mécanique
- [5] vitesse de rotation variable au moyen d'un convertisseur de fréquence
- [6] mesure du couple de frottement à l'aide d'un levier avec poids coulissant
- [7] mesure inductive de la vitesse de rotation
- [8] thermocouple dans le logement du palier pour la mesure de la température de l'huile
- [9] appareil d'affichage et de commande pour la température de l'huile et la vitesse de rotation

#### Caractéristiques techniques

##### Palier lisse

- diamètre de l'arbre: Ø=30mm
- largeur du palier: 45mm
- paire de friction: acier/bronze

Moteur: 0,37kW

Classe de viscosité de l'huile: ISO VG 32

##### Poids

- 1x 50N, 1x 20N, 2x 10N, 2x 5N, 2x 5N
- transmission par le bras de levier: 5:1

##### Plages de mesure

- température: -50...200°C
- vitesse de rotation: 100...3000min⁻¹
- charge du palier: max. 525N
- couple de frottement: max. 295Nmm

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

Llxh: 610x440x360mm (appareil d'essai)

Llxh: 360x340x160mm (appareil d'affichage et de commande)

Poids: env. 40kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 appareil d'affichage et de commande
- 1 jeu de poids
- 1 huile (0,5L)
- 1 documentation didactique

# TM 280

## Répartition de pression dans des paliers lisses



### Description

- observation optimale du fonctionnement grâce au logement de palier transparent
- représentation claire de la répartition de pression dans le palier lisse
- étude et visualisation de l'instabilité sur des paliers lisses

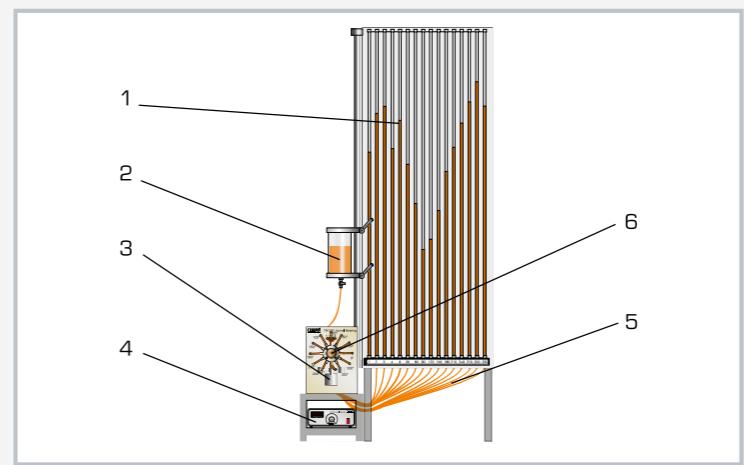
Sur les paliers lisses hydrodynamiques, le palier et le coussinet de palier sont séparés l'un de l'autre par un film lubrifiant pendant le fonctionnement. On peut décrire la fonction porteuse du film lubrifiant dans le palier lisse, en se servant de la répartition de pression dans la fente de palier.

Le TM 280 permet de visualiser l'évolution de la pression dans le palier lisse, avec une lubrification hydrodynamique. À cet effet, le coussinet de palier comporte douze points de mesure sur le pourtour, et quatre dans le sens de la longueur. Les pressions respectives sont indiquées par la hauteur de la colonne de liquide d'un manomètre à 16 tubes.

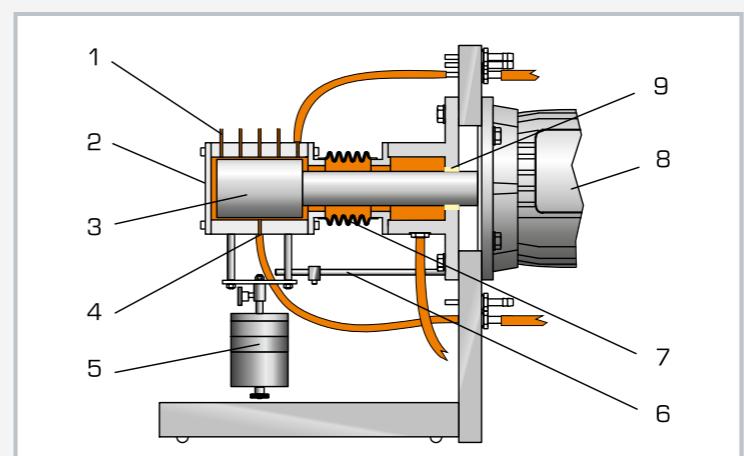
Le palier lisse est constitué d'un tourillon d'arbre à entraînement électrique, qui tourne dans un logement de palier mobile. On utilise de l'huile comme lubrifiant.

### Contenu didactique/essais

- étude et visualisation de l'instabilité sur des paliers lisses
- déplacement du tourillon d'arbre en fonction de la vitesse de rotation
- répartition de pression dans le palier à charge constante et à différentes vitesses de rotation
- vitesse de rotation critique en fonction de la charge
- vitesse de rotation critique en fonction de la température de l'huile



1 manomètre à tubes, 2 réservoir d'huile, 3 poids, 4 appareil d'affichage et de commande pour la régulation de la vitesse de rotation, 5 tuyaux de mesure, 6 palier lisse avec entraînement



1 points de mesure, 2 logement de palier transparent, 3 tourillon, 4 point de mesure, 5 poids, 6 sécurité anti-torsion, 7 soufflet, 8 moteur d'entraînement, 9 joint torique radial



Vue détaillée de l'unité de palier lisse TM 280

### Spécification

- [1] visualisation et étude de la répartition de pression dans les paliers lisses
- [2] le logement de palier est complètement transparent
- [3] vitesse de rotation ajustable en continu, régulation électronique
- [4] charge du palier au moyen de poids
- [5] mesure de la température dans le logement de palier
- [6] 12 points de mesure sur le pourtour, 4 points de mesure dans le sens de la longueur
- [7] affichage de la répartition de pression avec un manomètre à 16 tubes
- [8] affichage numérique de la vitesse de rotation sur l'appareil d'affichage et de commande

### Caractéristiques techniques

#### Palier

- diamètre nominal du palier: 51mm
- largeur de la fente de palier: 4mm
- largeur du palier: 75mm
- charge sur le palier: 6,7...16,7N

#### Moteur

- puissance: 0,37kW
- vitesse de rotation max.: 3000min<sup>-1</sup>

Classe de viscosité ISO de l'huile: VG 32

Réservoir d'huile: 2,5L

#### Poids

- 1x 1N (suspendue)
- 2x 2N
- 1x 5N

#### Plages de mesure

- pression: 1770mm de colonne d'huile, 16x
- température: -10...50°C
- vitesse de rotation: 0...3000min<sup>-1</sup>

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

LxLxH: 1100x750x2650mm

Poids: env. 110kg

### Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 appareil d'affichage et de commande
- 1 jeu d'outils
- 1 jeu de poids
- 1 huile hydraulique (5L)
- 1 appareil de mesure manuelle de la température
- 1 documentation didactique

# TM 290

## Palier lisse avec lubrification hydrodynamique



### Description

- couple de frottement avec différents jeux de palier et charges
- répartition de pression dans le palier lisse
- lieu géométrique de l'arbre à différentes charges et vitesses de rotation

Sur les paliers hydrodynamiques, le palier et le coussinet de palier sont séparés l'un de l'autre par un film lubrifiant porteur pendant le fonctionnement. Sur un palier lisse hydrodynamique, la pression dans le film lubrifiant est générée par le mouvement relatif entre le coussinet de palier et l'arbre. Pour évaluer les processus tribologiques dans le coussinet d'un palier lisse, la position de l'arbre en fonction de la vitesse de rotation et de la charge est importante.

Le banc d'essai TM 290 permet d'étudier le comportement d'un palier lisse radial avec lubrification hydrodynamique. Cinq arbres de différents diamètres permettent d'évaluer le comportement en service en fonction du jeu de palier.

La charge radiale du palier lisse est appliquée par une roue à main et mesurée électriquement. De même, le couple de frottement est mesuré à l'aide d'un capteur de force. L' entraînement de l' arbre est assuré par un moteur triphasé. La vitesse de rotation est ajustable en continu par un convertisseur de fréquence, et est affichée numériquement. La température de l' huile est ajustée à l'aide d'un régulateur.

Des capteurs de déplacement inductifs mesurent le mouvement relatif de l' arbre dans le palier. Cette mesure permet d'enregistrer le lieu géométrique de l' arbre, en fonction de la charge et de la vitesse de rotation. La position est mesurée respectivement à quatre points de l' arbre dans les directions X et Y, puis la moyenne est affichée.

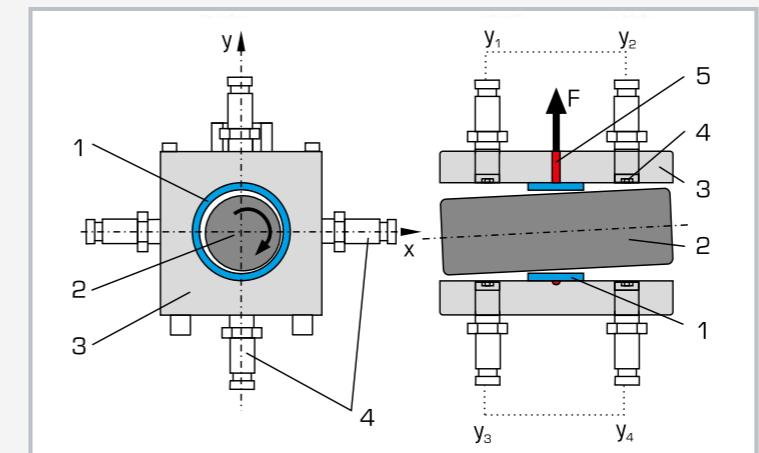
La température de l' huile, la pression de l' huile et le pic de pression de l' huile dans le palier sont enregistrés et affichés par d'autres capteurs. Les valeurs mesurées peuvent être lues sur des affichages numériques. Les valeurs sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

### Contenu didactique/essais

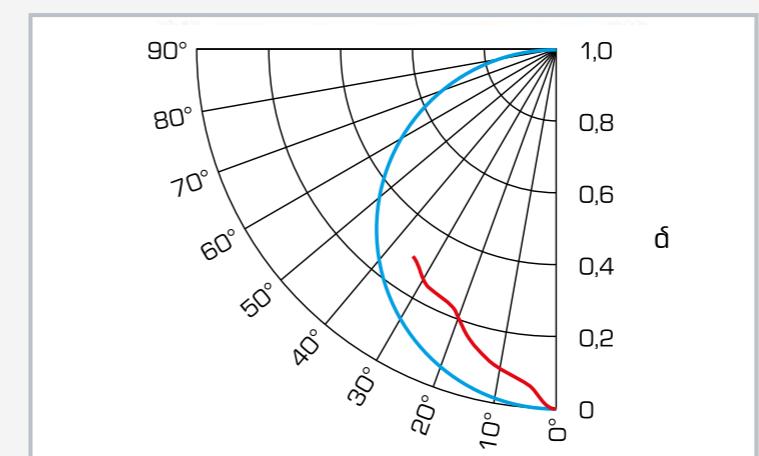
- détermination des coefficients de frottement avec des charges et des vitesses de rotation différentes, comparaison des courbes de Stribeck
- influence de la vitesse de rotation, du jeu de palier et de la charge du palier sur le déplacement de l' arbre
- influence de la vitesse de rotation, du jeu de palier, de la charge du palier et du lubrifiant sur le couple de frottement
- lieu géométrique de l' arbre



1 roue à main pour charge, 2 capteur de force pour couple de frottement, 3 capteurs de déplacement inductifs, 4 arbre, 5 logement de palier, 6 éléments d'affichage et de commande



Vues en coupe du palier lisse: 1 coussinet de palier, 2 arbre, 3 logement de palier, 4 capteurs de déplacement [4 dans la direction X, 4 dans la direction Y], 5 alimentation en huile; F charge



Mouvement du point central de l' arbre durant le service ou comportement au démarrage, en bleu: courbe théorique en demi-cercle, en rouge: résultats de mesure du TM 290; δ épaisseur relative du film lubrifiant

### Spécification

- [1] états de frottement dans un palier lisse lubrifié hydro-dynamique
- [2] 5 arbres de différents diamètres pour essais avec différents jeux de palier
- [3] entraînement de l' arbre par un moteur triphasé avec convertisseur de fréquence pour l' ajustage en continu de la vitesse de rotation
- [4] régulateur pour ajuster la température d' huile
- [5] charge radiale du palier par ressort de compression et broche filetée avec roue à main, et mesure par un capteur de force
- [6] détermination du couple de frottement par un bras de levier avec capteur de force
- [7] 8 capteurs de déplacement inductifs pour la mesure du déplacement de l' arbre
- [8] affichages numériques de la charge radiale, du couple de frottement, de la position de l' arbre (directions X et Y), pression de l' huile, pic de pression de l' huile, température de l' huile et vitesse de rotation
- [9] logiciel GUNT pour l' acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

### Caractéristiques techniques

- Palier lisse
- diamètre nominal de l' arbre: 50mm
  - charge radiale: 0...1000N
  - jeu de palier: 0,12mm; 0,14mm; 0,16mm; 0,18mm; 0,28mm
- Moteur d' entraînement avec convertisseur de fréquence
- puissance: 0,55kW
  - vitesse de rotation: 0...1600min<sup>-1</sup>
- Groupe hydraulique pour ajuster la pression d' huile
- débit de refoulement: 1,4L/min, pression: 2bar
  - capacité du réservoir: 10L

- Plages de mesure
- couple de frottement: 0...1Nm
  - charge radiale: 0...1000N
  - déplacement dans la direction X/Y: ±1,000mm
  - pression d' huile (alimentation): 0...10bar
  - pression d' huile (palier lisse): 0...60bar
  - température d' huile: 0...100°C
  - vitesse de rotation: 0...1600min<sup>-1</sup>

230V, 50Hz, 1 phase  
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase  
UL/CSA en option  
LxIxh: 1200x800x1450mm  
Poids: env. 225kg

### Nécessaire pr le fonctionnement

PC avec Windows recommandé

### Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 jeu d'outils
- 1 huile (5L)
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

## CE 105

### Corrosion de métaux



#### Description

- **base de la corrosion et de la protection des matériaux métalliques contre la corrosion**
- **corrosion provoquée par l'oxygène**
- **corrosion électrochimique (éléments locaux)**
- **protection contre la corrosion avec tension extérieure et anodes sacrificées**

La corrosion des composants métalliques entraîne d'importants dommages économiques et techniques. Par conséquent, le thème de la corrosion et de la protection contre la corrosion joue un rôle important dans la formation technique.

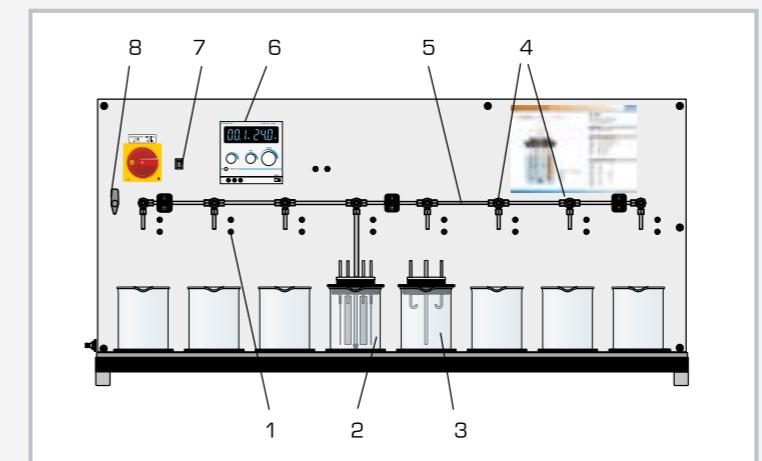
CE 105 permet d'étudier en parallèle une multitude de facteurs concernant la corrosion. Huit réservoirs en verre sont mis à disposition. Ils permettent la comparaison de différents matériaux dans des conditions différentes. Le réservoir est rempli avec la solution électrolytique souhaitée. Six éprouvettes au maximum peuvent être fixées aux couvercles du réservoir et plongent dans la solution.

#### Contenu didactique/essais

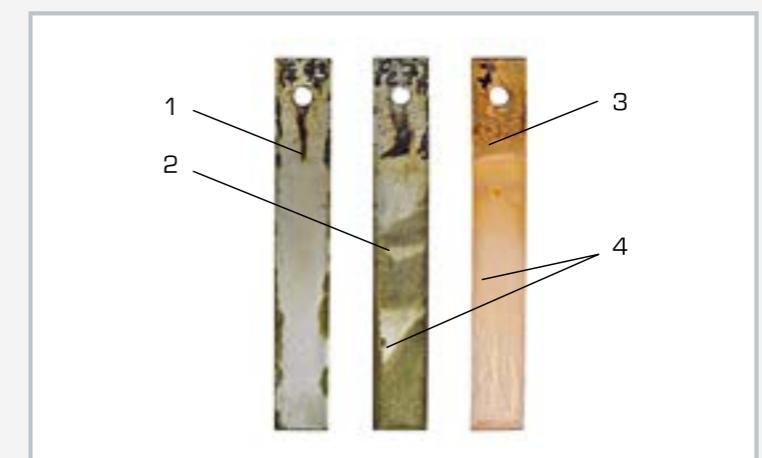
- comportement à la corrosion de différents matériaux métalliques (rouille / passivation)
- formation d'éléments locaux
- influence du pH de la solution électrolytique
- influence de la concentration saline dans la solution électrolytique
- corrosion provoquée par l'oxygène
- protection contre la corrosion
  - ▶ tension extérieure
  - ▶ anodes sacrificées
  - ▶ revêtements de protection

Il est possible de relier les éprouvettes à un conducteur électrique afin d'étudier des éléments locaux et le principe des anodes sacrificées. Un appareil d'alimentation ajustable permet d'appliquer une tension extérieure. Cette tension s'oppose au flux de courant entre le métal noble et le métal commun des éléments locaux. Le taux de corrosion du métal commun est ainsi abaissé.

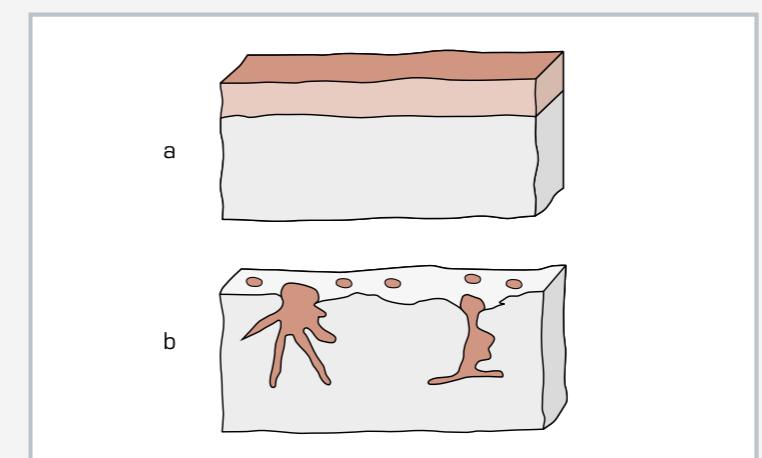
Si demandé, une pompe à diaphragme amène l'air ambiant dans la solution électrolytique. Des soupapes d'étranglement permettent de régler le débit de gaz séparément pour chaque réservoir. Il est également possible d'introduire d'autres gaz prévus en laboratoire dans la solution électrolytique. Un appareil de mesure de pH est compris dans la liste de livraison pour permettre l'étude et la comparaison de l'influence de la solution électrolytique sur la corrosion.



1 prise de raccordement électrique, 2 réservoir d'électrolyte avec éprouvettes et porte-éprouvettes [pinces], 3 réservoir d'électrolyte avec porte-éprouvettes [crochets], 4 soupape d'étranglement, 5 arrivée de gaz, 6 bloc secteur, 7 interrupteur de la pompe à diaphragme, 8 soupape d'inversion air / arrivée de gaz externe



Résultat de l'essai: une tension extérieure a été branchée sur une éprouvette en acier (2) et une éprouvette en cuivre (3) reliés électriquement (4). Une éprouvette en acier (1) sans liaison électrique sert de référence.



2 types de corrosion: a corrosion de surface, b corrosion par piqûre

#### Spécification

- [1] étude de la corrosion et des mesures de protection contre la corrosion
- [2] 8 réservoirs d'électrolyte avec couvercle et 6 porte-éprouvettes
- [3] un bloc secteur ajustable pour l'application de la tension extérieure
- [4] arrivée d'air via la pompe à diaphragme
- [5] soupape d'inversion pour air ou arrivée de gaz externe
- [6] ajustage des débits de gaz pour chaque réservoir à l'aide de soupapes d'étranglement
- [7] acquisition du pH des solutions électrolytiques avec appareil portatif
- [8] plage de pression pour l'arrivée de gaz extérieur: 0,2...1,0bar

#### Caractéristiques techniques

Réservoir d'électrolyte

- capacité: 1000mL
- matériau: verre

Bloc secteur

- tension: 0...30VDC
- intensité du courant: 0...5A

Pompe à diaphragme: env. 260L/h

Appareil de mesure de pH

- plage de mesure: 0...14pH
- résolution: 0,01pH

Éprouvettes

- 6x acier inoxydable, 6x acier, 6x laiton, 6x aluminium
- 3x verre
- dimensions: 100x15x1mm

230V, 50Hz, 1 phase  
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase  
UL/CSA en option  
Lxlxh: 1280x460x630mm (appareil d'essai)  
Poids: env. 55kg  
Lxlxh: 730x480x240mm (système de rangement)  
Poids: env. 15kg

#### Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 appareil de mesure de pH
- 1 jeu d'éprouvettes
- 1 jeu de câbles de laboratoire
- 1 raccord pour l'arrivée de gaz extérieur
- 1 système de rangement
- 1 documentation didactique

## Le programme complet gunt – équipements pour l'enseignement technique



### 1 Mécanique appliquée et conception mécanique

- Statique
- Résistance des matériaux
- Dynamique
- Dynamique des machines
- Conception mécanique
- Essai des matériaux



### 2 Mécatronique

- Dessin industriel
- Modèles en coupe
- Métrologie
- Technique d'assemblage et d'ajustage
- Techniques de production
- Kits d'assemblage
- Maintenance
- Diagnostic de machines
- Automatisation et conduit de procédés



### 3 Génie thermique et énergie, génie frigorifique et technique de bâtiment (CVCS)

- Principes de base de la thermodynamique
- Applications thermodynamiques
- Energies renouvelables
- Machines motrices et machines réceptrices
- Moteurs à combustion interne
- Génie frigorifique et génie climatique
- Systèmes domestiques de chauffage et de ventilation
- Technique sanitaire



Planification et conseils · Service technique  
Mise en service et formation



### 4 Mécanique des fluides

- Écoulement stationnaire
- Écoulement non stationnaire
- Écoulements autour de corps
- Machines à fluide
- Éléments de construction de tuyauteries et d'installations industrielles
- Génie hydraulique



### 5 Génie de procédés

- Génie des procédés mécaniques
- Génie des procédés thermiques
- Génie des procédés chimiques
- Génie des procédés biologiques
- Traitement de l'eau



### 2E Energy & environment

- Energy**
- Énergie solaire
  - Énergie hydraulique et énergie marine
  - Énergie éolienne
  - Biomasse
  - Géothermie
  - Systèmes énergétiques
  - Éfficacité énergétique en génie du bâtiment

**Environment**

- Eau
- Air
- Sol
- Déchets

## Index

Mot-clé	Code (page)
<b>A</b>	
absorbeur de vibrations	TM 182 (210)
accouplement à denture	PT 500.13 (238)
Ackermann, théorie d'	KI 160 (151)
alignement, erreur d'	PT 500 (224) PT 500.10 (232) PT 500.13 (238)
aligner	MT 172 (308) PT 500 (224)
analyse d'ordre	PT 500.16 (244) PT 501 (220)
analyse d'enveloppe	PT 500.12 (236) PT 500.16 (244) PT 501 (220)
analyse des contraintes	FL 120 (130) FL 130 (132) FL 140 (134)
analyse FFT	PT 500.04 (228)
analyses des dommages	PT 500 (224)
angle d'enroulement	GL 410 (288) TM 220 (74/286)
angle de braquage	KI 160 (151)
angle de calage des manivelles	TM 180 (206)
angle de flexion (joint de Cardan)	KI 150 (150)
angle de torsion	SE 110.29 (88) WP 100 (90) WP 500 (344) WP 510 (346)
arbre avec fissure	PT 500 (224) PT 500.11 (234)
arbre de joint de Cardan	KI 150 (150)
arbre élastique	PT 500.10 (232)
arbre fissuré	PT 500.11 (234)
arbre rigide	PT 500 (224)
arc	SE 110.16 (52)
arc à trois articulations	SE 110.17 (50)
arc asymétrique	SE 110.17 (50)
arc parabolique	SE 110.16 (52)
arc symétrique	SE 110.17 (50)
assemblage par vis et rondelles	TM 320 (277)
auto-centrage	TM 620 (196) TM 625 (198)
angle de flexion (joint de Cardan)	KI 150 (150)
angle de torsion	SE 110.29 (88) WP 100 (90) WP 500 (344) WP 510 (346)
arbre avec fissure	PT 500 (224) PT 500.11 (234)
arbre de joint de Cardan	KI 150 (150)
arbre élastique	PT 500.10 (232)
arbre fissuré	PT 500.11 (234)
arbre rigide	PT 500 (224)
arc	SE 110.16 (52)
arc à trois articulations	SE 110.17 (50)
arc asymétrique	SE 110.17 (50)
arc parabolique	SE 110.16 (52)
arc symétrique	SE 110.17 (50)
assemblage par vis et rondelles	TM 320 (277)
auto-centrage	TM 620 (196) TM 625 (198)
<b>B</b>	
balourd	PT 500 (224)
balourd dynamique	PT 500 (224)
balourd général	PT 502 (204) TM 170 (202)
balourd statique	PT 500 (224)
barres de compression avec différents types d'appui	SE 110.19 (104) WP 120 (110) WP 121 (108)
barres de compression chargées excentriquement	WP 120 (110)
barres inactives	SE 110.21 (38) SE 110.22 (40) SE 110.44 (96)
bâti en S	SE 110.20 (92)
bâti en U	SE 110.20 (92)
battement axial	PT 500.13 (238)
battement radial	PT 500.13 (238) PT 500.14 (240)
Bernoulli, hypothèses de	FL 160 (114)
bielle double	KI 130 (148)

Mot-clé	Code (page)
<b>C</b>	
blocage automatique	TM 124 (283)
boîte de vitesse	GL 430 (292)
bras de grue	TM 115 (21)
Brinell	MT 190 (310) WP 300 (332) WP 310 (334)
bruit de roulement	MT 110.02 (306) PT 500.12 (236) PT 500.14 (240) PT 501 (220)
câble soumis à une charge linéaire constante	SE 110.18 (46)
câble soumis à une charge ponctuelle	SE 110.50 (34)
câble soumis au poids propre	SE 110.50 (34)
came	GL 110 (281)
caractéristique de ressort	WP 300 (332)
Cardan, erreur de	KI 150 (150)
Castigliano	SE 110.44 (96)
cavitation dans les pompes	PT 500.17 (246)
centre d'inertie	TM 161 (172)
centre de cisaillement	FL 160 (114)
centre de gravité du corps	TM 161 (172)
cercle de Mohr des contraintes	FL 130 (132) FL 140 (134) FL 200 (136) FL 210 (138) WP 130 (116)
cercle de Mohr des déformations	FL 120 (130) FL 130 (132)
chaise palier	GL 300.12 (269)
charge combinée	FL 160 (114)
charge linéaire	SE 110.12 (48) SE 110.16 (52) SE 110.17 (50) SE 110.18 (46)
charge mobile	SE 110.12 (48) SE 110.17 (50) SE 110.18 (46)
charge multiaxiale	FL 160 (114) WP 130 (116)
Charpy, essai de résilience	WP 400 (340) WP 410 (342)
cisaillement, centre de	FL 160 (114)
cisaillement, contrainte de	FL 160 (114) SE 110.29 (88)
cisaillement, essai de	WP 300 (332) WP 310 (334)
cisaillement, module de	SE 110.29 (88)
coefficient de frottement	TM 100.01 (18) TM 200 (72) TM 210 (70) TM 225 (73) TM 232 (368) TM 260.01 (356) TM 260.03 (360) TM 260.04 (362) TM 260.05 (364) TM 290 (374) TM 310 (278)
coefficient de Poisson	FL 130 (132)
coefficients d'influence	WP 950 (84)
commande à came	GL 110 (281) GL 112 (208)
commande à réglage mécanique, modèle en coupe	GL 300.07 (269)
commande par poulies à gradins	GL 300.06 (269) GL 430 (292)
comportement de rupture	WP 400 (340) WP 410 (342)
composition de forces	TM 110 (16) TM 115 (21)
condition de Grashof	KI 130 (148)
conditions d'équilibre de la statique	SE 110.53 (24)
contrainte axiale	FL 130 (132) FL 140 (134)
contrainte de cisaillement	FL 160 (114) SE 110.29 (88)
contrainte de flambelement	SE 110.19 (104) WP 120 (110) WP 121 (108)
contrainte de flambelement d'Euler	WP 120 (110) WP 121 (108)
contrainte en flexions alternées	WP 140 (348)
contrainte normale	FL 140 (134) WP 130 (116)
contrainte principale	FL 120 (130) FL 130 (132) FL 140 (134)
contrainte radiale	FL 120 (130) FL 140 (134)
contrainte tangentielle	FL 120 (130) FL 130 (132)
Coriolis, force de	TM 605 (166)
corrélation entre détérioration et bruit de roulement	PT 500.12 (236) PT 501 (220)

Mot-clé	Code (page)
<b>D</b>	
corrosion	CE 105 (376)
cotation	MT 110.02 (306) MT 152 (304) TZ 200.02 (262) TZ 200.08 (263) TZ 200.11 (266) TZ 200.61 (260) TZ 200.71 (268) TZ 300 (264)
couple de serrage des vis	TM 320 (277)
couple initial de décrochement de vis	TM 320 (277)
courbe d'accélération	PT 500.04 (228) PT 501 (220)
courbe de contrainte, poutre de flexion	SE 110.48 (338)
courbe de décharge, poutre en flexion	SE 110.48 (338)
courbe de flexion élastique	FL 160 (114) SE 110.14 (82) SE 110.20 (92) SE 110.44 (96) SE 110.47 (86) WP 950 (84) WP 962 (33)
courbe de levée de mécanismes à cames	GL 110 (281) GL 112 (208)
courbe de phase	TM 150 (178) TM 155 (188)
courbe de Stribeck	TM 290 (374)
courbe des efforts tranchants	WP 960 (30) WP 961 (32)
courbe des efforts tranchants et courbe des moments de flexion	SE 110.12 (48) SE 110.20 (92) SE 110.47 (86) WP 960 (30)
courbe des moments de flexion	WP 960 (30) WP 962 (33)
courroie d'entraînement	TM 170 (202) TM 220 (74/286)
courroie plate	TM 220 (74/286)
courroie trapézoïdale	PT 500.14 (240) TM 220 (74/286)
Cremona, épure de	SE 130 (42) SE 130.01 (44)
<b>E</b>	
écrous	MG 901 (274)
effet d'absorption	TM 150 (178) TM 182 (210)
effet gyroscopique	PT 500.18 (248)
effet slip-stick	TM 200 (72) TM 210 (70) TM 225 (73) TM 260.04 (362)
effort de flambement	SE 110.19 (104) WP 120 (110) WP 121 (108)
efforts dans la barre, détermination des	FL 111 (22) SE 110.21 (38) SE 110.22 (40) SE 110.44 (96) SE 130 (42) TM 115 (21)
efforts de coupe au niveau de la poutre	WP 960 (30) WP 961 (32) WP 962 (33)
efforts de coupe au niveau du bâti	SE 110.20 (92)
efforts de coupe : force normale, effort tranchant, moment de flexion	WP 960 (30) WP 961 (32) WP 962 (33)
élasto-hydrodynamique (théorie EHD)	TM 260.02 (358)
éléments de machine, éléments de transmission	GL 100 (280) GL 110 (281) TM 123 (282) TM 124 (283) TM 125 (284) TM 220 (74/286)
éléments de machine, paliers	MG 911 (279) MT 170 (300) MT 171 (302)
éléments de machine, raccords	MG 901 (274) MG 903 (275) MG 905 (276) TM 320 (277) TM 310 (278)
éléments de transmission, éléments de machine	GL 100 (280) GL 110 (281) TM 123 (282) TM 124 (283) TM 125 (284) TM 220 (74/286)
emboutissage, essai d'	WP 300 (332) WP 310 (334)
énergie de choc	WP 400 (340) WP 410 (342)
énergie de déformation	SE 110.44 (96)
engrenage	GL 100 (280) GL 105 (152) GL 212 (160) GL 410 (288) MT 152 (304) PT 500.15 (242) TM 110.03 (20) TM 123 (282)
engrenage à friction	GL 100 (280)
engrenage à roues coniques	GL 300.02 (269) GL 410 (288) GL 420 (290)
engrenage à vis sans fin	AT 200 (296) GL 300.01 (268) GL 420 (290) GL 124 (283)

## Index

Mot-clé	Code (page)
engrenage droit	AT 200 (296) GL 105 (152) GL 300.03 (269) GL 410 (288) GL 420 (290) TM 123 (282) MT 152 (304)
engrenage droit et à vis sans fin	MT 110.02 (306)
engrenage planétaire	GL 105 (152) GL 212 (160) GL 300.05 (269)
engrenages, fonctionnement des	GL 410 (288) GL 420 (290) GL 430 (292) TM 123 (282)
engrenages, rendement des	TM 123 (282)
entraînement à crémaillère	GL 410 (288) GL 420 (290)
entraînement double	PT 500.14 (240)
entraînement par chaîne	GL 410 (288) GL 420 (290)
entraînement par courroie	GL 100 (280) GL 410 (288) GL 420 (290) GL 430 (292) TM 220 (74/286) PT 500.14 (240)
entraînement par courroie multiple	PT 500.14 (240)
entraînements mécaniques	GL 410 (288) GL 420 (290) GL 430 (292)
épure de Cremona	SE 130 (42) SE 130.01 (44)
équation de base de la flexion droite	SE 110.47 (86) WP 950 (84)
équilibrage	PT 500 (224) PT 502 (204) TM 170 (202)
équilibrage sur site	PT 500 (224) PT 500.10 (232) PT 502 (204)
équilibre d'un corps rigide	SE 110.53 (24)
équilibre des forces	TM 110 (16) TM 110.01 (18) TM 225 (73)
équilibre des moments	EM 049 (23) TM 110 (16) TM 121 (26) TM 122 (27)
erreur d'alignement	PT 500 (224) PT 500.10 (232) PT 500.13 (238)
erreur de Cardan	KI 150 (150)
erreur de pas	PT 500.13 (238)
essai de cisaillement	WP 300 (332) WP 310 (334)
essai de compression	SE 100 (336) WP 300 (332) WP 310 (334)
essai de dureté Brinell	MT 190 (310) WP 300 (332) WP 310 (334)
essai de flexion	FL 100 (122) SE 100 (336) SE 110.14 (82) SE 110.47 (86) SE 110.48 (338) WP 100 (90) WP 300 (332) WP 310 (334)
essai de fluge	WP 600 (350)
essai de résilience Charpy	WP 400 (340) WP 410 (342)
essai de résistance à la fatigue	WP 140 (348)
essai de torsion	FL 100 (122) SE 110.29 (88) WP 100 (90) WP 500 (344) WP 510 (346)
essai de traction	MT 190 (310) WP 300 (332) WP 310 (334)
essai d'emboutissage	WP 300 (332) WP 310 (334)
essai des matériaux	MT 190 (310) SE 100 (336) WP 140 (348) WP 300 (332) WP 310 (334) WP 400 (340) WP 410 (342) WP 500 (344) WP 510 (346) WP 600 (350)
état d'un palier	PT 501 (220)
état de contrainte axiale	WP 130 (116)
état de contrainte biaxiale	FL 130 (132)
état de contrainte plane	FL 120 (130) FL 130 (132)
état de contrainte triaxiale	FL 140 (134)
état des machines, surveillance de	PT 500 (224)
état du palier à roulement	PT 500.12 (236) PT 501 (220)
Euler, contrainte de flambement	WP 120 (110) WP 121 (108)
excitation à balourd	PT 500.10 (232) TM 150 (178) TM 155 (188) TM 182 (210)
exercices de mesure	TZ 100 (258) TZ 200.08 (263) TZ 200.11 (266) TZ 200.61 (260) TZ 200.71 (268) TZ 300 (264)
Eytelwein, formule (frottement d'un câble)	TM 220 (74/286)
formule d'Eytelwein (frottement d'un câble)	TM 220 (74/286)
franges isochromatiques	FL 200 (136) FL 210 (138)
frein à particules magnétiques	AT 200 (296)
frein de vis	MG 903 (275) TM 320 (277)

Mot-clé	Code (page)
<b>F</b>	
facteur k d'un jauge de contrainte	FL 102 (124)
fatigue du matériau	PT 500.11 (234) WP 140 (348) WP 600 (350)
fatigue, rupture de	PT 500.11 (234)
filet de vis	TM 320 (277)
filetage Whitworth	MG 905 (276)
filetage, pas de	TM 320 (277)
filetage, rendement de	TM 310 (278)
filetage, types de	MG 905 (276) TM 310 (278)
film lubrifiant	TM 260.02 (358) TM 260.03 (360) TM 260.06 (366) TM 280 (372) TM 282 (370) TM 290 (374)
fissure radiale	PT 500.11 (234)
flambement	SE 110.19 (104) SE 110.57 (106) WP 120 (110) WP 121 (108)
flambement, contrainte de	SE 110.19 (104) WP 120 (110) WP 121 (108)
flambement, effort de	SE 110.19 (104) WP 120 (110) WP 121 (108)
fléchissement de poutres	SE 110.47 (86) WP 100 (90) WP 950 (84) WP 960 (30) WP 961 (32) WP 962 (33)
flexion alternée	SE 110.58 (181) PT 500.10 (232) TM 620 (196)
flexion axiale	FL 160 (114) WP 130 (116)
flexion biaxiale	FL 160 (114)
flexion droite d'une poutre	FL 160 (114)
flexion droite, équation de base	SE 110.47 (86) WP 950 (84)
flexion et torsion	FL 160 (114) WP 100 (90) WP 130 (116)
flexion gauche	FL 160 (114)
fluge, essai de	WP 600 (350)
fluge, processus de	WP 600 (350)
flux de cisaillement dans les poutres à paroi mince	FL 160 (114)
fonctionnement des engrenages	GL 410 (288) GL 420 (290) GL 430 (292) TM 123 (282)
force apparente	TM 605 (166)
force centrifuge	TM 600 (162) TM 632 (168)
force de contact	TM 262 (98)
force de Coriolis	TM 605 (166)
force de frottement	TM 200 (72) TM 210 (70) TM 260.01 (356) TM 260.03 (360) TM 260.04 (362) TM 260.05 (364)
force due à la masse	PT 500.16 (244) TM 180 (206)
force due aux gaz	PT 500.16 (244)
force, transmission de	TM 110.02 (19) TM 122 (27) TM 125 (284)
forces avec point d'application commun	TM 110 (16)
forces de frottement sur des paliers de tourillon	TM 232 (368)
forces et moments internes	SE 110.12 (48) SE 110.18 (46) WP 960 (30) WP 961 (32) WP 962 (33)
forces, équilibre des	TM 110 (16) TM 110.01 (18) TM 225 (73)
forces, méthodes des	FL 170 (94) WP 950 (84)
forces, parallélogramme des	TM 110 (16) TM 115 (21)
forme propre d'un corps	HM 159.11 (194) TM 625 (198)
formule d'Euler du flambement	SE 110.57 (106) WP 120 (110) WP 121 (108)
formule de frottement d'un câble	TM 220 (74/286)
formule d'Eytelwein (frottement d'un câble)	TM 220 (74/286)
franges isochromatiques	FL 200 (136) FL 210 (138)
frein à particules magnétiques	AT 200 (296)
frein de vis	MG 903 (275) TM 320 (277)

Mot-clé	Code (page)
fréquence de passage des pales	PT 500.18 (248)
fréquence propre	HM 159.11 (194) SE 110.58 (181) TM 150.02 (190) TM 164 (175)
frottement	TM 110.01 (18) TM 200 (72) TM 210 (70) TM 220 (74/286) TM 225 (73)
frottement d'adhérence	TM 110.01 (18) TM 200 (72) TM 210 (70) TM 225 (73) TM 260.04 (362)
frottement de câble	TM 220 (74/286)
frottement de courroie	TM 220 (74/286)
frottement de glissement	TM 110.01 (18) TM 200 (72) TM 210 (70) TM 225 (73) TM 232 (368) TM 260.01 (356) TM 260.03 (360) TM 260.04 (362) TM 260.05 (364)
frottement de palier	TM 232 (368) TM 282 (370)
frottement de roulement	TM 110.01 (18) TM 232 (368) TM 260.01 (356)
frottement mécanique	TM 200 (72) TM 210 (70) TM 220 (74/286) TM 225 (73)
frottement sur palier à roulement	TM 232 (368)
frottement sur palier lisse	TM 232 (368) TM 282 (370)
<b>G</b>	
géométrie de direction	KI 160 (151)
géométrie descriptive	TZ 100 (258)
glissement	PT 500.14 (240) TM 260.01 (356)
Grashof, condition de	KI 130 (148)
gyroscope	TM 630 (164)
<b>H</b>	
harnais d'engrenage à changement de vitesse	GL 430 (292)
Hartnell, régulateur	TM 632 (168)
Hertz, pression de	TM 262 (98)
Hooke, loi de	TM 110.01 (18) TM 400 (100)
Howe, treillis de type	SE 130 (42)
hypothèse des contraintes	WP 130 (116)
hypothèse des contraintes de cisaillement	FL 140 (134) WP 130 (116)
hypothèse des contraintes normales	WP 130 (116)
hypothèses de Bernoulli	FL 160 (114)
hypothèses de défaillance	WP 130 (116)
<b>I</b>	
identification de la fissure	PT 500.11 (234)
images de contraintes	FL 200 (136) FL 210 (138)
indications de tolérances	TZ 200.08 (263) TZ 200.11 (266) TZ 200.61 (260) TZ 200.71 (268) TZ 300 (264)
influence du module d'élasticité	WP 100 (90) WP 120 (110) WP 950 (84)
informations de fabrication	TZ 200.08 (263) TZ 200.11 (266) TZ 200.61 (260) TZ 200.71 (268) TZ 300 (264)
interstice de lubrification	TM 260.06 (366) TM 280 (372) TM 282 (370) TM 290 (374)
<b>J</b>	
jauge de contrainte	FL 100 (122) FL 102 (124) FL 120 (130) FL 130 (132) FL 140 (134)
jeu de palier	MT 170 (300) PT 500.16 (244) TM 290 (374)
jeu des roues dentées	PT 500.15 (242) PT 500.16 (244)
<b>L</b>	
Laval, rotor de	TM 625 (198)
ligne d'appui	SE 110.17 (50)

Mot-clé	Code (page)
ligne d'influence	SE 110.12 (48) SE 110.17 (50) WP 950 (84)
ligne de chaînette	SE 110.18 (46) SE 110.50 (34)
ligne des naissances	SE 110.17 (50)
ligne élastique	SE 110.47 (86) WP 100 (90) WP 950 (84)
limite apparente d'élasticité	WP 130 (116)
liste de pièces	TZ 200.08 (263) TZ 200.11 (266) TZ 200.71 (268) TZ 300 (264)
loi d'élasticité	FL 130 (132) TM 400 (100)
loi de Hooke	TM 110.01 (18) TM 400 (100)
loi de la chute des corps	TM 611 (155)
lois du gyroscope	TM 630 (164)
<b>M</b>	
masse oscillante	PT 500.16 (244)
Maxwell-Betti</	

## Index

Mot-clé	Code (page)
<b>N</b>	
Norton, train baladeur	GL 200 (294) GL 430 (292)
<b>O</b>	
oscillation pendulaire	TM 150 (178) TM 161 (172)
<b>P</b>	
pales, vibrations des	PT 500.18 (248)
palier à roulement	MG 911 (279) PT 500.12 (236) PT 501 (220) TM 232 (368)
palier lisse	MT 170 (300) MT 171 (302) TM 232 (368) TM 260.06 (366) TM 282 (370) TM 290 (374)
palier lisse hydrodynamique	MT 171 (302) TM 260.06 (366)
palier, état de	PT 501 (220)
palier, frottement de	TM 232 (368) TM 282 (370)
palier, jeu de	MT 170 (300) PT 500.16 (244) TM 290 (374)
paliers, dommage sur les	PT 500.12 (236) PT 500.15 (242) PT 501 (220)
paliers, éléments de machine	MG 911 (279) MT 170 (300) MT 171 (302)
paliers, vibrations de	PT 500 (224)
parallélogramme des forces	TM 110 (16) TM 115 (21)
pas de filetage	TM 320 (277)
pas, erreur de	PT 500.13 (238)
passage des pales, fréquence de	PT 500.18 (248)
pendule	TM 150 (178) TM 161 (172) TM 162 (173)
pendule à fil	TM 161 (172)
pendule à tige	TM 161 (172)
pendule de Kater (réversible)	TM 150 (178)
pendule mathématique	TM 150 (178) TM 161 (172) TM 162 (173)
pendule physique	TM 150 (178) TM 162 (173)
pensée spatiale	TZ 100 (258)
photoélasticité	FL 200 (136) FL 210 (138)
pièces cylindriques	TZ 100 (258)
pièces normalisées	MG 901 (274) MG 911 (279)
plan incliné	TM 110.01 (18) TM 225 (73) TM 611 (155)
Poisson, coefficient de	FL 130 (132)
polariscope	FL 200 (136) FL 210 (138)
pont de Wheatstone	FL 100 (122)
pont suspendu	SE 110.18 (46)
Porter, régulateur	TM 632 (168)
poulie	TM 110.02 (19)
poutre à deux travées	SE 110.14 (82) SE 110.47 (86) WP 950 (84)
poutre à plusieurs travées	SE 110.47 (86) WP 950 (84)
poutre à travée unique	SE 110.47 (86) WP 100 (90) WP 950 (84)
poutre à trois travées	SE 110.12 (48) WP 950 (84)
poutre articulée	SE 110.12 (48)
poutre cantilever	SE 110.12 (48)
poutre circulaire	FL 170 (94)
poutre courbe	FL 170 (94)
poutre en demi-cercle	FL 170 (94)
poutre en flexion	FL 160 (114) SE 110.58 (181)
poutre en porte-à-faux	SE 110.14 (82) SE 110.47 (86) WP 100 (90) WP 950 (84)
poutre en quart de cercle	FL 170 (94)
poutre oscillante	TM 150 (178)
précession	TM 630 (164)
pression hertzienne	TM 262 (98)
principe des forces virtuelles	FL 170 (94) SE 110.20 (92)

Mot-clé	Code (page)
<b>p</b>	
principe des leviers	EM 049 (23) TM 110 (16)
principe du déplacement virtuel	SE 110.20 (92)
principe du travail et de l'énergie	SE 110.44 (96)
principe du travail virtuel	SE 110.20 (92) SE 110.47 (86) WP 100 (90) WP 950 (84)
principe fondamental de la dynamique du mouvement de rotation	TM 612 (156)
problèmes de stabilité (barre)	SE 110.19 (104) WP 120 (110) WP 121 (108)
processus de fluage	WP 600 (350)
processus de montage	MT 110.02 (306) MT 152 (304) MT 170 (300) MT 171 (302) MT 190 (310) TZ 200.11 (266) TZ 200.71 (268) TZ 300 (264)
Proell, régulateur	TM 632 (168)
<b>Q</b>	
quadrilatère articulé	KI 130 (148)
<b>R</b>	
raccords, éléments de machine	MG 901 (274) MG 903 (275) MG 905 (276) TM 320 (277) TM 310 (278)
Raleigh, méthode par approximation selon	SE 110.58 (181)
rapport de transmission	GL 105 (152) GL 410 (288) GL 420 (290) GL 430 (292) TM 110.03 (20) TM 123 (282) TM 124 (283) TZ 200.71 (268)
réactions d'appui	SE 110.12 (48) SE 110.16 (52) SE 110.17 (50) SE 110.21 (38) SE 110.22 (40) SE 110.44 (96) SE 130 (42) WP 950 (84)
régulateur centrifuge	TM 632 (168)
régulateur Hartnell	TM 632 (168)
régulateur Porter	TM 632 (168)
régulateur Proell	TM 632 (168)
régulation de la vitesse de rotation	TM 632 (168)
rendement d'un filetage	TM 310 (278)
rendement des engrenages	AT 200 (296) GL 210 (158) GL 212 (160) TM 123 (282)
renversement de marche	GL 430 (292)
répartition de pression dans un palier lisse	TM 260.06 (366) TM 280 (372) TM 290 (374)
réponse en amplitude	TM 155 (188)
représentation en trois vues	TZ 100 (258)
représentation spatiale	TZ 100 (258)
réservoir à paroi épaisse sous pression	FL 140 (134)
réservoir à paroi mince sous pression	FL 130 (132)
résilience	WP 400 (340) WP 410 (342)
résistance à la torsion	WP 500 (344) WP 510 (346)
résonance	PT 500 (224) PT 500.10 (232) PT 500.14 (240) TM 140 (192) TM 150 (178) TM 155 (188) TM 620 (196) TM 625 (198)
ressort, rigidité de	TM 164 (175) TM 400 (100)
ressort, test de	WP 300 (332) WP 310 (334)
rigidité de ressort	TM 164 (175) TM 400 (100)
rigidité de torsion	SE 110.29 (88) TM 140 (192) TM 150.02 (190)
rigidité en torsion	TM 140 (192) TM 150.02 (190)
rotor	PT 500.10 (232) PT 500.11 (234) TM 620 (196) TM 625 (198)
rotor de Laval	TM 625 (198)
roues à denture hélicoïdale	PT 500.15 (242)
roues de friction	TM 260.01 (356)
rupture de fatigue	PT 500.11 (234)
rupture, comportement de	WP 400 (340) WP 410 (342)

Mot-clé	Code (page)
<b>S</b>	
solicitation composée	FL 160 (114) WP 130 (116)
spectre des vibrations	PT 500 (224) PT 500.11 (234) PT 500.12 (236) PT 500.14 (240) PT 500.16 (244) PT 500.17 (246) PT 500.18 (248) PT 501 (220)
spectres de fréquence	PT 500 (224)
Steiner, théorème de	TM 611 (155)
superposition, méthode de	SE 110.47 (86) SE 110.20 (92)
surface de contact	TM 262 (98)
surveillance de l'état des machines	PT 500 (224)
système de forces dans le plan	FL 111 (22) SE 110.53 (24) TM 110 (16) TM 115 (21)
système hyperstatique	SE 110.14 (82) SE 110.16 (52) SE 110.20 (92) SE 110.22 (40) SE 110.44 (96) SE 110.47 (86) WP 100 (90) WP 950 (84)
système masse-ressort	TM 150 (178) TM 164 (175)
systèmes porteur en plusieurs parties	SE 110.12 (48)
<b>T</b>	
tablier	GL 430 (292)
technique de mesure des vibrations	PT 500 (224) PT 500.04 (228)
technique d' entraînement	GL 410 (288) GL 420 (290) GL 430 (292)
temps d'arrêt	PT 500 (224)
tension de courroie	PT 500.14 (240)
test de ressort	WP 300 (332) WP 310 (334)
théorème de Castigliano	SE 110.44 (96)
théorème de Steiner	TM 611 (155)
théorèmes de Maxwell-Betti	SE 110.14 (82) WP 950 (84)
théorèmes des transpositions	SE 110.14 (82) WP 950 (84)
théorie d'Ackermann	KI 160 (151)
théorie de l'élasticité du premier ordre (structures portantes)	SE 110.20 (92)
théorie des poutres	FL 160 (114) SE 110.14 (82) SE 110.47 (86) WP 100 (90) WP 950 (84)
torsion	TM 140 (192) TM 150.02 (190) TM 163 (174)
torsion d'un tube	SE 110.29 (88)
torsion d'un tube fendu en longueur	SE 110.29 (88)
torsion d'un tube rectangulaire	SE 110.29 (88)
torsion d'une barre ronde	FL 100 (122) SE 110.29 (88) WP 100 (90) WP 500 (344) WP 510 (346)
toupie entraînée	TM 630 (164)
tracking, analyse de suivi	PT 500 (224)
traction, essai de	MT 190 (310) WP 300 (332) WP 310 (334)
train baladeur	GL 430 (292)
train baladeur Norton	GL 200 (294) GL 430 (292)
trajectoire	PT 500.10 (232)
trajectoire sous-critique	PT 500.10 (232)
transmission à articulation tournante	KI 130 (148)
transmission de force	TM 110.02 (19) TM 122 (27) TM 125 (284)
travail de levage	TM 110.02 (19)
travail virtuel	SE 110.20 (92) SE 110.47 (86) WP 950 (84)
treillis	FL 111 (22) SE 110.21 (38) SE 110.22 (40) SE 110.44 (96) SE 130 (42)
treillis de type Howe	SE 130 (42)
treillis de type Warren	SE 130.01 (44)
treillis hyperstatique	SE 110.22 (40)

Mot-clé	Code (page)
treuil	TM 125 (284)
tribologie	TM 232 (368) TM 260 (354) TM 280 (372) TM 290 (374)
types de filetage	MG 905 (276) TM 310 (278)
<b>U</b>	
usure dans les engrenages	PT 500.15 (242)
usure dans les systèmes tribologiques	TM 260.03 (360) TM 260.05 (364) TM 260.03 (360)
<b>V</b>	
vibration à friction	TM 260.04 (362)
vibration amortie	TM 150 (178) TM 155 (188)
vibration d'accouplement	PT 500.13 (238)
vibration de fonctionnement	PT 500.17 (246) TM 182 (210)
vibration de torsion	TM 140 (192) TM 150.02 (190) TM 162 (173) TM 163 (174)
vibration forcée	TM 140 (192) TM 150 (178) TM 155 (188)
vibration libre	SE 110.58 (181) TM 155 (188)
vibration non amortie	TM 150 (178)
vibration propre	HM 159.11 (194)
vibrations au niveau de la machine	PT 500 (224) PT 500.19 (250) PT 502 (204)
vibrations dans les accouplements	PT 500.13 (238)
vibrations dans les paliers à roulement	PT 500.12 (236) PT 501 (220)
vibrations dans les ventilateurs	PT 500.18 (248)
vibrations de commandes à manivelle	PT

# Aperçu de produits

<b>AT</b>		
AT 200	Détermination du rendement des engrenages	296
<b>CE</b>		
CE 105	Corrosion des métaux	376
<b>EM</b>		
EM 049	Équilibre des moments d'un levier à deux bras	23
<b>FL</b>		
FL 100	Système didactique pour jauge de contrainte	122
FL 101	Kit d'application pour jauge de contrainte	120
FL 102	Détermination du facteur k par les jauge de contrainte	124
FL 111	Forces dans un treillis simple	22
FL 120	Analyse des contraintes au niveau d'un diaphragme	130
FL 130	Analyse des contraintes au niveau d'un réservoir à paroi mince	132
FL 140	Analyse des contraintes au niveau d'un réservoir à paroi épaisse	134
FL 152	Amplificateur de mesure multivoie	56/128
FL 160	Flexion gauche	114
FL 170	Déformation des poutres à axe courbe	94
FL 200	Essais photoélastiques à l'aide d'un polariscope par transmission	136
FL 210	Démonstration photoélastique	138
<b>GL</b>		
GL 100	Principe des engrenages	280
GL 105	Modèle cinématique des engrenages	152
GL 110	Commande à came	281
GL 112	Étude des commandes à came	208
GL 200	Engrenage d'un tour	294
GL 210	Comportement dynamique des engrenages droits à plusieurs étages	158
GL 212	Comportement dynamique des engrenages planétaires à plusieurs étages	160
GL 300.01-	Modèles en coupe	270
GL 300.12		271
GL 410	Montage d'entraînements simples	288
GL 420	Montage d'entraînements combinés	290
GL 430	Montage de boîtes de vitesse	292
<b>HM</b>		
HM 159.11	Vibrations propres sur modèle de bateau	194
<b>KI</b>		
KI 110	Modèle cinématique d'un mécanisme bielle-manivelle	146
KI 120	Modèle cinématique d'un mécanisme à coulisse	147
KI 130	Modèle cinématique d'un quadrilatère articulé	148
KI 140	Modèle cinématique d'un mécanisme de Whitworth	149
KI 150	Modèle cinématique d'un arbre de transmission à joints de Cardan	150
KI 160	Modèle cinématique du mécanisme de direction d'Ackermann	151

<b>MG</b>		
MG 901	Kit de vis et écrous	274
MG 903	Kit de freins de vis	275
MG 905	Kit de filets	276
MG 911	Kit de paliers à roulement	279
<b>MT</b>		
MT 110.02	Montage d'un engrenage droit et à vis sans fin	306
MT 152	Montage d'un engrenage droit	304
MT 170	Montage d'un arbre avec paliers lisses	300
MT 171	Montage d'un palier lisse hydrodynamique	302
MT 172	Alignment d'entraînements, d'arbres et d'engrenages	308
MT 190	Montage: machine d'essais de matériaux	310
MT 190.01	Montage: acquisition de données pour essais de matériaux	312
<b>PT</b>		
PT 500	Système de diagnostic de machines, appareil de base	224
PT 500.01	Chariot mobile	227
PT 500.04	Analyseur de vibrations assisté par ordinateur	228
PT 500.05	Dispositif de freinage et de charge	230
PT 500.10	Jeu d'accessoires: arbre élastique	232
PT 500.11	Jeu d'accessoires: arbre fissuré	234
PT 500.12	Jeu d'accessoires: dommages sur les paliers à roulement	236
PT 500.13	Jeu d'accessoires: accouplements	238
PT 500.14	Jeu d'accessoires: courroie d'entraînement	240
PT 500.15	Jeu d'accessoires: dommages aux engrenages	242
PT 500.16	Jeu d'accessoires: système bielle-manivelle	244
PT 500.17	Jeu d'accessoires: cavitation dans les pompes	246
PT 500.18	Jeu d'accessoires: vibrations dans les ventilateurs	248
PT 500.19	Jeu d'accessoires: vibrations électromécaniques	250
PT 501	Dommages sur les paliers à roulement	220
PT 502	Équilibrage sur site	204
<b>SE</b>		
SE 100	Bâti pour essais de charge, 400kN	336
SE 110.12	Lignes d'influence au niveau de la poutre cantilever	48
SE 110.14	Courbe de flexion élastique d'une poutre	82
SE 110.16	Arc parabolique	52
SE 110.17	Arc à trois articulations	50
SE 110.18	Forces au niveau d'un pont suspendu	46
SE 110.19	Étude de problèmes de stabilité simples	104
SE 110.20	Déformation des bâtis	92
SE 110.21	Forces dans différents treillis plans	38
SE 110.22	Forces dans un treillis hyperstatique	40
SE 110.29	Torsion de barres	88
SE 110.44	Déformation d'un treillis	96
SE 110.47	Méthodes de détermination de la courbe de flexion élastique	86
SE 110.48	Essai de flexion, déformation plastique	338
SE 110.50	Câble soumis au poids propre	34
SE 110.53	Équilibre dans un système plan isostatique	24
SE 110.57	Flambement des barres	106
SE 110.58	Vibrations libres sur une poutre en flexion	181

<b>SE 112</b>	Bâti de montage	58/101
SE 130	Forces dans un treillis type Howe	42
SE 130.01	Poutre à treillis: type Warren	44
<b>TM</b>		
TM 110	Principe de la statique	16
TM 110.01	Jeu complémentaire plan incliné et frottement	18
TM 110.02	Jeu complémentaire poulies	19
TM 110.03	Jeu complémentaire roues dentées	20
TM 115	Forces dans le bras de grue	21
TM 121	Équilibre des moments sur des poulies	26
TM 122	Équilibre des moments sur une poulie différentielle	27
TM 123	Engrenage droit	282
TM 124	Engrenage à vis sans fin	283
TM 125	Treuil	284
TM 140	Vibrations de torsion libres et forces	192
TM 150	Système didactique sur les vibrations	178
TM 150.02	Vibrations de torsion libres et amorties	190
TM 150.20	Système d'acquisition de données	180
TM 155	Vibrations libres et forcées	188
TM 155.20	Système d'acquisition de données	191
TM 161	Pendule à tige et pendule à fil	172
TM 162	Pendules à suspension bifilaire / trifilaire	173
TM 163	Vibrations de torsion	174
TM 164	Vibrations d'un ressort spiral	175
TM 170	Appareil d'équilibrage	202
TM 180	Forces exercées sur les moteurs à piston alternatif	206
TM 182	Vibrations sur les fondations de machines	210
TM 182.01	Compresseur à piston pour TM 182	212
TM 200	Principes du frottement mécanique	72
TM 210	Frottement entre des corps solides	70
TM 220	Entraînement par courroie et frottement de courroie	74/286
TM 225	Frottement sur un plan incliné	73
TM 232	Frottement dans les paliers	368
TM 260	Dispositif d'entraînement pour essais de tribologie	354
TM 260.01	Frottement de roulement sur des roues de friction	356
TM 260.02	Comportement élasto-hydrodynamique	358
TM 260.03	Frottement de glissement sur goupille – disque	360
TM 260.04	Vibrations à friction	362
TM 260.05	Frottement de glissement sur goupille cylindrique – rouleau	364
TM 260.06	Répartition de pression dans des paliers lisses	366
TM 262	Pression de Hertz	98
TM 280	Répartition de pression dans des paliers lisses	372
TM 282	Frottement dans des paliers lisses	370
TM 290	Palier lisse avec lubrification hydrodynamique	374
TM 310	Contrôle de filetage	278
TM 320	Contrôle d'assemblages par vis	277
TM 400	Loi de Hooke	100
TM 600	Force centrifuge	162
TM 605	Force de Coriolis	166
TM 610	Inertie dans les mouvements de rotation	154
TM 611	Disque roulant sur un plan incliné	155
TM 612	Modèle cinétique volant d'inertie	156



## Contact

**G.U.N.T. Gerätebau GmbH**

Hanskampring 15 – 17

D-22885 Barsbüttel

Allemagne

Tél. +49 (0)40 67 08 54-0

Fax +49 (0)40 67 08 54-42

Email [sales@gunt.de](mailto:sales@gunt.de)

Web [www.gunt.de](http://www.gunt.de)



Consultez notre  
page d'accueil  
[www.gunt.de](http://www.gunt.de)

