

ESSAIS IN SITU DANS LE MEB

O. BRINZA, R. CHIRON

Laboratoire des Sciences des Procédés et des Matériaux (CNRS UPR 3407), Université Paris 13, Sorbonne Paris Cité, Villetaneuse, France

Gn-MEBA décembre 2015

Plan

Introduction

Les machines d'essais in situ développées au LSPM - description

Exemples d'essais

Introduction

Les objectifs

- Observer l'évolution ou la transformation d'un matériau sous l'effet d'une variable externe
- Enregistrer
- Caractériser

Les matériaux

- Métalliques
- Céramiques
- Géologiques
- Biologiques

Les essais

- Mécaniques : traction, compression, flexion, cisaillement, ..., associés ou non à T et/ou P
- En fonction des variables thermodynamiques T (chauffage, refroidissement) et P (MEB PC)

Les essais mécaniques in situ: introduction

Les objectifs :

- Observer l'évolution des mécanismes qui apparaissent lors de la déformation plastique d'un matériau
- Caractériser la microstructure des matériaux déformés et les mécanismes locaux associés
- Améliorer la compréhension des propriétés mécaniques des matériaux grâce à l'étude de leur comportement à une échelle locale représentative (échelle du grain ou de l'agrégat de grains)

Les outils :

- Un microscope électronique à balayage (MEB)
- Une machine d'essai mécanique placée dans la chambre du MEB
- Des moyens de caractérisation et de mesure des déformations (microextensométrie, corrélation d'images) et des orientations cristallographiques locales (EBSD)

Le cahier des charges d'une machine

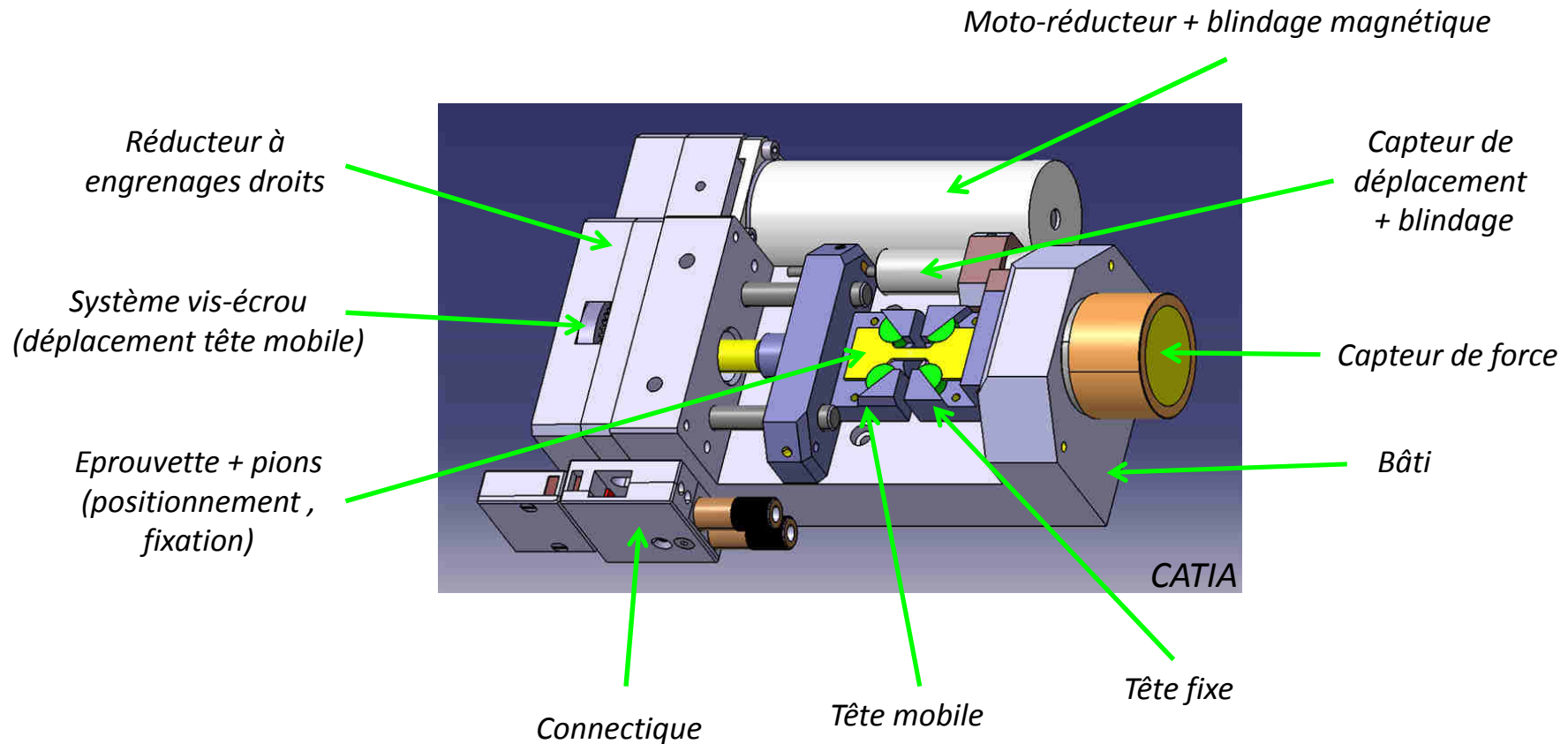
Le cahier des charges d'une machine d'essai mécanique pour MEB

- Utilisation de matériaux amagnétiques, souvent à hautes caractéristiques mécaniques
- Utilisation de blindages magnétiques pour les éléments produisant des champs alternatifs
- Poids maximum admissible sur la platine du MEB, notamment en cas d'inclinaison
- Caractéristiques de la machine en fonction des caractéristiques mécaniques et des dimensions des matériaux à étudier
- Passages électriques étanches (commande machine et acquisition des signaux capteurs)
- Boîtier électronique de contrôle de la machine et d'acquisition des signaux des capteurs
- Logiciel de pilotage et d'acquisition

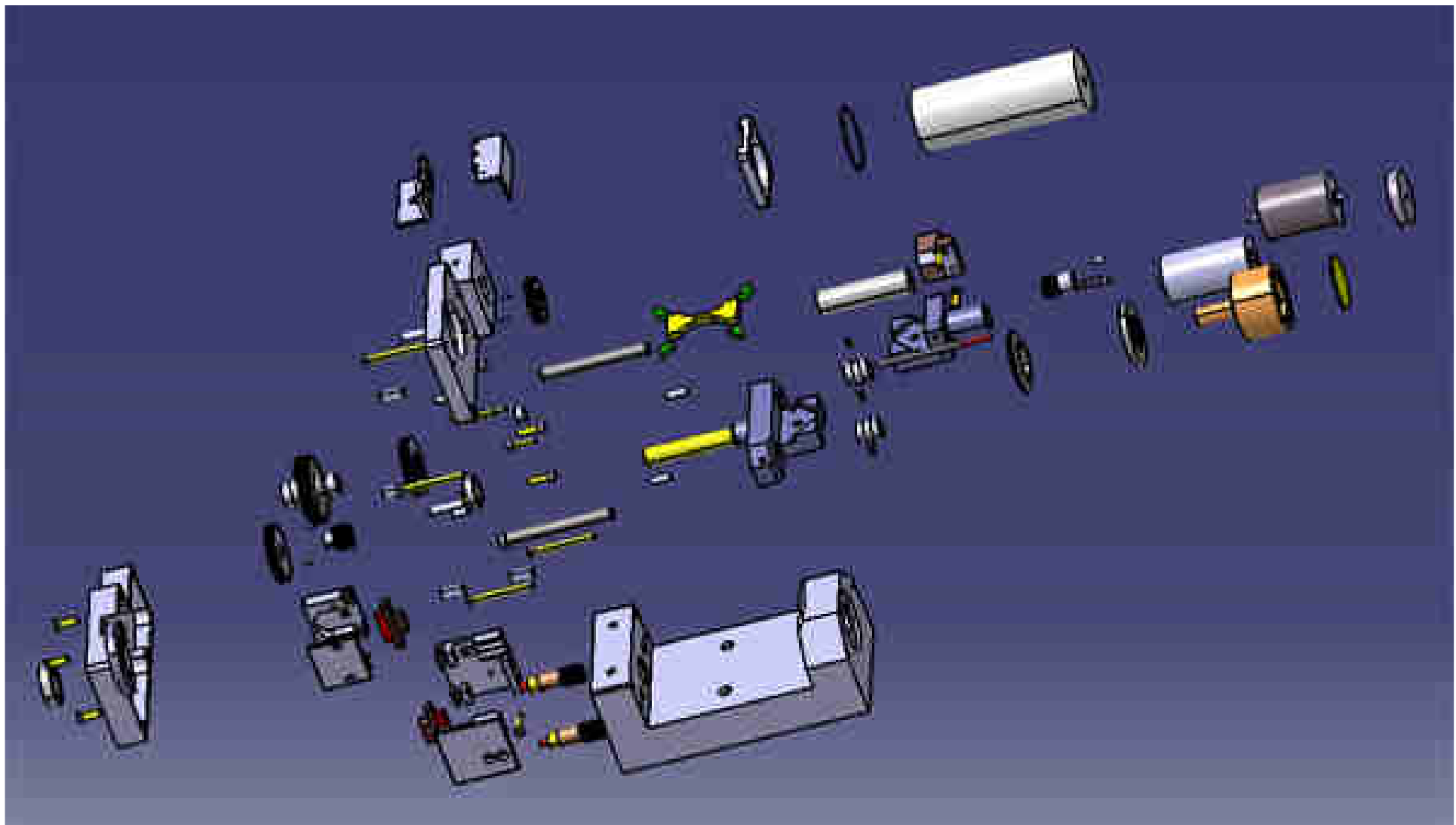
Description d'une machine de traction in situ

- Développement de laboratoire (LSPM-CNRS, UP13, 1992-2012)
- Machine complète (module utilisable dans différents systèmes de caractérisation)
- Poids : 1,3 kg → assez faible pour une majorité de platines, même inclinées à 70°
- Adaptée aux essais à chaud (800 °C) et à l'EBS (inclinable de 0° à 70°)
- Haute capacité de charge (10 kN) : étude de matériaux à hautes caractéristiques mécaniques

Machine de traction in situ (LSPM)



Machine de traction in situ (LSPM)



Phase de développement

- Matériaux
 - ✓ Bâti : alliage d'aluminium 7075 T6 (Al, Zn, Cu; RP0,2 : 470 MPa Min), usinage conventionnel
 - ✓ Têtes de traction, engrenages : CuBe2 traité HT (RP0,2 : 1000 MPa Min), usinage conventionnel
 - ✓ Blindage magnétique : mumétal NiFe15Mo5, haute perméabilité magnétique
 - ✓ Capteur de force : CuBe2 traité (absence d'hystérésis)
- Système de déplacement de la traverse mobile
 - ✓ Moteur CC 10W + réducteur planétaire + codeur
 - ✓ 2^{ème} réducteur à engrenages + système vis-écrou
- Acquisition des signaux
 - ✓ Mesure de déplacement par capteur inductif LVDT
 - ✓ Capteur de force : développement maison, à jauges résistives
- Boîtier électronique de contrôle et d'acquisition
 - ✓ Contrôle du déplacement de la traverse mobile
 - ✓ Cartes numériques d'acquisition des signaux des capteurs
- Logiciel de contrôle et d'acquisition
 - ✓ Développement « maison », sous Labview
- Intégration sur la platine du MEB :
 - Interface mécanique
 - Si possible utiliser la table X ou Y de la platine
 - Si possible axe de traction // axe de tilt

Outline

- Le système de transmission de la force

A prendre en compte dans le calcul des différents éléments :

- ✓ Force maximale de traction (10 kN dans le cas présent)
- ✓ Diamètre et pas de vis du système vis-écrou
- ✓ Module des engrenages (périodicité des dents) du réducteur final
- ✓ Rapports de réduction des réducteurs
- ✓ Pertes par frottement dans les différents éléments (vis-écrou, engrenages)
- ✓ Couples admissibles aux différents niveaux du système

Paramètres obtenus :

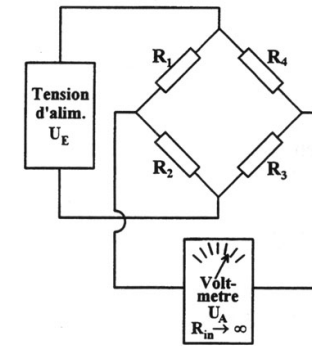
- ✓ Moteur CC (P=10W, couple 12 mN.m) associé à un réducteur planétaire (R1 = 200:1, couple de sortie maximum 1,8 N.m) et à un codeur
- ✓ Rapport de réduction global : R=3000:1
- ✓ Couple maximum sur le dernier engrenage : 25 N.m (écrou du système vis-écrou)
- ✓ Système vis-écrou de déplacement de traverse : M8, pas 1 mm
- ✓ Vitesse de traverse maximale : $33 \mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (6000 rpm moteur)

- Le câblage et la connectique
 - ✓ Câbles blindés
 - ✓ Connecteurs série hermétique sur un port d'entrée de la chambre
- Coffret électronique de mesure multivoies multifonctions
 - ✓ Configuration numérique des cartes (gain et zéro des capteurs)
 - ✓ Chaîne d'amplification analogique
 - ✓ Liaison USB vers PC (réglage à distance, sauvegarde, acquisition)
- Logiciel de contrôle et d'acquisition : développé sous Labview
 - ✓ Vitesse de traverse, force, contrainte ou température constantes, cycles,...

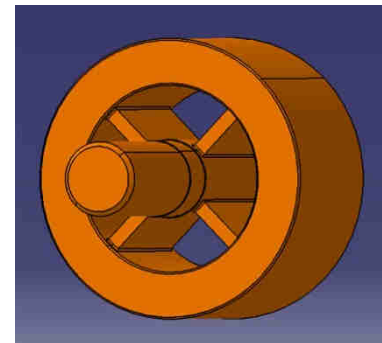
Le capteur de force

- Le capteur de force

- ✓ A jauges résistives : linéarité, stabilité thermique
A jauges piézorésistives dans certaines machines (matériau semi-conducteur : sensibilité à la déformation mais aussi à T)
- ✓ Montage : en général 4 jauges collées sur un corps d'épreuve et monté en pont de Wheatstone
- ✓ Choix du matériau du corps d'épreuve → CuBe2 (le meilleur), certains aciers ou alliages d'aluminium
Domaine d'utilisation : $\varepsilon \leq 10^{-3}$; hystérésis pour certains matériaux et/ou montage
- ✓ Types de capteur à jauges résistives

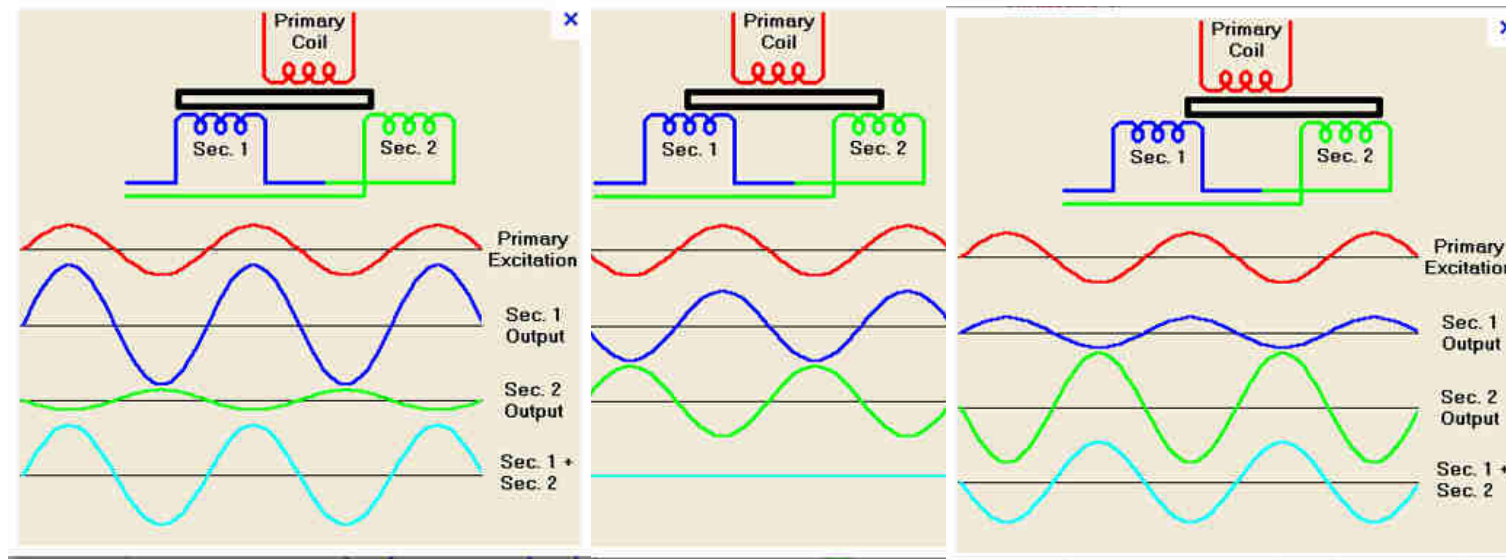


1. Capteur développé au LSPM-CNRS
 - matériau CuBe2,
 - étalonnage charge-décharge 0-10kN (linéarité → $R = 0,99998$)

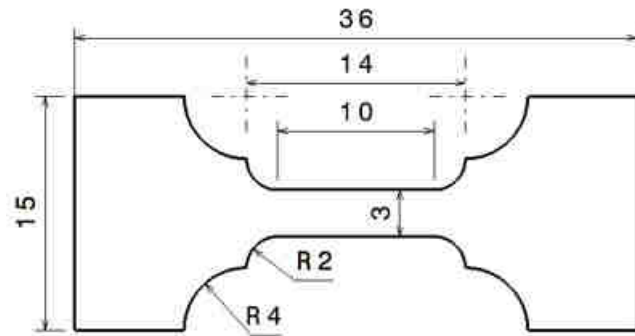


Le capteur de déplacement

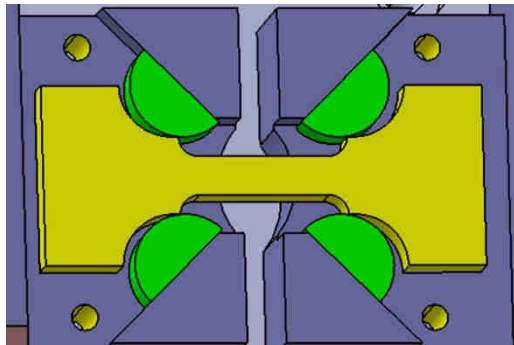
- ✓ Capteur inductif (LVDT, « Linear Variable Differential Transformer »)



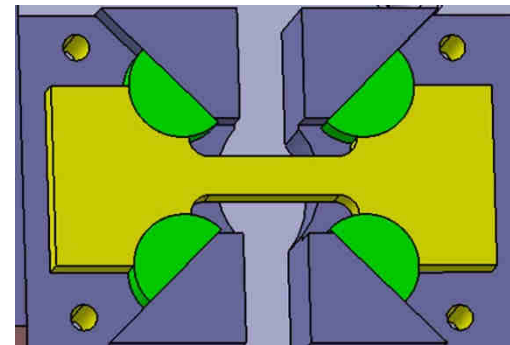
L'éprouvette et son système de fixation



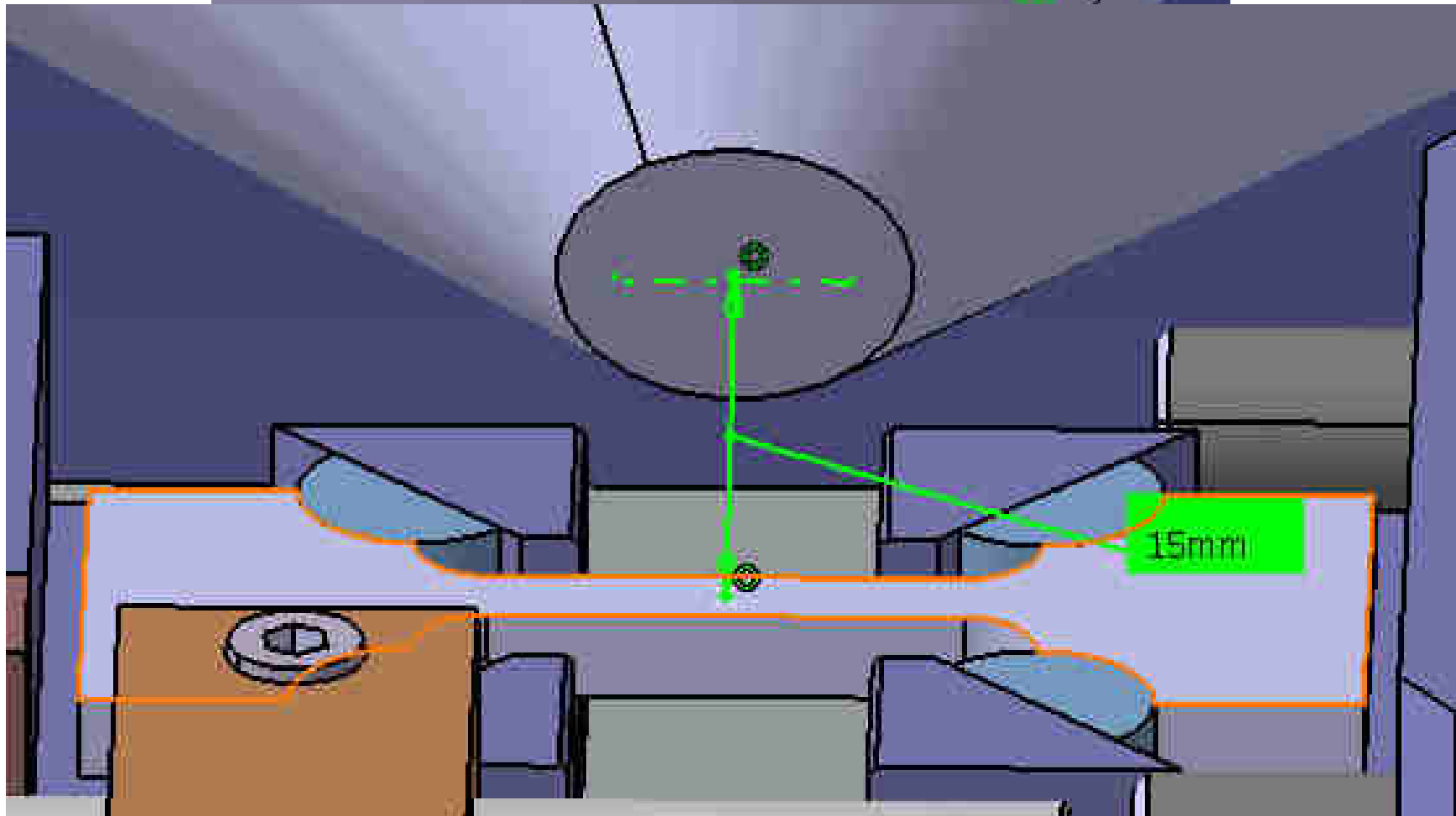
Éprouvette « standard »



Mise en place de l'éprouvette



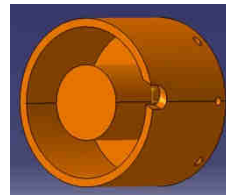
- automatique, alignement dans l'axe
- arrêt par détection de force
- absence de contrainte de serrage
- dimensions géométriques précises



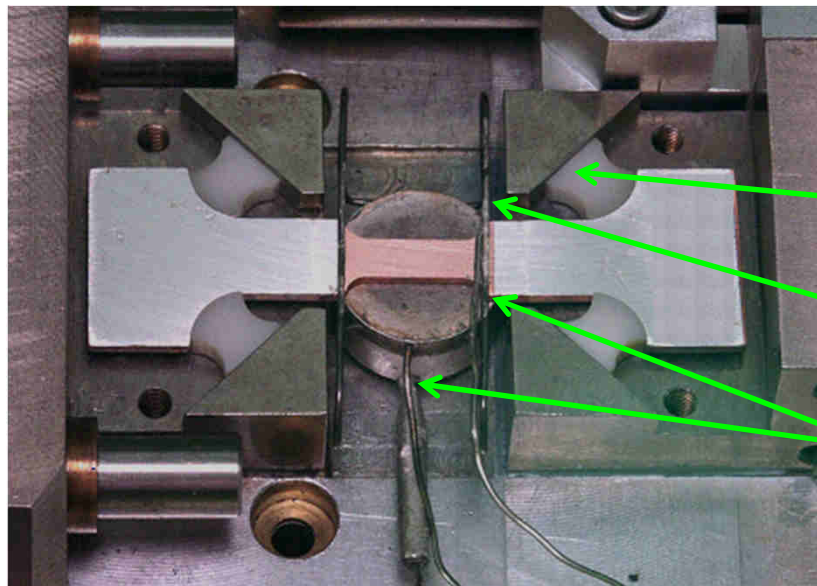
Accessoires

Essai en température

Four : élément chauffant
Thermocoax bobiné et brasé
à haute température dans
un cylindre en superalliage
base Ni



Four 50W



*Pion en zircone
(ZrO₂/MgO)*

Epingle en W

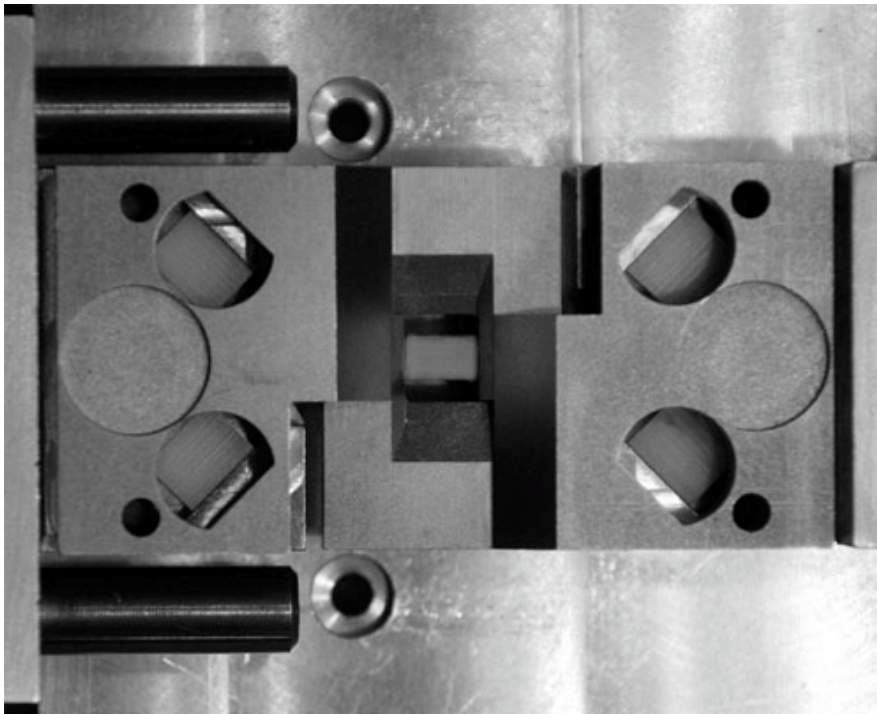
Thermocouples

Accessoires

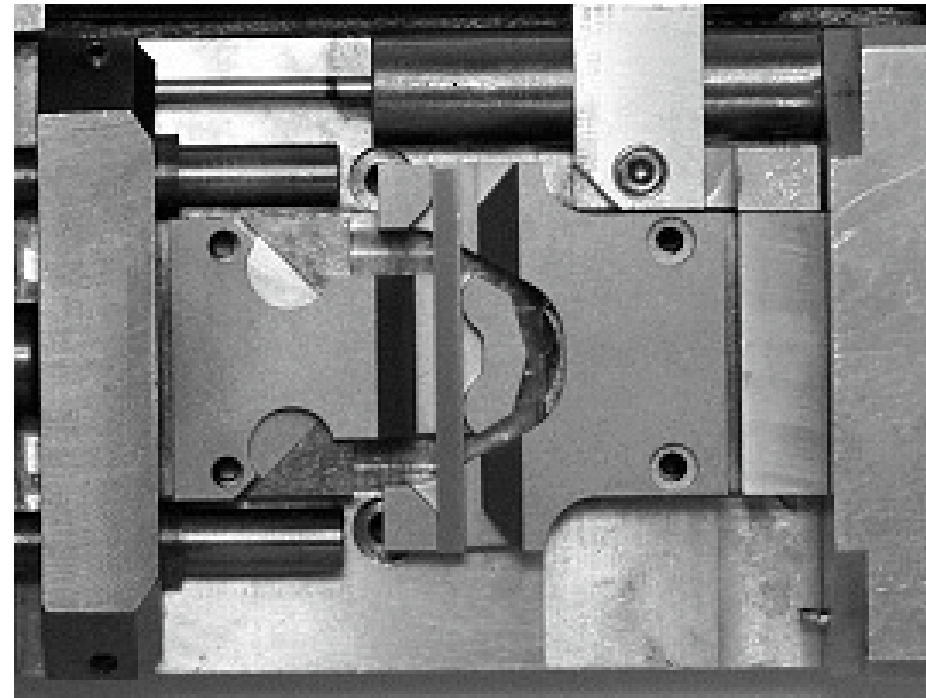
Machine de traction, compression, flexion 4 points, développée au LSPM-CNRS (1992-2012)

Capacités nominales : traction (10 kN, 800 °C), compression (7,5 kN, 600 °C), flexion (3 kN)

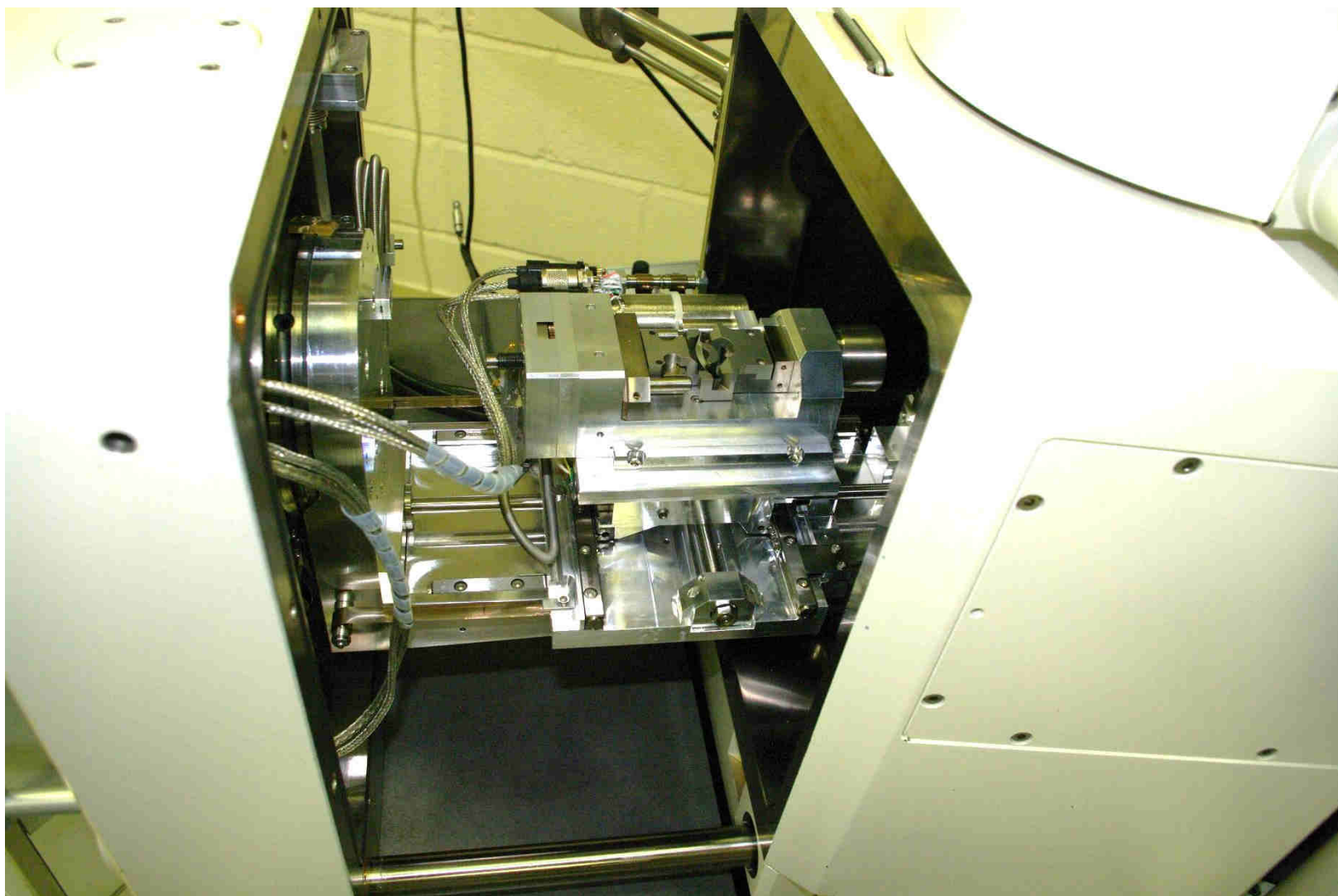
Accessoire compression



Accessoire flexion

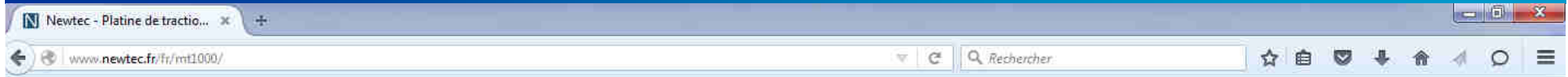








Transfer technologique LSPM/NewTec

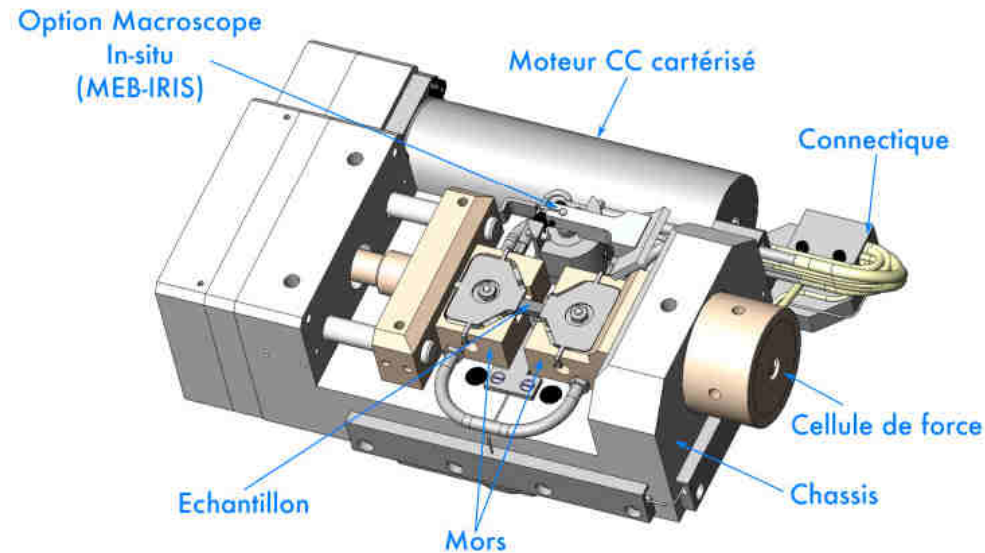


PLATINE DE TESTS MÉCANIQUES ET THERMIQUES AUTOMATISÉE POUR MEB

Partenariat avec le LSPM lab. CNRS Villeteuse

PLATINE DE TRACTION MT1000

- Configurée pour des analyses MEB à plat et tiltée (EBSD)
- Sans contrainte sur l'échantillon



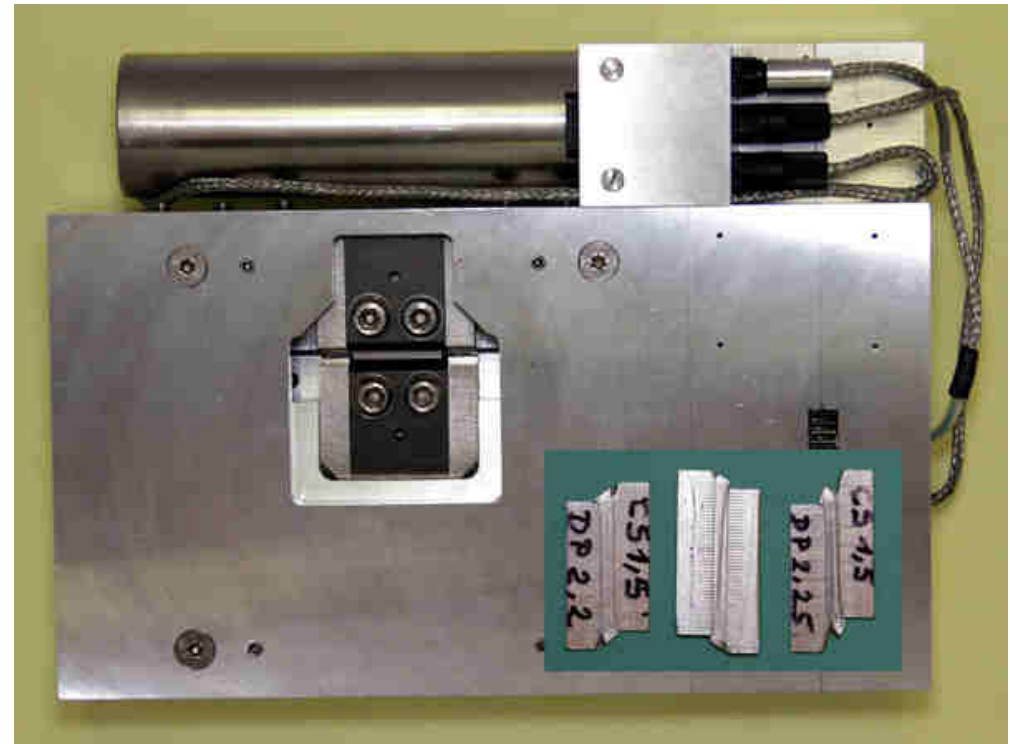
Traction: 10 kN, 800°C
Compression: 7,5 kN
Flexion: 3kN

- Double chauffage avec 3 boucles de régulation pour le contrôle de température, refroidissement eau
- Supervision NewTec e-Remora pour le contrôle du matériel (MEB, Platine et accessoires & acquisition de données depuis le MEB et détecteurs)

Machine de cisaillement

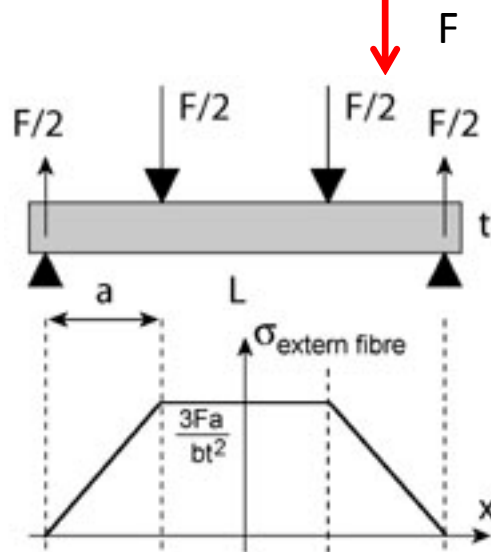
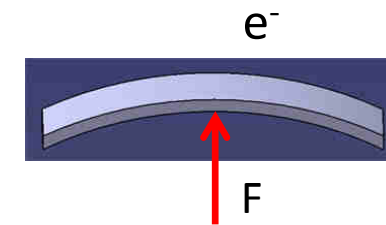
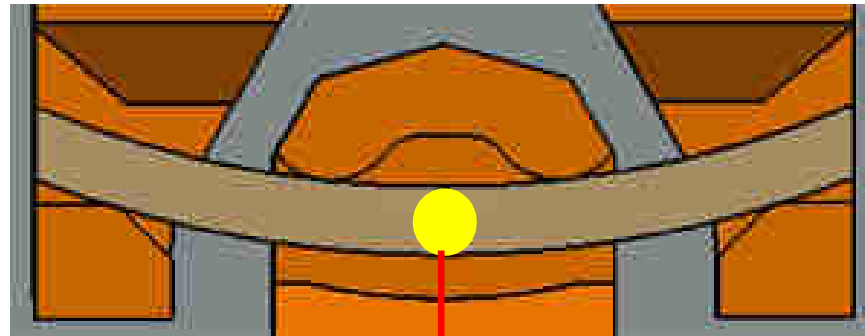
développée au LSPM-CNRS (2000)

- ✓ Charge nominale : 5 kN, cisaillement alterné
- ✓ Eprouvette serrée par des mors en carbure (WC/Co) pourvus d'une fine denture
- ✓ Dimensions maximales éprouvette : 20x10x1 (mm)
- ✓ Bâti rigide (car \exists couples générés par l'essai)
- ✓ Poids \approx 3 kg \rightarrow attention à la platine



Essai de flexion

Essai de flexion → rapport d'élanement $h/e \geq 2,5$ et rapport $L/h \approx 6$ (ex : 36x6x2,5)



- ✓ 4 points : effort tranchant nul
moment fléchissant constant au centre
flexion pure (en 1^{ère} approximation), à privilégier

Conclusions

Le cahier des charges d'une machine d'essai in situ

Les machines d'essai in situ du LSPM

Exemples d'essais

Merci de votre attention