

Ch.IV

Les actionneurs à déformation de matériaux

I) Introduction

- Ce type d'actionneur offre une grande densité d'énergie, une rigidité élevée et une excellente résolution.
- Cependant, la déformation des matériaux étant très faible par rapport à leur dimension, un système d'amplification du mouvement est nécessaire.

III) Dilatation thermique

- Si la dilatation thermique est souvent source d'imprécision dans les mécanismes, elle peut dans certains cas être utilisée avantageusement comme actionneur.
- En première approximation, on peut admettre que la dilatation est linéaire avec l'accroissement de la température:

$$\Delta\lambda = \lambda. \alpha. \Delta\theta$$

où

$\Delta\lambda$ est l'allongement

λ est la longueur nominale

α est le coefficient de dilatation thermique en K^{-1}

$\Delta\theta$ est l'élévation de température en K

- Comme cet effet est insuffisant, la déformation générée par la dilatation doit donc être amplifiée.
- Le système le plus courant est l'élément bimétal.
- Deux fines lames de métaux ayant des coefficients de dilatation thermique différents sont collés l'une contre l'autre.
- Une application classique est le disjoncteur thermique.
- Lorsque le courant dépasse un certain seuil, l'échauffement induit la déformation du bimétal et le courant est interrompu.
- Les vannes thermostatiques fonctionnent selon le même principe.

- Une micro-pince actionnée par dilatation thermique a été développée à l'institut des microsystèmes (IMS) de l'EPFL (Fig.1).
- Dans ce cas le mouvement est amplifié par effet de levier et l'énergie est apportée par un courant électrique circulant dans la pince.
- Ce type d'actionneur est relativement lent et a le défaut intrinsèque de provoquer un échauffement local élevé.

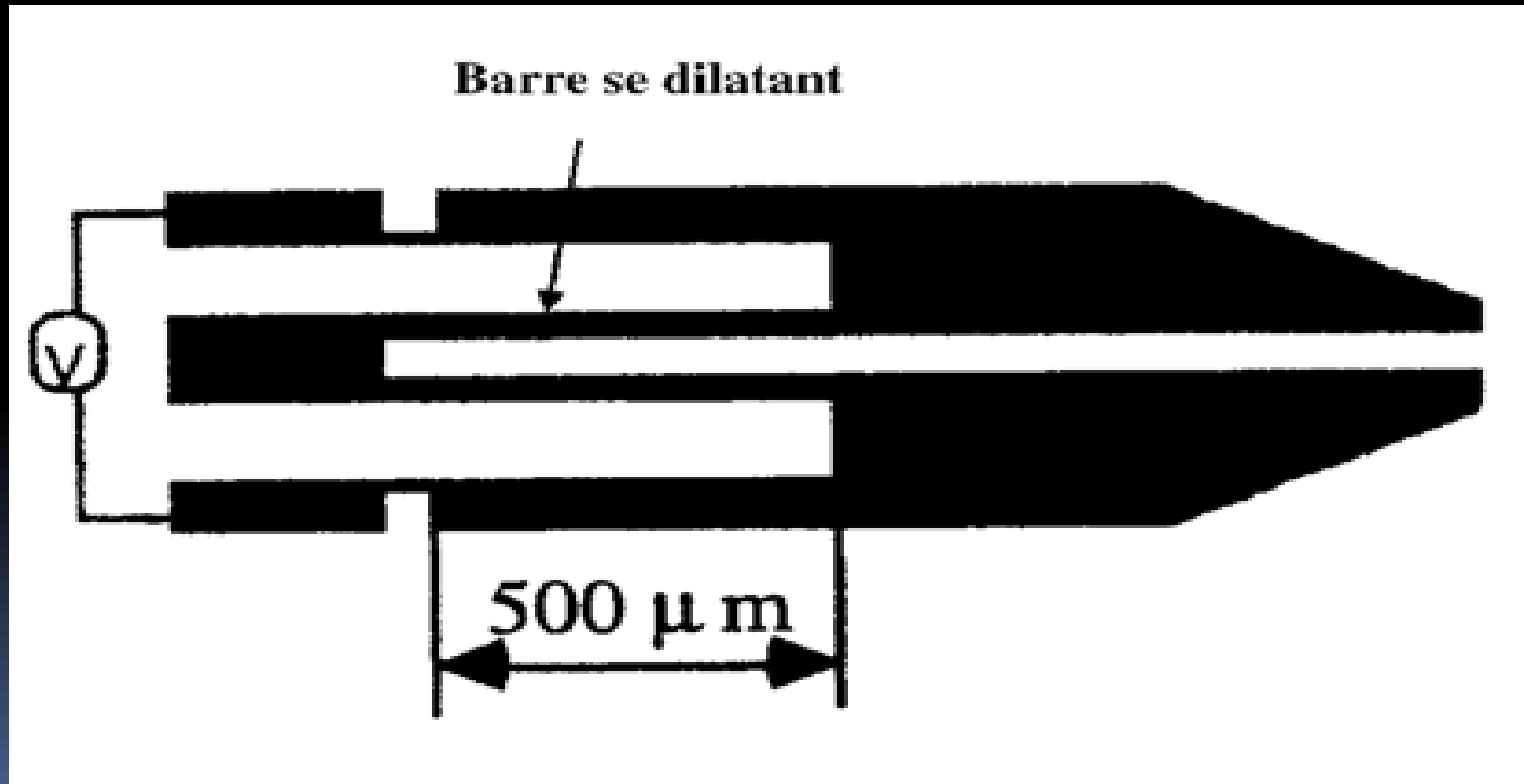


Fig.1: Micro-pince thermique de l'IMS.

IV) Polymères conducteurs

- Ces matériaux sont encore dans leur phase expérimentale.
- En particulier, le MIT (Massachusetts Institute of Technology) conduit des tests sur leurs applications comme actionneurs.
- Ils semblent particulièrement intéressants par la force qu'ils peuvent générer par unité de surface et par leur capacité de déformation.
- Un doute subsiste quant à la possibilité de travailler à haute fréquence.
- Aucune application n'est encore connue à ce jour, mais ces matériaux semblent prometteurs.

V) Electrostriction

- Les matériaux électrostrictifs sont encore peu utilisés.
- Leur comportement est très similaire aux éléments piézo-électriques.
- Comparés à ces derniers, ils présentent une hystérésis plus faible - seulement quelques pourcents, mais ils sont généralement un peu moins rigides et linéaires, spécialement aux faibles champs électriques.
- On obtient typiquement des déformations de 0.01% pour une tension de l'ordre de 100V. Avec un "stack", une même déformation est possible déjà à 10V.
- Ces matériaux s'usinent plus facilement que les céramiques piézo-électrique, ce qui les rend attractifs en termes de coûts de production.

V) Magnétostriction

- Ce phénomène est aussi très proche de l'effet piézo-électrique, mais dans ce cas, la déformation est induite par un champ magnétique.
- Cet aspect rend ce type de matériau attractif pour les petits mécanismes car l'énergie peut être transmise à l'actionneur sans qu'il y ait de contact électrique ou mécanique.
- D'un autre côté, ces matériaux sont coûteux et présentent une grande hystérésis et une grande dérive.
- L'entreprise DynaMotive Corporation propose un actionneur de type proche du "inch-worm" utilisant un matériau magnétostrictif commercialisé sous le nom de Terfenol-D.

En déplaçant un champ magnétique de façon à exploiter le coefficient de Poisson d'un barreau de Terfenol-D, ce dernier peut se déplacer dans un alésage, comme un ver dans son trou (figure 2).

Plusieurs travaux de recherche sont en cours pour l'utilisation de ces matériaux dans des micro-mécanismes.

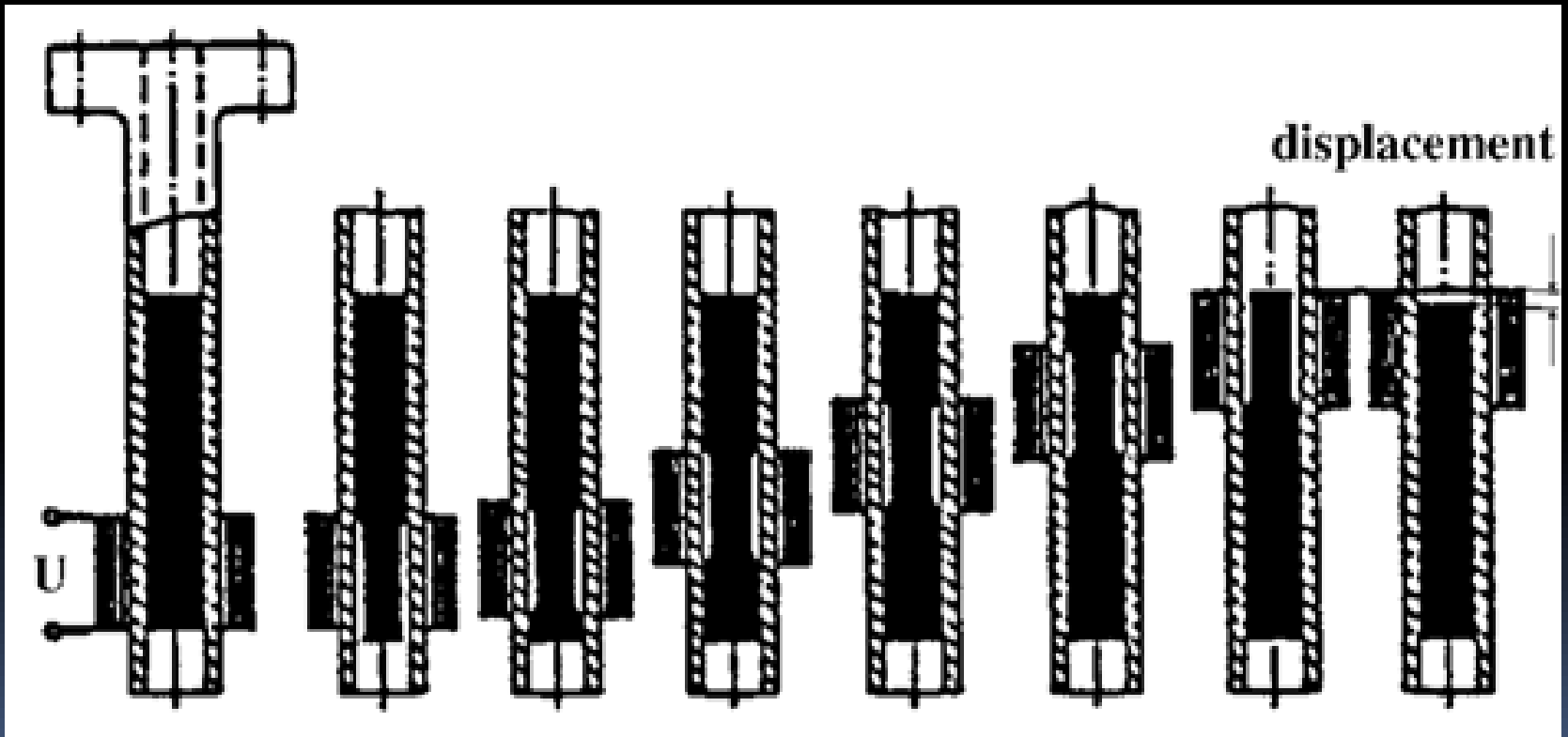


Fig.2 Principe de fonctionnement d'un actionneur au Terfenol-D.

VI) Magnétoélasticité

- Cet effet est lié au coefficient de magnétostriction.
- Le module d'élasticité d'un matériau magnétostrictif change sous l'effet d'un champ magnétique.
- Si on précontraint un tel matériau, sa longueur change avec le champ magnétique.
- Il n'y a pas encore d'application connue comme actionneurs de micro-mécanismes.

VII) Alliages à mémoire de forme (SMA)

- Certains alliages à base de nickel et de titane peuvent subir une transformation de phase réversible entre les structures martensitique (qui contient une phase métastable la plus dure qui puisse être obtenue dans les aciers trempés) et austénitique (qui contient un constituant micrographique des aciers, contenant une solution de carbone).
- Ces matériaux sont appelés alliages à mémoire de forme, ou SMA, car ils peuvent passer d'une forme mémorisée à l'autre.
- La commutation apparaît lorsque la pièce est portée à une certaine température.
- En jouant sur la géométrie on peut obtenir de très grands déplacements.

- Plusieurs micro-mécanismes utilisant des SMA ont été développés.
- En particulier, l'ISR a conçu des micro-pinces utilisant ce phénomène.
- La déformation de ces matériaux est relativement lente, car elle est liée à leur inertie thermique.
- De plus, le fait de devoir élever localement la température peut, dans certains cas, en limiter l'utilisation.
- Notons encore que ces matériaux présentent une super-élasticité qui les rend extrêmement intéressants pour des structures flexibles.

VIII) Piézo-électricité

- Parmi les nombreux matériaux présentant un effet piézo-électrique, ce sont les céramiques composées d'un mélange d'oxyde de plomb, appelées PZT, qui sont les plus utilisées pour les micro-mécanismes.
- Elles sont extrêmement rigides, ont d'excellents temps de réponses et leurs coefficients piézo-électriques sont parmi les plus élevés.
- Elles sont facilement disponibles et bon marché.
- Comme toutes les céramiques, elles peuvent être façonnées de différentes formes par frittage et découpage laser.
- Leurs principaux défauts sont une hystérésis importante (typiquement 15%), leur dérive qui fait que la déformation principale est suivie d'une déformation parasite lente (typiquement 1% de la déformation principale par décade de temps) et une grande sensibilité à la température du coefficient piézo-électrique.
- Ces défauts limitent leur précision en boucle ouverte.

IX) Conclusion

Les actionneurs électromagnétiques sont devenus indispensables dans notre vie quotidienne.

Les matériaux piézoélectriques sont à ce jour les plus couramment utilisés du fait de leur plus grande maturité technologique, d'une meilleure disponibilité et de leur coût réduit.

Les matériaux piézoélectriques, et plus particulièrement les céramiques multicouches, ont pour principal avantage de fournir des déformations importantes proportionnelles au champ appliqué, sur une bande passante en fréquences significative.

Cependant, les matériaux à magnétostriction géante semblent présenter des performances plus intéressantes que les céramiques piézoélectriques dans certaines conditions.

Les matériaux piézoélectriques et magnétostrictifs permettent d'obtenir des actionneurs très précis.