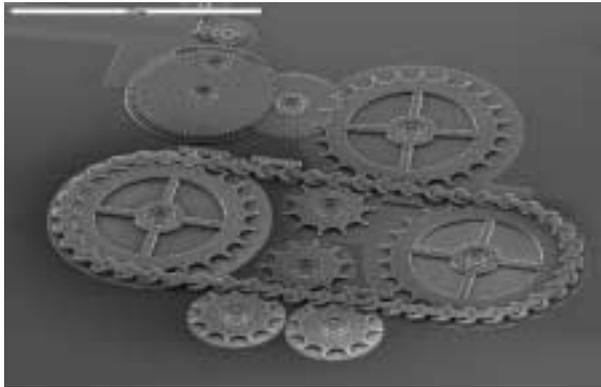


## A vos MEMS :



La plus petite transmission à micro-chaîne silicium Sandia

**Il ne faut pas confondre les nems, spécialité culinaire asiatique, avec les MEMS. Même si le second tient dans un grain de riz ! Son acronyme signifie Mechanics and Electronics Micro-Systems. C'est un ensemble comprenant un système électrique et au moins un composant mobile ou vibrant intégré sur une plate forme de silicium. Le premier MEMS regroupait sur une plaque : un capteur et son électronique de traitement du signal. Actuellement, on y trouve des éléments mécaniques tels que des engrenages, des ressorts, et des éléments 3D comme des charnières, des joints, des leviers miniaturisés, le tout tenant dans 1 cm<sup>2</sup>. Sur 130 applications, les plus souvent citées et les plus rentables économiquement, sont le déclenchement des coussins d'air des voitures, les têtes d'imprimantes jet d'encre et les micro-miroirs pour les projecteurs. La production de micro capteurs et micro-accéléromètres a fait sinon la fortune, du moins le succès d'industriels comme Analog Devices, Robert Bosch ou la finlandaise VTI. Presque la moitié des MEMS fabs sont situés en Amérique du Nord, 20% en Asie et le reste en Europe (dont 6% en France).**

Les micro systèmes intéressent plus particulièrement trois domaines : les technologies de l'information (composant RF, têtes jet d'encre, micro-miroir...), les systèmes biomédicaux et composants microfluidiques (prothèse auditive, pacemaker, micro-pompes d'injection pour la délivrance de médicaments...) et l'automobile. Cette dernière fait appel à une grande palette d'applications : capteur de pression, gyroscope, inclinomètres, accéléromètre, débitmètre, buses d'injection...

Mais d'autres secteurs de l'industrie sont à leur tour touchés par la vague micron. Notamment, les

réseaux de télécommunications haut débit (composant optique) et surtout la téléphonie mobile où le MEM RF (Radio-Fréquence apparu en 1997) remplace les composants passifs par des micro-commutateurs pour le changement de fréquences en téléphonie 3G.

Le succès grandissant des micro-systèmes vient de leur miniaturisation, leurs meilleurs performances par rapport à des composants classiques, leur faible consommation d'énergie, et surtout leur grande fiabilité dans les situations extrêmes (haute température, vibration sévère...).

Le MEMS a accouché d'autres néologismes tels que, en optique le MOEMS, pour le systèmes opto-électro-mécaniques, ou en médicale le bioMEMS. Parfois les européens utilisent également le terme générique de MST (technologie microsystèmes) pour désigner les MEMS.

Le MEMS à base de silicium n'est pas un circuit électronique bien que l'on utilise des techniques semblables à la microélectronique pour le fabriquer. A partir d'une tranche de silicium, les principales étapes de la fabrication d'un micro-système sont le dépôt d'un film (moins de 1 µm) de métal ou d'oxyde puis la lithographie (enduction d'une résine photosensible, insolation par masque, dissolution du vernis non insolé) et enfin la gravure et sous gravure. Ce micro usinage chimique ou par faisceau laser crée des structures en 3D « mobiles ». On maîtrise le gravage jusqu'à 35µm de profondeur sur 1 µm de largeur, le forage jusqu'à 25µm de diamètre. Comme pour les circuits intégrés, on trouve des capteurs à couches minces et à couches épaisses sur substrat varié et des iMEMS (i pour integrated ou MEMS intégré) contenant sur une puce des dispositifs MEMS et CMOS. Divers matériaux sont utilisés : silicium (Si), Oxyde (SiO<sub>2</sub>), Nitrure (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) ; mais aussi polymère et verre, céramique ou métal (Aluminium, Or, Chrome). Le silicium sert pour la partie électronique, les autres matières (pyrex, alumine, zircone, PZT) pour la partie mécanique. Le polymère entre dans la fabrication comme support de circuits flexibles ou à géométrie complexes. Le substrat de nitrure d'aluminium intéresse les industries fonctionnant dans des hautes températures (500°C) et fortes pressions (20 Mpa).

#### Demandez et on vous donnera

La conception de micro structure électromécaniques se démocratise avec l'emploi de logiciels de CAO 3D qui permettent la conception, la modélisation et même la simulation. Ainsi SolidWork Corp, société du groupe Dassault Systèmes a complété son logiciel de conception mécanique 3D avec des fonctionnalités spécifiques au MEMS. Audodesk avec sa version Inventor Professionnel V.8 propose une offre similaire.

Outre le micro-usinage de surface et de substrat, il existe d'autres processus de fabrication : le micro-usinage par électro-érosion (EDM) qui ressemble aux techniques de production des ate-

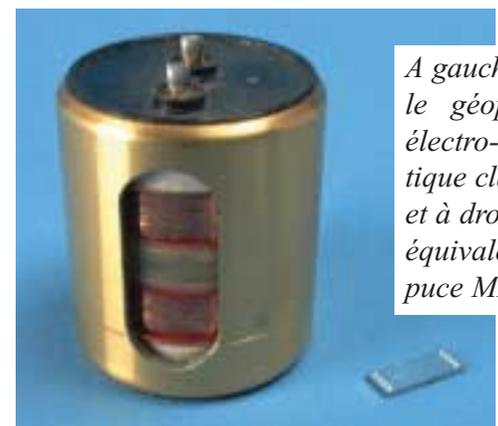
liers de construction mécanique et les technologies HARM telle que LIGA (acronyme allemand signifiant Lithographie, Galvanoformung und Abformung ou lithographie, électro-déposition par bain d'électrolytes et moulage). Quant à la californienne Microfabrica, ex MEMgen corp., elle propose avec Efab une méthode de fabrication qui génère rapidement des micro dispositifs, multicouches (plus de 5) en trois dimensions (temps de fabrication de trois semaines contre 8 à 10 chez les concurrents).

#### Capteur : son nom est légion

L'invention du capteur de pression date de 1954. En 1974, National Semiconductor en commercialise un avec régulation de température mais il faudra attendre 1990 pour sa sortie en MEMS (c'est à dire avec une pièce mécanique) pour la pression des pneus. Depuis cette date, la famille va du très petit (épaisseur entre 20 et 500 microns, surface entre 2x2 et 4x4 mm<sup>2</sup>) capteur de pression à base de détection piezo résistive qui s'utilise dans les applications médicales et dans les environnement sévères pour des températures comprises entre - 40 et 300°C (aéronautique) à la mesure de pression pour le niveau d'eau dans une colonne ou celle d'air comprimé.

Et la tribu ne cesse de s'agrandir. On y trouve des capteurs de force en acier pour la pesée sur balance ou en céramique pour les petites forces. Des capteurs de gaz réalisés en silicium micro usiné avec une couche de nano particules d'oxyde d'étain (procédé Mics et LCC) s'imposent comme nez artificiels. Une version multicapteur pour les gaz d'échappement de moteur diesel a même été développée par une université allemande. Le circuit contient neuf capteurs fonctionnant à des températures différentes. La « langue artificielle » apparaît pour des capteurs de viscosité et de polluants. Les capteurs de mesures de l'inclinaison, connus sous le terme générique de gyroscope, n'échappent pas non plus à cette miniaturisation ainsi le tangage, le roulis dans les moyens de transport ou la rotation dans les avions sont sous contrôle de MEMS. En vrac, citons d'autres capteurs de température, d'humidité, de déformation, de flux d'air ou d'empreinte digitale.

Le dernier en date, un géophone miniature, est issu d'un partenariat entre Sercel, fournisseur



A gauche le géophone électro-magnétique classique et à droite son équivalent en puce MEMS

## prêt... partez !

Nantais d'équipements d'acquisition sismique pour l'exploration pétrolière, Tronic's Microsystems, fabricant français de microsystèmes et le laboratoire CEA/Leti. C'est un capteur ultrasensible de vibrations pour la prospection pétrolière sismique de surface. Assemblé dans un boîtier céramique, sa fabrication nécessite le micro-usinage de silicium. Si les précédents modèles de géophones avaient pour avantages d'être performants et bons marchés, ils étaient en revanche lourds, volumineux (76 g pour 17 cm<sup>3</sup>) et encombrants puisque un groupe de géophones doit être relié par câbles à une électronique d'acquisition déportée. La version MEMS ne pèse que 1 gramme et occupe un volume de seulement 0.5cm<sup>3</sup>. Trois géophones MEMS montés orthogonalement peuvent être placés, avec leur électronique numérique, dans un seul boîtier pour former un DSU (Digital Sensor Unit) en réduisant de manière significative le poids et le volume de l'unité mais aussi son encombrement grâce à la suppression des câbles normalement utilisés pour relier chacun des 3 géophones à la centrale électronique d'acquisition.

Le capteur inertiel trouve aussi de nouveaux débouchés. Ainsi, Analog Devices Inc. (ADI) a sorti au début de l'année une famille d'accéléromètre (ADXL32x de type iMEMS) à 2 axes. Tout compris, il occupe un volume de 4 mm x 4 mm x 1,45 mm dans son boîtier plastique. Il ne consomme que 450 µAmps et est alimenté par du 2,7v. Il se destine au téléphone mobile et au PDA (en réponse au mouvement naturel et gestuelle des utilisateurs), au disque dur des portables pour la protection des chocs et aux lecteurs CD et DVD des voitures ou aux machines à laver pour la compensation des vibrations. En effet, son faible

coût : 2,4 \$ pour 10 000 pièces permet de l'intégrer dans des produits grands publics. ADI prévoit déjà de descendre la taille de ce composant à 2 x 2 x 0,9 mm.



Composant géophone MEMS packagé sous vide

### M comme Mars

Fondée en 1961, la Suisse Maxon Motor développe et fabrique des systèmes d'entraînements de haute précision. Elle est représentée en France par MDP. Elle a, notamment, équipé de 25 de ses micromoteurs le robot Mars Rover de la NASA. L'un de ses derniers micro-systèmes est l'EC 6,

un moteur plat à commutation électronique de 0,03 watt. Son diamètre n'est que de 6 mm pour un poids de 0,32 g. La version de ce moteur à rotor extérieur en 4 mm est déjà en cours.



Un des derniers micro-moteurs Maxon Motor

### Le chaînon ...pas manquant

Avec sa micro-chaîne, Sandia National Laboratories montre un autre aspect mécanique des MEMS. Une seule micro-chaîne pouvant faire tourner plusieurs axes d'entraînement, il n'est plus nécessaire de placer de multiples micro-moteurs électromécaniques (MEMS) à proximité. Habituellement, on a besoin d'une alimentation séparée pour alimenter chaque moteur MEMS, et "tous ces équipements prennent beaucoup de place sur les circuits", déclare le technicien Ed Vernon de Sandia, qui a obtenu un brevet pour cette micro-chaîne en silicone. La micro-chaîne permet d'entraîner un système MEMS à partir d'un seul moteur situé à distance, ce qui, à nouveau, économise une place considérable sur les circuits supportant le MEMS. Selon Ed Vernon, la micro-chaîne peut entraîner des obturateurs de micro-caméra, comme le font les chaînes normales par ailleurs. Elle peut aussi être utilisée pour le minutage ou l'encodage. Les systèmes à chaîne, contrairement à ceux à impulsions, n'imposent pas de mouvements de va et vient, mais assurent une transmission qui peut être continue ou intermittente.

Bien que les micro-courroies en silicone soient résistantes et souples, elles sont extensibles et responsables de torsions sur les engrenages qui ne sont pas alignés parfaitement. En revanche, chaque maillon d'une micro-chaîne peut pivoter



La distance entre les maillons de cette chaîne n'est que de 50 µm (en comparaison, le diamètre d'un cheveu est de 70 µm).

d'un angle de 52° d'un côté ou de l'autre par rapport au maillon précédent, sans créer de contrainte sur la structure de support. Avec une telle ouverture angulaire, les concepteurs de systèmes MEMS sont donc plus libres pour positionner de multiples équipements. La plus longue portée de support d'engrenages est de 500 microns. Pour des portées plus grandes, il faut placer un tendeur sur la micro-chaîne.

### Et de quoi de...MEMS sera fait

La liaison en réseau de MEMS et leur interconnexion à l'informatique de l'entreprise (télé-maintenance) progressent vite. Aussi, certains s'intéressent à la sécurisation de cet ensemble afin d'empêcher l'intrusion de malveillants. C'est notamment le cas à Valence et Grenoble où IUT et laboratoires travaillent en partenariat avec le Leti du CEA pour la mise au point de capteur économique intégrant dans leur fabrication des sécurités.

L'autre axe de recherche est énergétique. Les universités et les laboratoires s'attaquent à la miniaturisation de l'alimentation des MEMS. Des chercheurs d'une université américaine façonnent une micropile basée sur la radioactivité du nickel-63. D'autres s'intéressent à des batteries à géométrie 3D où l'empilage d'électrodes est remplacé par des "microbagues" organisées sur un réseau 3D. Des chercheurs de l'UCLA élaborent une batterie à base de lithium de 5mm. Pour fabriquer le réseau, ils utilisent des puces de silicium comme moules. Le matériau pour les électrodes est coulé sur ces moules, durci et le silicium est finalement retiré par etching (gravure). Enfin, on étudie des micropiles à base de nanotubes.

M. Vézian

## Quelques chiffres prévisionnels (2005 en M€)

Accéléromètres	600	Micro moteurs	500	De 1994 à 2003, Bosh a vendu 300 millions de capteurs MEMS dont 150 millions d'accéléromètres (1 <sup>ère</sup> commercialisation en 97). Quant à SensoNor, elle a produit 35 millions de capteurs pour airbag.
Gyroscopes	1100	Inclinomètres	75	
Capteurs de pression	2000	Buses injection	41	
Têtes jet d'encre	17000	Nez électronique	6	
MEMS optiques	1700	Micro-relais	26	
Labs-on-chip	2400	Source : Nexus		

### NOUVEAU CATALOGUE «CONNECTEURS» ÉDITION 2004



Dans ce catalogue vous trouverez tous les connecteurs courants, à montage CMS, simple et double rangées, au pas de 2,54-2-1,27 mm droits ou coudés etc. Des versions spéciales sont réalisables sur demande.

**DICE91**électronique

Tél : 01 64 49 62 00 / Fax : 01 64 49 07 37  
e-mail : dice91@wanadoo.fr