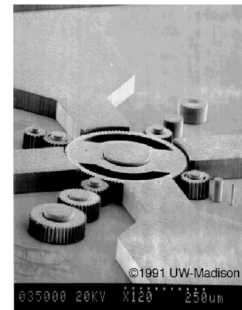
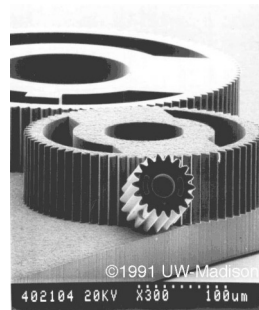


Introduction aux microsystème (MEMS)



BRIXI NIGASSA Mohammed El Amine

Table des matières



Objectifs	3
Introduction	4
I - Objectifs intermédiaires du chapitre et pré-requis nécessaires	5
1. Objectifs intermédiaires du chapitre et pré-requis nécessaires	5
II - Les microsystemes (MEMS)	6
1. Pré-test et activité pédagogique : Qu'est-ce qu'un microsysteme (MEMS) ?	6
2. Qu'est-ce qu'un microsystemes ?	7
3. Historique	8
4. Intérêt des microsystemes (MEMS)	11
4.1. Miniaturisation	12
4.2. Multiplicité	12
4.3. Micro-électronique	13
5. Avantages et inconvénients des microsystemes	13
5.1. Avantage des microsystemes	13
5.2. Inconvénient des microsystemes	13
6. Classification des microsystemes	13
7. Domaine d'application des microsystemes	14
7.1. Applications typiques.	15
8. Évolution du marché des microsystemes	24
III - Exercice	27
IV - Exercice	28
V - Exercice	29
Conclusion	30
Bibliographie	31
Webographie	32

Objectifs

L'objectif global de ce cours consiste à fournir aux étudiants une les notions de base sur les microtechnologies et plus spécialement le domaine des microsystèmes. les thèmes abordés dans ce chapitre sont :

- Introduire les microsystèmes.
- Pour quelles raisons les chercheurs se sont tournés vers de tels dispositifs.
- Domaines couverts par les microsystèmes et leur évolution dans le temps.

Introduction



Le marché des microsystèmes ou Micro Electro Mechanical System (MEMS) connaît depuis plusieurs années un essor commercial important et la tendance n'est pas prête de s'inverser. Portés par des applications de plus en plus diversifiées, innovantes et originales, les microsystèmes prennent une place importante dans n'importe quel objet du quotidien. Il y a de ça quelques années, l'utilisation de ce type de dispositif était restreinte et limitée à quelques applications telles que l'airbag des voitures, capteurs de pression et les miroirs déformables. De nos jours, le champ d'action des microsystèmes s'étend sur un vaste panel d'applications touchant ainsi à plusieurs domaines et applications tels que le domaine médical (micro-pompes, micro-fluidique, laboratoires sur puce,), le domaine des télécommunications (interrupteurs RF, résonateurs RF, filtres RF. . .), les têtes d'impressions des imprimantes, récupération d'énergie, objets connectés, etc. . . C'est grâce à leur capacité à intégrer plusieurs fonctions sur une même puce que les microsystèmes ont connu un tel essor, ces derniers peuvent en effet comporter sur une même puce une chaîne allant de son électronique en passant par toute une chaîne de traitement de signal jusqu'au micro-capteur ou au micro-actionneur.

Ce polycopié de cours regroupe un certain nombre d'énoncé autour des microsystèmes. Ce cours a été dispensé à la faculté de technologie de l'université de Tlemcen durant les deux dernières années pour Master 2 instrumentation Électronique. En premier, nous donnons un historique et un aperçu sur le marché des microsystèmes. Nous verrons ensuite les avantages et les inconvénients ainsi que l'intérêt grandissant des microsystèmes année après année. Nous donnerons aussi quelques domaines d'application afin d'appuyer et renforcer cet engouement envers les microsystèmes.

Malgré que les laboratoires et les universités Algériennes disposent de peu de moyens technologiques (type salles blanches et filière de réalisation), ce polycopié se veut une introduction aux notions de base en micro technologie. Cela permettra à l'étudiant d'aborder la conception d'un microsystème en choisissant les matériaux les plus adaptés et d'optimiser son design. Il est à signaler que plusieurs fonderies salles blanches (fabricants spécialistes en micro-technologie) se mettent à la disposition des universités et laboratoires pour la fabrication des microsystèmes comme c'est le cas du programme STIMESI en Europe.

Objectifs intermédiaires du chapitre et pré-requis nécessaires



1. Objectifs intermédiaires du chapitre et pré-requis nécessaires

Les objectifs intermédiaires de ce chapitre sont présentés comme suit :

- Définir qu'est-ce qu'un microsystemes. Il s'agit d'une connaissance à acquérir (savoir).
- Mettre en évidence la plage dimensionnelle des microsystemes. Il s'agit d'une connaissance à acquérir (savoir).
- Établir un historique des microsystemes. Il s'agit de voir quelles sont les processus qui ont menés à la création des microsystemes (savoir).
- Mettre en pratique les connaissances générales des étudiants dans le domaine des technologies. Il s'agit de faire intervenir les étudiants pour faire ressortir les applications les plus utilisées dans notre vie de tous les jours (savoir-faire).

L'acquisition de pré-requis pour ce chapitre regroupe les concepts suivants:

- Les microsystemes.
- Applications visées.

Les microsystèmes (MEMS)



1. Pré-test et activité pédagogique : Qu'est-ce qu'un microsystème (MEMS) ?

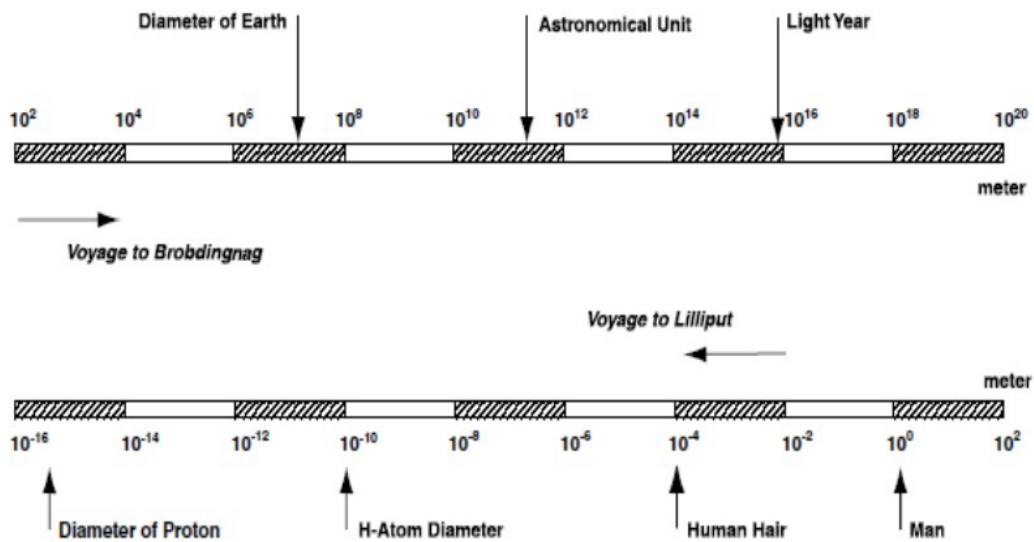
Avant de commencer ce cours, nous allons établir une animations ayant pour but d'introduire les notions de bases sur les microsystèmes.

Dans cette activité, il s'agira alors de :

- Situer les microsystèmes en terme de dimensions par rapport aux dimensions du monde réel.
- Donner quelques exemples de comparaison avec le monde du vivant en terme de dimensions.
- Enfin, donner une définition claire de la plage dimensionnelle des microsystèmes.

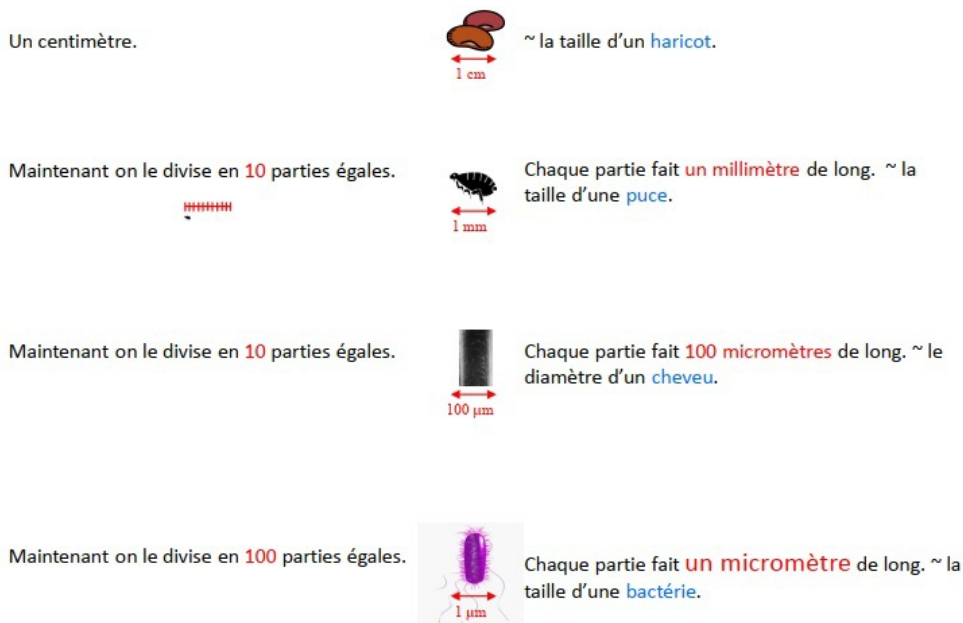
On notera par ailleurs que cette activité est interactive et vise à étoffer les exemples citées ici par le biais d'échange avec les étudiants.

Tous d'abord c'est quoi une grande dimension et c'est quoi une petite dimension ?



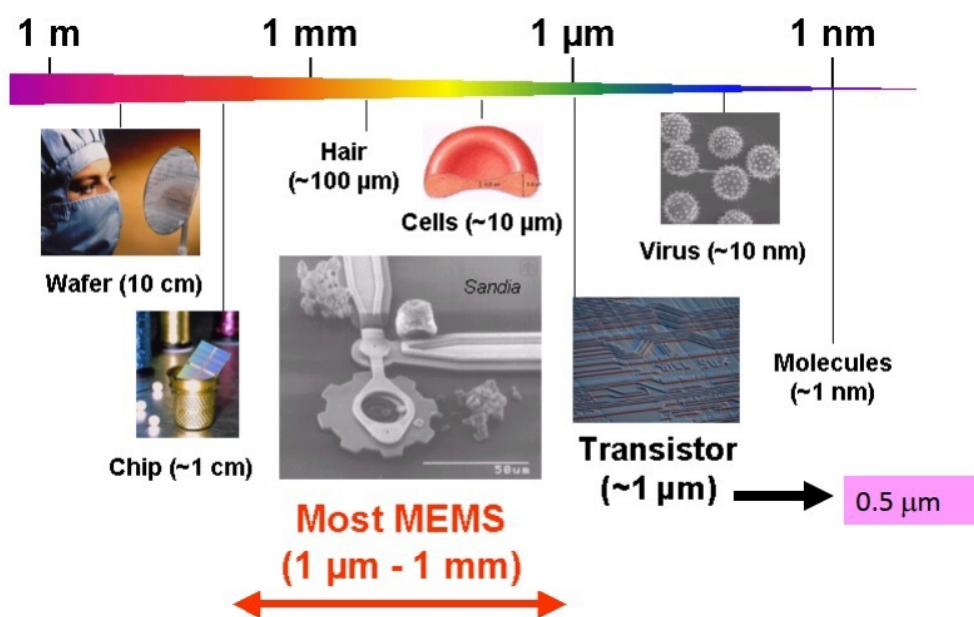
Voyage vers l'infiniment grand et voyage vers l'infiniment petit.

Le micron c'est grand comment ?



1 μm c'est petit comment ?

Les microsystemes c'est quoi ?



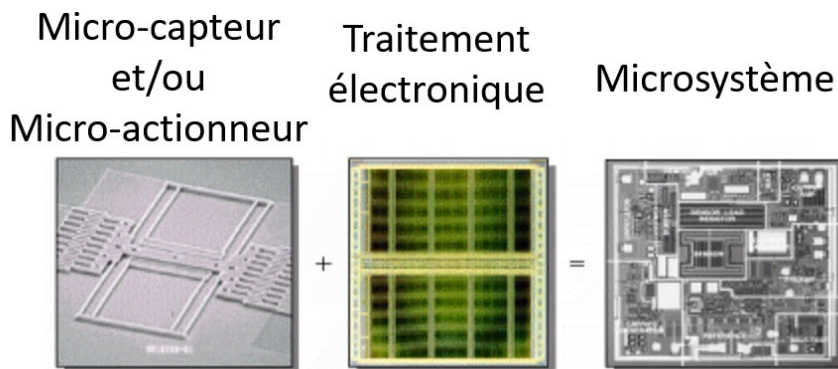
Les microsystemes c'est quoi ?

2. Qu'est-ce qu'un microsystemes ?

Définition : Qu'est-ce qu'un microsystemes ?

- Un système miniature intelligent contenant : capteur, module de traitement de l'information et/ou actionneur.
- Un système miniature intelligent contenant des très petits composants et effectuant une opération intéressante et/ou utile.
- Un dispositif dont l'une des dimensions est de l'ordre du micron.

- La technologie des micro systèmes est habituellement appelée micro-ingénierie en Angleterre, technologie des micro-systèmes en Europe, « micro-machining » au Japon et MEMS aux USA.

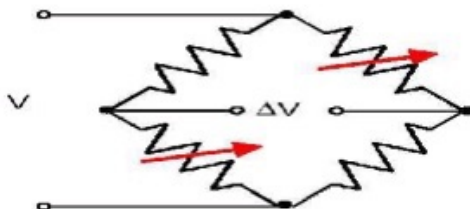


Définition d'un microsystème (MEMS)

3. Historique

Une chronologie a permis l'éclosion des microsystèmes, on peut citer les événements suivants :

- 1750 : Le premier moteur électrostatique (Franklin, Gordon)
- 1824 : La découverte du Silicium (Berzelius)
- 1939 : Première jonction (Schottky)
- 1947 : Le premier transistor en Ge (Shockley)
- 1949 : Le Silicium mono cristallin
- 1954 : La découverte de la forte piézorésistivité du Silicium et du Germanium conduit au développement des jauges de forces de forte sensibilité basés sur le pont de Wheatstone. «Smith C.S. « Piezoresistive effect in Germanium and Silicon » Physical Review, 94.1 (1954) »



Jauges piézorésistives (Pont de Wheatstone)

- 1955 : Commercialisation de ces jauges.
- En 1959 lors d'une présentation durant le meeting annuel de la société américaine de physique, Richard Feynman ((1918-1988) a dit :« *There 's Plenty of Room at the Bottom* »

"There's plenty of room at the bottom"
Lecture given by Dr. Richard Feynman in 1959



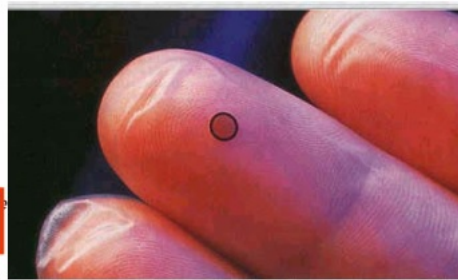
What I want to talk about is the problem of manipulating and controlling things on a small scale.

It is a staggeringly small world that is below. In the year 2000, when they look back at this age, they will wonder why it was not until the year 1960 that anybody began seriously to move in this direction.

Why cannot we write the entire 24 volumes of the Encyclopedia Britannica on the head of a pin?

<http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>

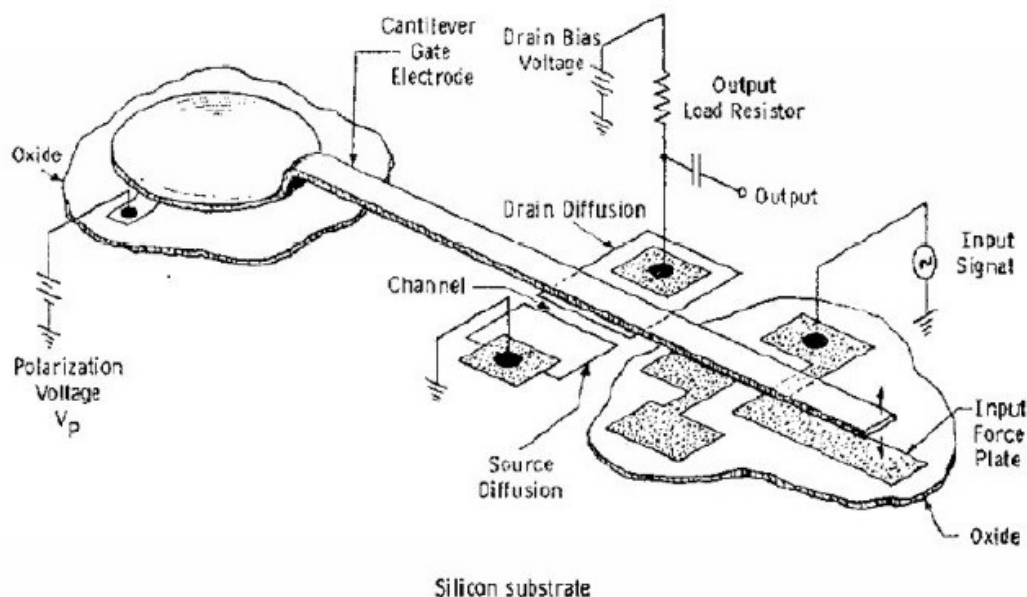
Aujourd'hui



Toute l'Encyclopédie « Britannica » tient sur ce composant constitué de milliard de nano perforations.

There is plenty of room at the bottom (Richard Feynmann).

- 1960 : la démonstration du premier capteur de pression en Si (Kulite)
- 1967 : la découverte du micro usinage en surface (H. Nathanson)
- En 1969 Westinghouse crée le premier « *FET à grille résonante* ». Curiosité mécanique basé sur des nouvelles techniques de fabrication. Le premier dispositif microsystèmes était une structure MOS à grille résonante en or.



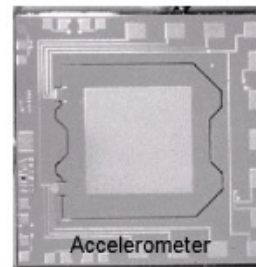
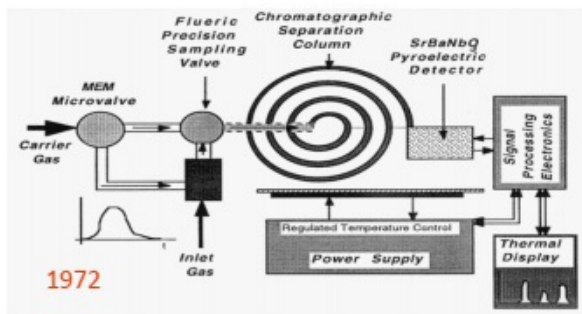
Silicon substrate

FET à grille résonante

- En 1970 apparaissent les premiers accéléromètres sur silicium micro usiné en volume (Kulite).
 - 1974 : Le mot « nanotechnologie » est inventé.
 - 1977 : le premier capteur de pression capacitif (Stanford), IBM-HP : Tête d'impression microusinée
 - En 1980 les premières expériences en silicium poly cristallin micro-usiné en surface (réalisation des premiers micro miroirs)
1. Premiers actionneurs électrostatiques en peigne (Muller)
 2. Les premiers actionneurs simples - piézorésistifs, capacitifs, électrostatiques...
 3. Des méthodes de micro usinage améliorées font progresser la réalisation des micro-capteurs

- 4. Isolation thermique et électrique entre les couches avec des structures suspendues
- 5. Usinage par laser, UV profondes, alliages à mémoire de formes, matériaux magnétiques...

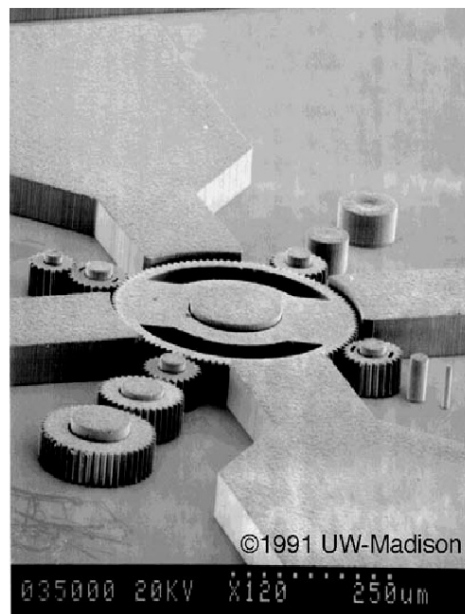
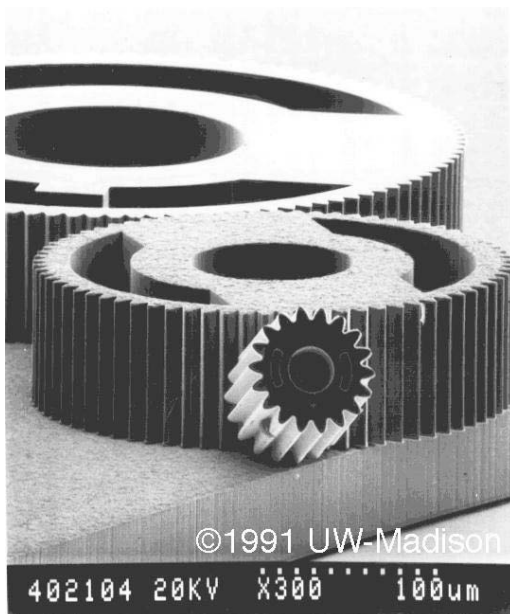
- 1981 : Le microscope à effet tunnel est inventé.
- En 1982 le premier capteur de tension sanguine (Honeywell/Foxboro).
- En 1984 les premiers microsystèmes en polysilicium.



Chromatographe de gaz miniature

Chromatographe de gaz miniature (à gauche), accéléromètre (à droite).

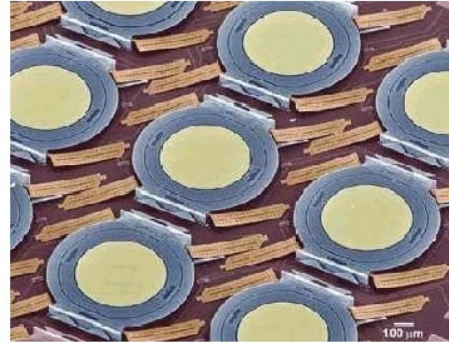
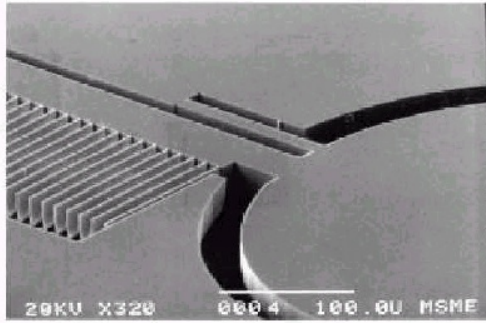
- En 1982 le premier capteur de tension sanguine (Honeywell/Foxboro)
 - En 1984 les premiers microsystèmes en polysilicium
 - 1986 : Le microscope à force atomique est inventé.
 - En 1988 le premier micro moteur électrostatique (Muller, UC-Berkeley)
- Apparition des Premiers actionneurs électrostatiques (Muller)
- 1990 : aux USA des agences gouvernementales soutient de plus en plus des programmes microsystèmes.
 - 1991 : Des nano-tubes de carbone sont découvert.



Des engrenages de précision (à gauche), Un micro moteur magnétique (à droite).

- En 1992 le premier modulateur de la lumière (Solgaard).
- Depuis 1992 des méthodes de fabrication et d'actionnement évoluées conduisent à des systèmes de plus en plus avancés.
- En 1993 le premier accéléromètre triaxial micro usiné en surface est vendu (Analog Devices, ADXL50).

- 1996 Introduction du procès DRIE (gravure profonde) - Bosch .
- 1995 Apparition des BioMEMS.
- 2000 Commutateurs optiques.



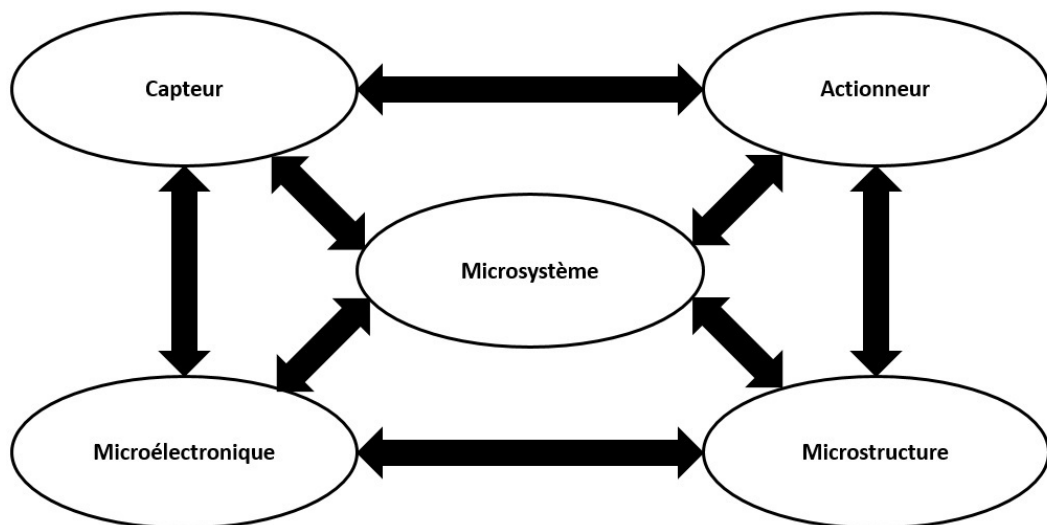
Micro miroir réalisé par une gravure profonde Bosch (à gauche), commutateur optique (à droite).

- 2022 : La limite physique de la technologie Silicium ??.

Donc, un nouveau concept est né :

- MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) aux États-Unis,
- Micromachines au Japon
- MST (Microsystèmes Technologies) en Europe.

Ce concept est surtout inspiré de la réalisation en microélectronique, la mécanique des structures et l'électronique de transduction (capteur ou actionneur) comme le montre la figure ci-dessous.



Base de conception des microsystèmes

4. Intérêt des microsystèmes (MEMS)

La problématique des microsystèmes peut alors se résumer dans les objectifs :

- Réduction du coût ;
- Compatibilité avec les circuits électroniques ;
- Miniaturisation.

Les techniques de la microélectronique apportent une réponse basée sur la nature collective des procédés (d'où les faibles coûts), la réduction des dimensions et les possibilités de réalisation sur un même support du microsystème et de son électronique. Il faut souligner que l'aspect fédérateur de ces techniques est essentiel ; du fait de leur grande diversité et des marchés encore faibles, les microsystèmes ne peuvent justifier un investissement de production spécifique qui ne pourrait être amorti. Il est fondamental, et cela au détriment des performances, de s'accommoder des moyens de production déjà maîtrisés.

4.1. Miniaturisation

Le principe de base est la réalisation de dispositifs hautement miniaturisés: Dispositif de taille micrométrique qui réalise une fonction de capteur ou d'actionneur dans un domaine d'énergie non électrique (thermique, mécanique, chimique, optique, magnétique), éventuellement incluant une microélectronique d'interface de conditionnement des signaux électriques.

4.1.1. Conséquence de la miniaturisation

Le passage d'un système macroscopique à un système miniature a pour conséquence de changer la technologie de fabrication, les propriétés physiques et de surface.

a) La technologie de fabrication

D'une technologie de fabrication d'objets discrets en trois dimensions, on passe à une technologie de fabrication par duplication planaire. Le niveau de complexité des formes qui peuvent être intégrées dans ce plan est considérablement réduit et dépend souvent du matériau gravé. Avec du silicium, les formes gravées dépendront ainsi de l'orientation du cristal et de la technique de gravure.

b) Les propriétés physiques

Ces propriétés physiques sont dépendantes de la méthode de dépôt des matériaux ainsi que des températures subies au cours de la fabrication. À titre d'exemple, la dureté d'un métal sera généralement de plus en plus importante suivant que le métal est électrolysé, qu'il est massif ou qu'il est pulvérisé. Cette même dureté dépendra aussi des différents recuits en température qu'aura subie le matériau lors des autres étapes de fabrication.

c) Les phénomènes de surface

Le microsystème étant par nature un objet planaire, les phénomènes de surface s'imposent au détriment des effets de volume : emmagasiner de la chaleur est un exercice impossible car la dissipation de chaleur est excellente. Les tensions de surface deviennent dominantes alors que l'importance des phénomènes inertiels est considérablement réduite. Certains microsystèmes capables de supporter des facteurs de charge de 100 g seront ainsi détruits au contact d'une simple goutte d'eau.

4.2. Multiplicité

Fabriquer un microsystème à grande échelle impose indéniablement une réduction des coûts de production. Ceci est possible grâce à une :

- Fabrication collective
- Matrice de transducteurs

Ainsi, plusieurs microsystemes de même ou différentes natures peuvent être fabriqués sur un même wafer. Ceci permet de réduire considérablement les coûts des microsystemes et par conséquent accroître l'accessibilité de tels dispositifs aux partenaires économiques des fabricants de microsystemes mais aussi aux consommateurs lambda.

4.3. Micro-électronique

L'intérêt de faire appel aux techniques utilisées dans la microélectronique pour réaliser les microsystemes peuvent se résumer sur les deux points suivants :

- Intégration monolithique
- Technique hybride et encapsulation

Les techniques de la microélectronique apportent une réponse basée sur la nature collective des procédés (d'où les faibles coûts), la réduction des dimensions et les possibilités de réalisation sur un même support du microsysteme et de son électronique. Il faut souligner que l'aspect fédérateur de ces techniques est essentiel; du fait de leur grande diversité et des marchés encore faibles, les microsystemes ne peuvent justifier un investissement de production spécifique qui ne pourrait être amorti. Il est fondamental, et cela au détriment des performances, de s'accommoder des moyens de production déjà maîtrisés à savoir les techniques utilisées en microélectronique.

5. Avantages et inconvénients des microsystemes

Les avantages et inconvénient des microsystemes peuvent se résumer dans les points qui suivent :

5.1. Avantage des microsystemes

- Réduction de la taille et du poids
- Réduction de la consommation
- Amélioration des performances (vitesse, sensibilité, déflexion, temps de réponse...)
- Production collective
- Réduction du coût
- Nouvelles propriétés et fonctionnalités
- Nouveaux défis scientifiques ...

5.2. Inconvénient des microsystemes

Manipulation délicate dans certains microsystemes

Complexité de plus en plus accrue

6. Classification des microsystemes

Plusieurs variantes de classements sont utilisées :

- Suivant la grandeur physique à mesurer;
- Suivant le système de traitement de l'information;
- Suivant le principe physique exploité;
- Suivant l'application;
- Suivant la complexité;

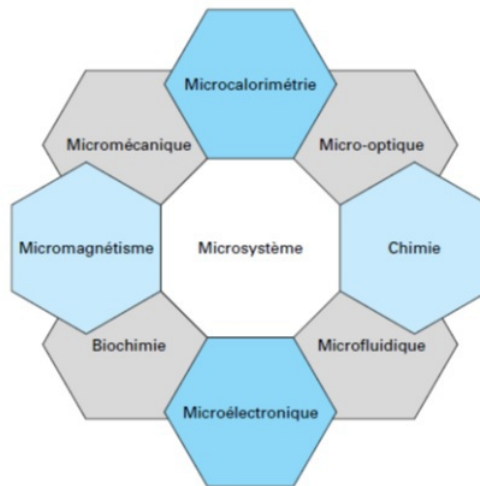
- Suivant l'énergie du signal considéré.

7. Domaine d'application des microsystèmes

Contrairement à la microélectronique, les applications couvertes par les dispositifs microsystèmes telles que :

- Micro-capteurs.
- Micro-actionneurs.
- Bio-MEMS.
- MEMS RF.
- MEMS Optiques.
- Micro-fluidique
- MEMS acoustiques.
- Micro-TAS (chimiques).
- MEMS Magnétiques
- Lab On Chip.

La figure suivante peut résumer ces différents domaines d'applications.



Les domaines d'application des MEMS

Les microsystèmes sont présents dans de nombreux domaines et outils que nous utilisons dans notre vie de tous les jours. le tableau qui suit permet de donner des exemples non exhaustifs de quelques domaines d'applications.

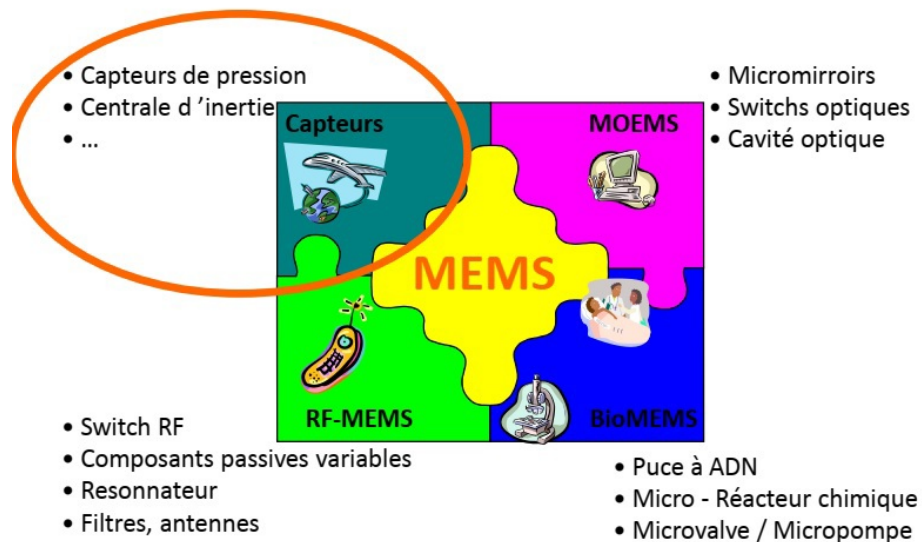
Domaines d'application	Applications
Automobile	Air-bag, détection crevaison, syst. Anticollision. Pression d'injection, antipatinage, suspensions actives. Climatisation, antivols, etc ...
Médical	Administration de substances. Accéléromètre pour pacemakers, Monitoring (capteur de gaz du sang etc ...). Analyse biologiques. Chirurgie à invasion minimale.
Aéronautique et Défense	Instrumentation : gyromètre, altimètre etc ... Systèmes de guidage, missiles et munitions

Electro / Domotique	Sécurité intrusion, fuite de gaz, capteur d'ambiance etc
Environnement	Capteurs physico-chimiques, contrôle des eaux etc
Instrumentation	Mesures de grandeurs physiques :Ph, Nez eln, humidité, maintenance préventive.
Équipement multimédia	Cartouches jets d'encre, mobiles, stabilisation de caméscope etc ...

Principaux domaine d'application des microsystèmes

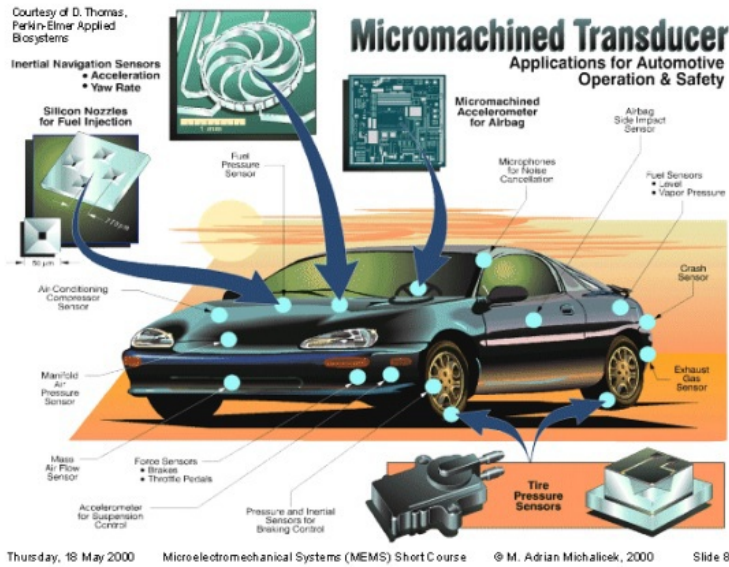
7.1. Applications typiques.

Dans cette partie nous allons citer quelques applications typiques afin de donner des exemples concrets dans notre vie quotidienne.



Capteurs

- Environnement automobile :



Airbag
Pneumatique
Anti-collision
Gestion boîte
Injection
....

Programme ESP (Electronic Stability Programm)

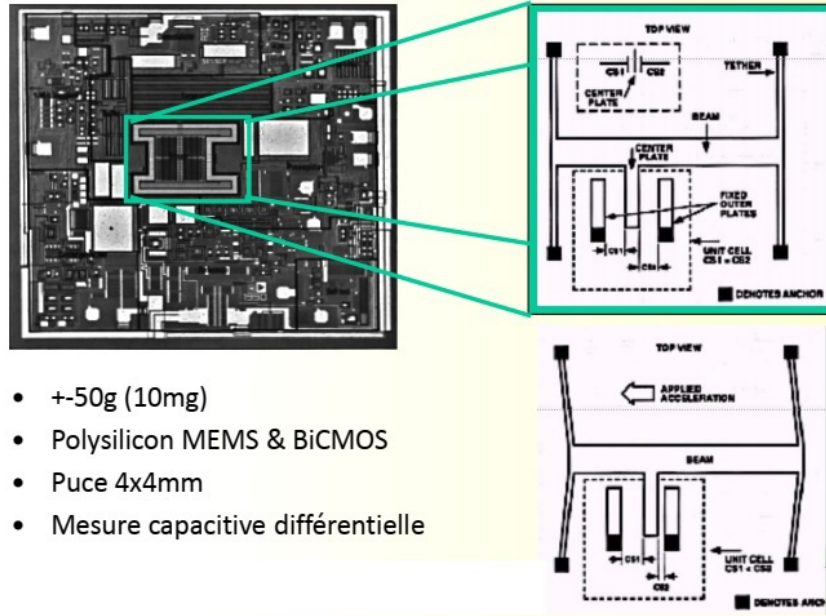
Exemples de capteurs dans les voitures.

Dans les figures qui suivent, on donne 3 exemples de capteurs présents dans les voitures.

X-ducer sensor

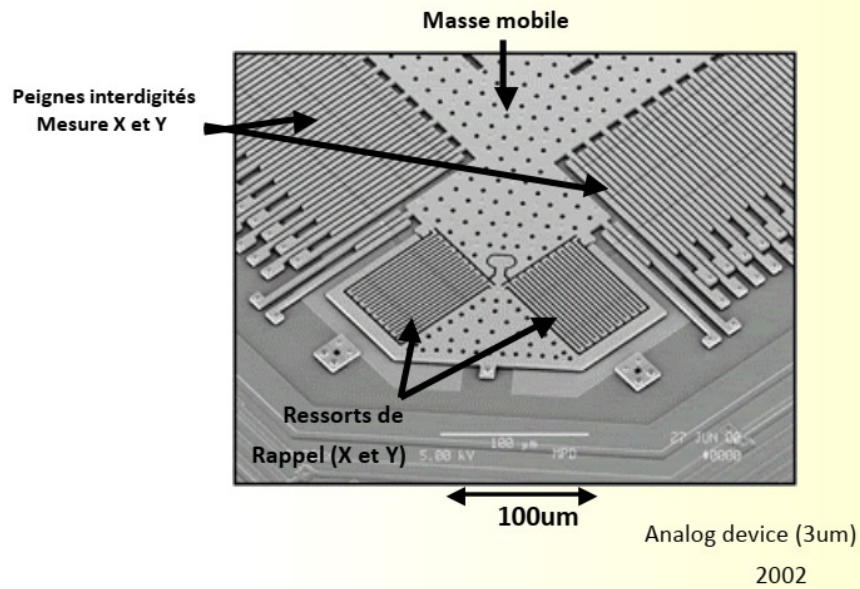
Capteur 100kPa
Amplification et compensation intégrées
Ajustement des résistances par laser
Sortie 0.2 à 4.7V avec une alim. 5V

Capteur de pression intégré Motorola (2000)



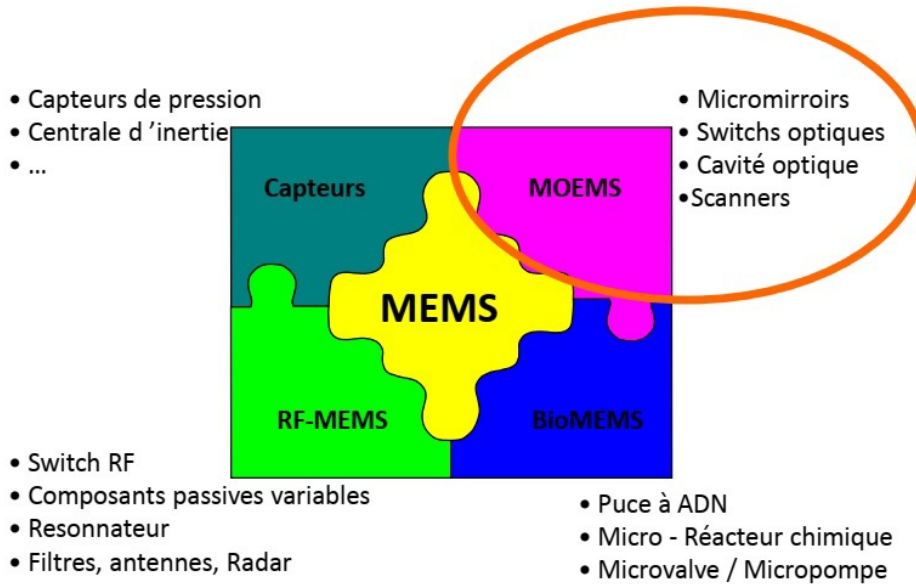
- +50g (10mg)
- Polysilicon MEMS & BiCMOS
- Puce 4x4mm
- Mesure capacitive différentielle

Accéléromètre capacitif (ADXL150)



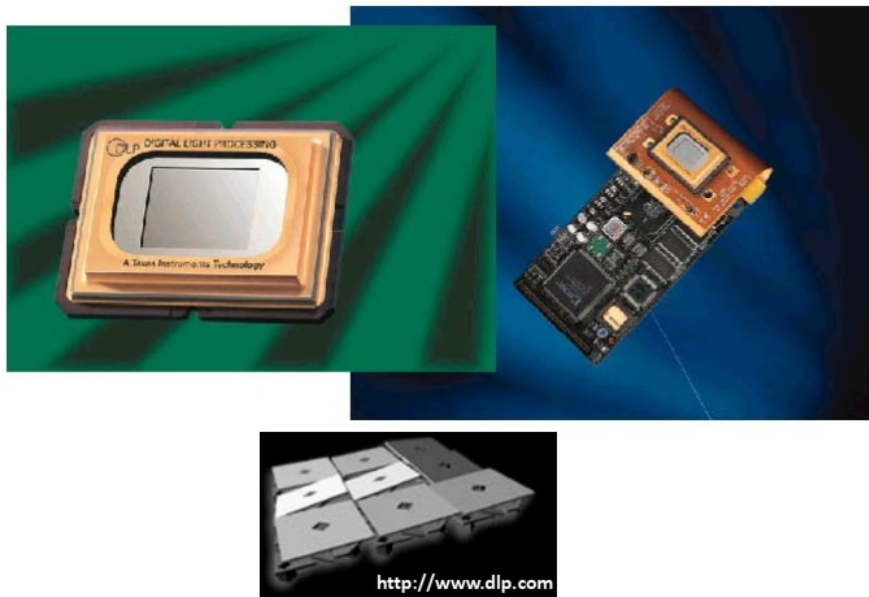
Accéléromètre capacitif en peigne.

- Microsystèmes optiques (MOEMS).

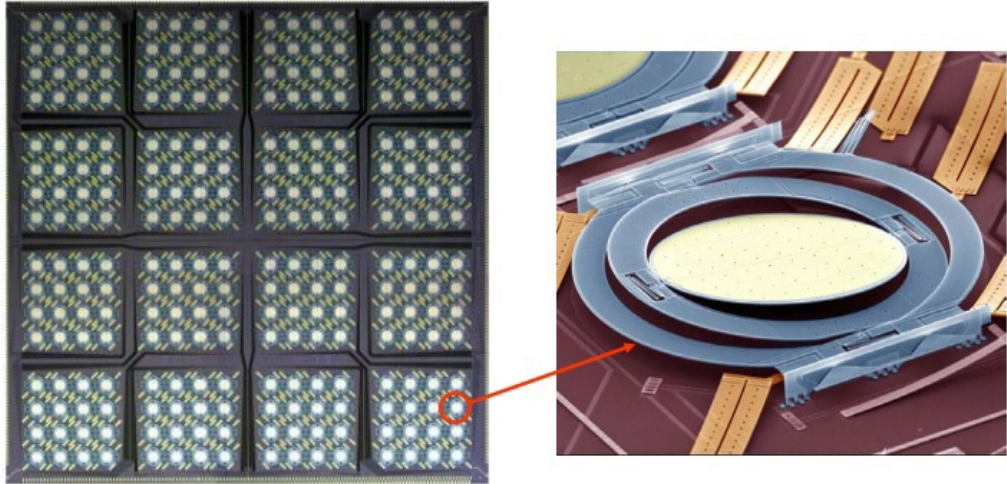


Microsystèmes optiques (MOEMS).

Dans les deux figures qui suivent, nous allons citer deux exemples de capteur MOEMS.



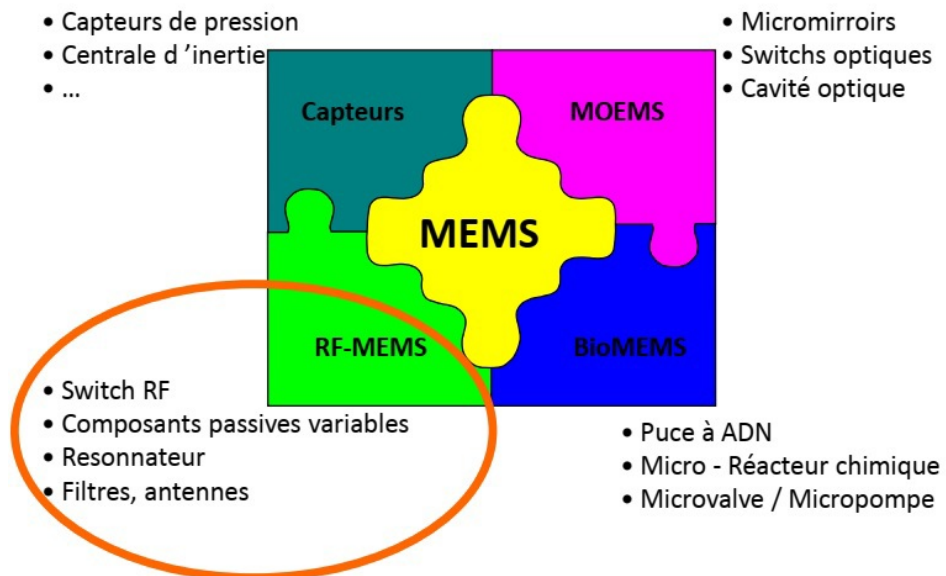
Applications à la projection d'images vidéo : Les système DMD de Texas Instrument et GLV de SONY...



✓ *Matrices 256 voies (16x16 miroirs) commercialisées*

Applications Télécom: Les matrices de commutateurs Optiques de Lucent Technologies et de MEMSCAP

- Microsystèmes radio-fréquence (RF-MEMS).



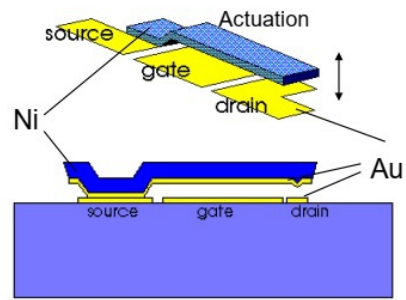
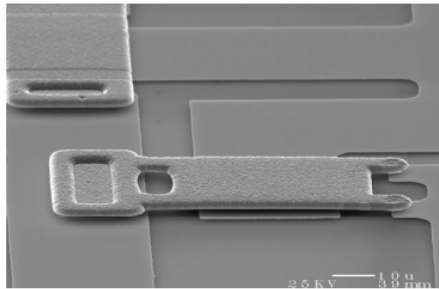
Microsystèmes Radio-Fréquence (RF-MEMS)

Dans les trois figures qui suivent, nous allons citer trois exemples de capteur RF-MEMS.

- Microrelay (binary)

$V > V_{\text{Pull-in}}$: ON
 $V < V_{\text{Pull-out}}$: OFF

- Behaviour : switch transistor



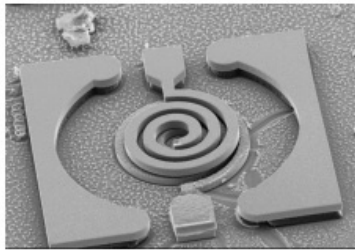
Cantilever : L / l / e : 60 / 30 / 2 μm

$V_{\text{Pull-in}}$: 30 - 300 V

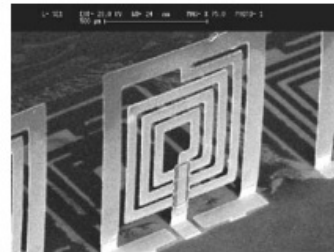
$R_{\text{DC}} < 1 \Omega$

MAJUMDER S., MCGRUYER N.E., ZAVRACKY P.M., ADAMS G.G., MORRISON R.H., KRIM J.,
 Measurement and modeling of surface micromachined, electrostatically actuated
 microswitches, Tech. Digest. 1997 Int. Conf. Solid-state Sensors and Actuators, Transducers
 97, Chicago, June 1997, pp. 1145-1148.

Micro-interrupteur mécanique : switch RF



Micro – moulage (MEMSCAP)

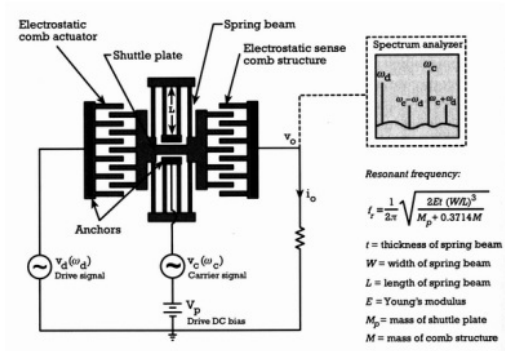


Dépôt en surface

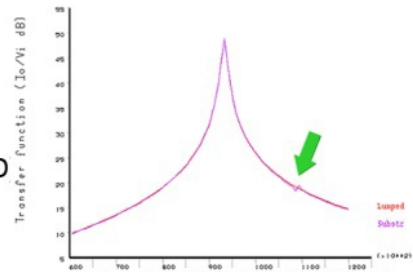
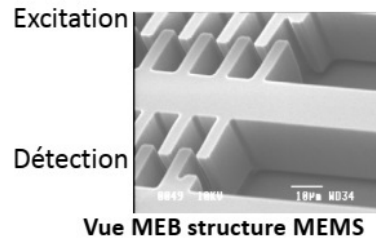
Fort facteur de qualité (sélectivité et forte réjection)

- $Q > 10$ @ 1Ghz

Applications RF : Inductance intégrée



- Structure en peigne résonante
- Fréquence contrôlable par polarisation (VCO)
- Modulation possible par polarisation avec porteuse -> Multiplieur

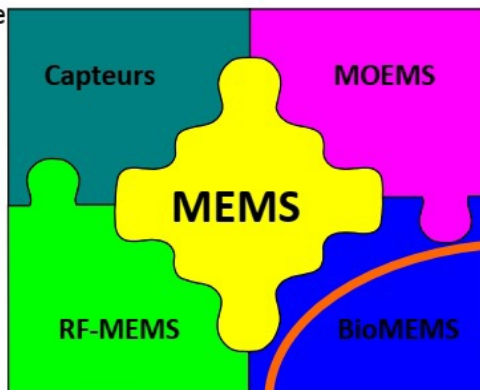


Réponse en fréquence :
Q > 1000 @ 100-500Mhz

Micro-résonateur / Micro-mélangeur

- Microsystèmes bio-compatibles (Bio-MEMS)

- Capteurs de pression
- Centrale d'inertie
- ...



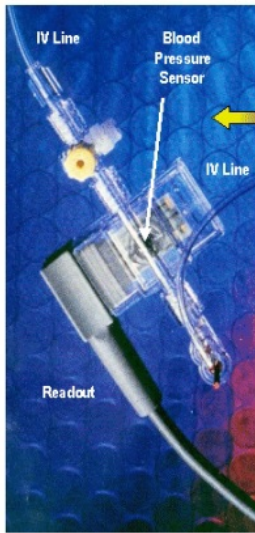
- Micromirrors
- Switchs optiques
- Cavité optique

- Switch RF
- Composants passives variables
- Résonateur
- Filtres, antennes

- Puce à ADN
- Micro - Réacteur chimique
- Microvalve / Micropompe

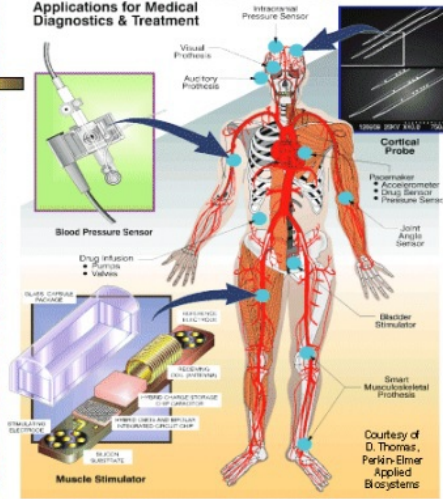
Microsystèmes bio-compatibles (Bio-MEMS)

Dans le domaine médical, la présence des microsystèmes est très importante pour la surveillance et l'assistance du personnel médical et des patient dans la vie de tous le jours. Dans les figures qui suivent, nous allons citer quelques applications très prisées dans le domaine médical.



Micromachined Transducer

Applications for Medical Diagnostics & Treatment



Prothèses auditives

Surveillance « In situ »
(Pacemaker)

Auto-médication
(Micropompe)

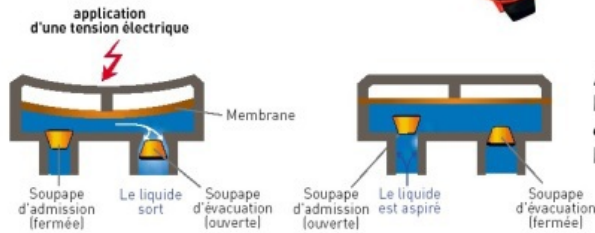
BioPuces (ADN)

Distributeur
Automatique d'insuline

Microelectromechanical Systems (MEMS) Short Course © M. Adrian Michalovek.

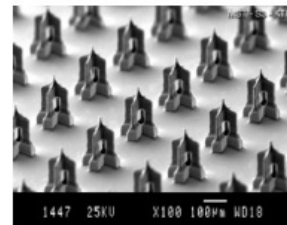
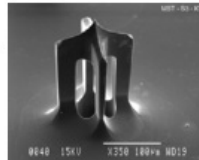
Environnement Biomédical

La seringue commence à être remplacée par un distributeur qui, fixé sur la peau comme un patch, délivre continuellement l'insuline tout au long de la journée.



A chaque cycle (compression/dépression), la micropompe délivre un volume de 150nL et permet de doser ainsi très précisément la quantité d'insuline à injecter au patient.

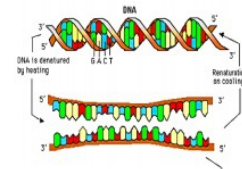
Actuellement, le distributeur injecte l'insuline par aiguille: bientôt il le fera par une matrice de micro-aiguilles très fines, dont la profondeur de pénétration sera très faible, de l'ordre de 100µm, et qui seront presque insensibles pour le patient.



Distributeur d'insuline

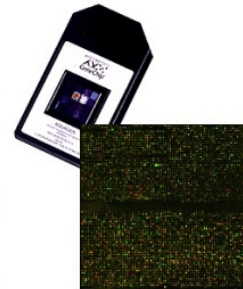


Puce à ADN



"DNA chip": biomolecules on electronic devices

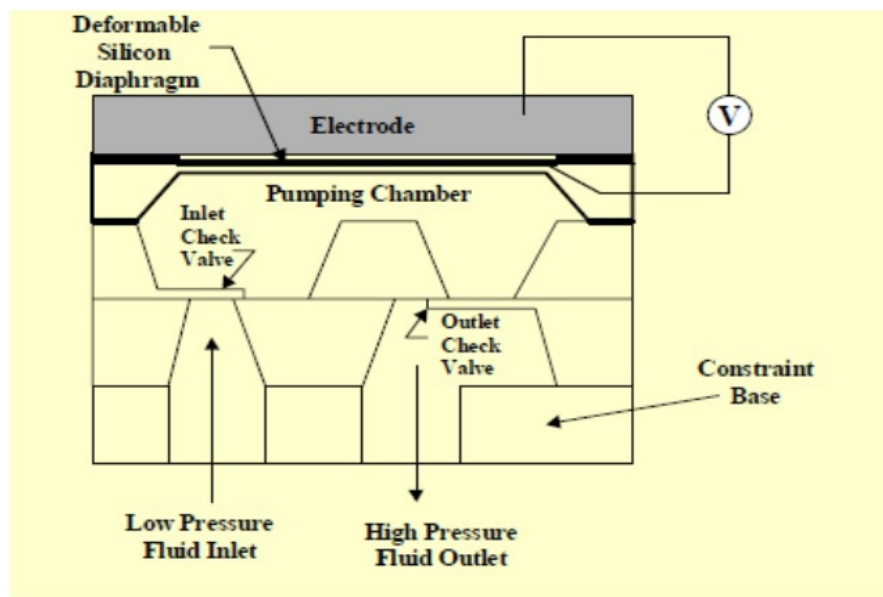
[Nanogen, Inc.]



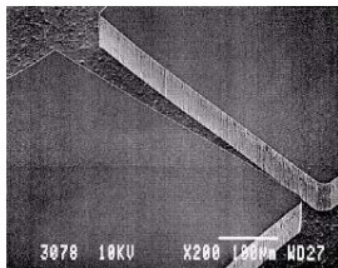
Etude et analyse de la structure génétique par détection de séquence d'ADN

- Identification de l'origine et du contenu (alimentation)
- Identification multiple (Ex : 12000 gènes identifiable sur 1cm²)
- identification de modifications génétiques (multiples)

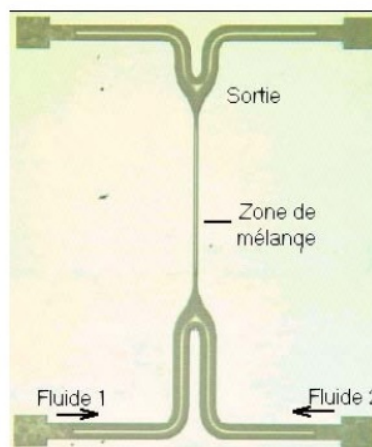
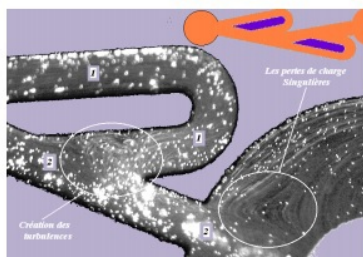
Puce à ADN



Micropompe microfluidique



Microcanaux sur Silicium



Micro-mélangeur

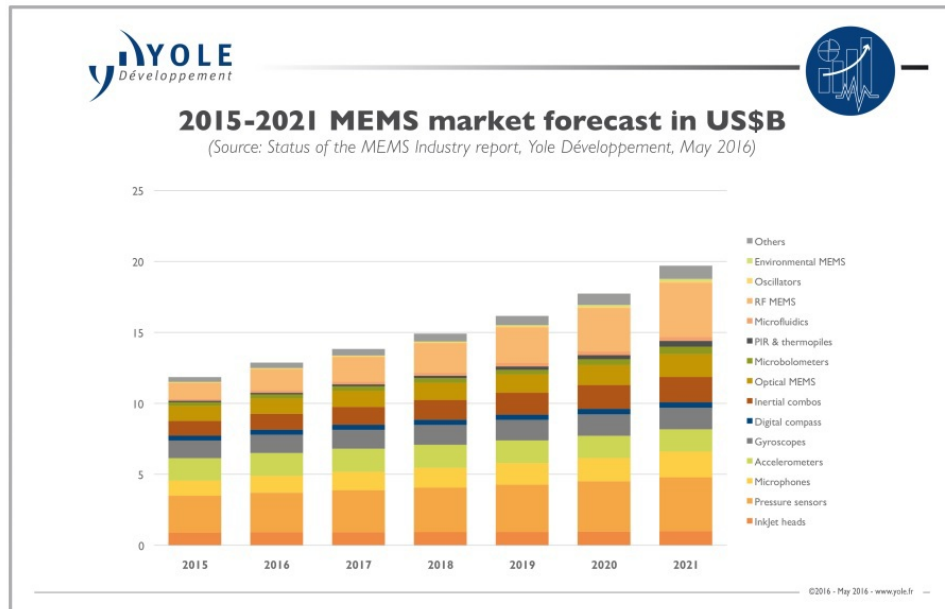
Micromélangeurs / Microcanaux.

8. Évolution du marché des microsystèmes

Selon les prévisions de Yole Développement®, le marché des microsystèmes pèsera près de 20 Milliards de dollars en 2021. A titre comparatif, en 2015 ce marché pesait près de 13 Milliards de dollars, ce qui représente une augmentation de près de 7 Milliards de

Dollars soit environ 35%.

Cette effervescence autour des microsystèmes est portée entre autre par plusieurs secteurs dont le domaine de la téléphonie mobile et le domaine médical. Le secteur de la téléphonie mobile a connu ces dernières années une demande de plus en plus accrue de microsystèmes, notamment en ce qui concerne les capteurs inertiels tels que les accéléromètres, les gyromètre, etc. . . mais aussi sur les composants radiofréquences tels que les filtres, résonateurs, interrupteurs etc. . . Ainsi, l'intégration de tels dispositifs parfois dans une même puce dans des appareils de plus en plus miniatures et perfectionnés (montres connectées, smartphones, etc. . .) relève très souvent de la prouesse technologique et met en avant les difficultés d'intégrations monolithiques Rendues de plus en plus complexes par la diversité des applications microsystèmes.



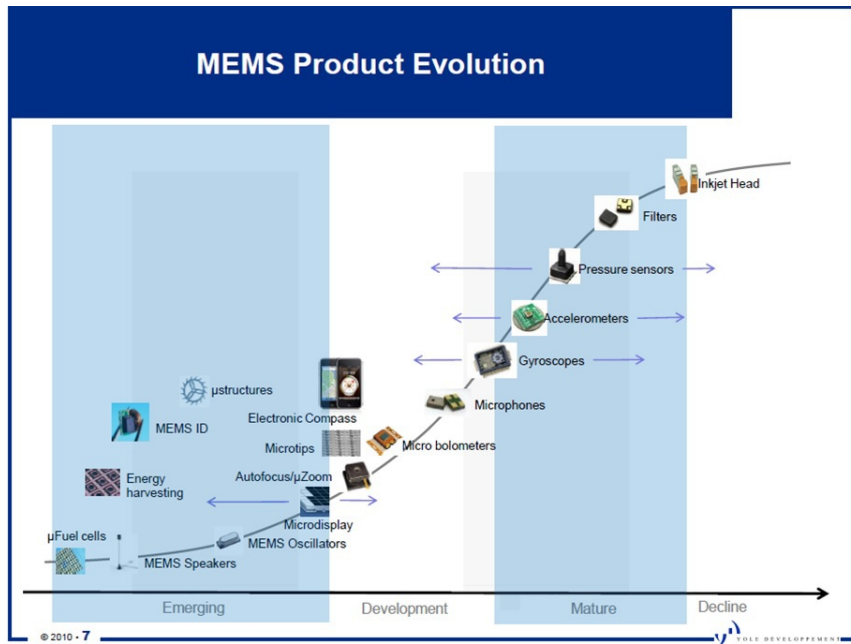
Marché des MEMS selon Yole Développement

L'étude du cabinet Yole Développement® montre que le marché des microsystèmes pour la radiofréquence « RF » et celui de la micro-fluidique vont pratiquement doubler d'ici 2021, où plusieurs micro-actionneurs seront appelés à évoluer. Pour la RF, les micro-commutateurs, les capacités variables et les résonateurs sont les plus demandés dans un domaine où les critères de fiabilité, de durée de vie et surtout faible consommation sont recherchés. Dans le domaine médical, deux pistes sont relativement prisées par les chercheurs. La première, le développement de dispositifs biocompatibles pouvant être placés dans un corps humain par exemple les micro pompes pour l'injection médicamenteuse automatique telle que l'injection d'insuline. La deuxième consiste en la réalisation de laboratoire dits sur puce avec des micro-mélangeurs et micro-capteurs qui ont pour objectifs de regrouper plusieurs fonctions passant par de l'analyse, le traitement et très souvent l'affichage du résultat.

Un autre marché bénéficie de cet engouement envers les microsystèmes, c'est les têtes d'impression jet d'encre. Ce marché à lui seul pèse 1 Milliard de dollars et reste relativement stable dans la durée ce qui n'empêche pas les entreprises tels que Epson, Canon, HP, Brother, etc. . . de continuer à innover dans ce domaine pour assouvir les besoins d'un marché de plus en plus exigeant en terme de vitesse et qualité d'impression.

Les chiffres cités dans le figure montre bien l'importance des microsystèmes et l'intérêt porté par les entreprises à ce domaine. Ces dernières rivalisent de plus en plus d'ingéniosité et investissent des sommes faramineuses dans la recherche et le développement afin d'améliorer la consommation, tension et amplitude d'actionnement, réponse, intégration, etc. . . Tous ces critères conditionnent pour les micro-actionneurs le type de transduction utilisé pour les faire fonctionner.

Dans cette démarche, yole a proposé un classement des microsystèmes émergeant, en cours de développement et déjà mature.



Classement des MEMS émergeant, en cours de développement et déjà mature

Exercice

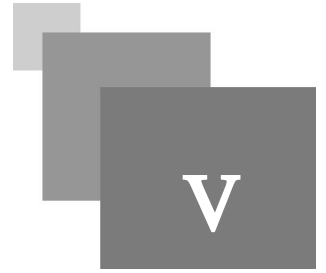


Un dispositif de forme carrée faisant 1 mm^2 de surface et $10 \text{ }\mu\text{m}$ d'épaisseur peut-il être considéré comme un microsystème ?

- Oui
- Non



Exercice



Un microsysteme peut-etre :

- Un micro-capteur
- Un micro-actionneur
- La combinaison des fonction micro-actionneur et micro-capteur

Conclusion



Aujourd'hui, les microsystèmes sont devenues des dispositifs incontournables dans notre vie de tous les jours. Ils présentent notamment plusieurs particularités dont :

- Ils couvrent de nombreux domaines d'applications -----> Pluridisciplinaire
- Très fortes industrialisations pour les Capteurs « *Microsystèmes* »
- Ils promettent des performances accrues pour les applications types RF ou Optiques
- Ils ont permis de très forte innovation pour le domaine de l'analyse « *bio-médico-chimique* » qui est le secteur clé!!
- Ils constituent l'étape intermédiaire qui mènera vers les nanotechnologies... les NEMS...

Tous ces points permettent de dire que les microsystèmes ont très bel avenir devant eux et que nous avons tout intérêt à nous pencher sur ces dispositifs. Nous allons maintenant présenter les différents outils et techniques utilisées pour concevoir un microsystème.

Bibliographie



GT 18-4 CIAME SEE, Michel ROBERT, Mireille BAYART, André CHOVIN, Blaise CONRARD, 'Capteurs et actionneurs intelligents', DOSSIER Techniques de l'Ingénieur 's7520'.

Daniel ESTÈVE, Jean SIMONNE, 'Microsystèmes', DOSSIER Techniques de l'Ingénieur 'e2305'.

Philippe ANDREUCCI, Catherine SCHAFFNIT, Sylvain PAINEAU, Stéphane MAGATON, 'Microsystèmes : applications et mise en œuvre', DOSSIER Techniques de l'Ingénieur 'e3090'.

Michel MASSÉNAT, 'Circuits en couches minces – Couches minces traditionnelles' DOSSIER Techniques de l'Ingénieur 'e3365'.

Laure SEVELY, Laurie VALBIN Patrick POULICHET Gilles AMENDOLA, 'Les capteurs MEMS - Principes de fonctionnement', DOSSIER Techniques de l'Ingénieur 'r430'.

Jeff Perkins, 'MEMS Market Overview: Future Growth area' Microtech Anaheim June 2010.

H. Nathanson et al., « The Resonant Gate Transistor », Mar. 1967, Transactions on Electron Devices, vol. ED-14 No. 3, IEEE, pp. 117-133

M. Cueff, Micro-actionneurs piézoélectriques. PhD thesis, Université de Grenoble, 2011.

O. Solgaard, F. S. A. Sandejas, and D. M. Bloom, "Deformable grating optical modulator," Opt. Lett. 17, 688-690 (1992)

Fan, L.-S.; Tai, Y.-C.; Muller, R.S. (1989) IC-processed electrostatic micromotors. Sensors & Actuators, 20: 41-48.

Royer, J., Tessier, P. Y., Grolleau, B., et Turban, G.: 1996, J. Vac. Sci. Technol. A14, 234

Y. Zhu, W. Liu, K. Jia, W. Liao, et H. Xie, « A piezoelectric unimorph actuator based tip-tilt-piston micromirror with high fill factor and small tilt and lateral shift », Sens. Actuators Phys., vol. 167, no 2, p. 495-501, juin 2011.



Webographie



Y. Developpement, “Yole developpement - mems market.” <http://www.yole.fr>, 2016.

<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/obsolete-data-sheets/2044696ADXL50.pdf>

Tang, W.C.;Nguyen, T.-C.H.;Howe, R.T. (1989) Laterally driven polysilicon resonant microstructures. *Sensors & Actuators*, 20: 25–32