



Perspectives et applications des technologies MEMS Exemple concret: Les accéléromètres

Navigare 2012, Jean-Mi Stauffer, 23 mars 2012



DEFINITION et INTRODUCTION au MEMS

- **Micro Electro Mechanical Systems**
 - **Plateforme technologique:**
Techniques de micro fabrication utilisée pour fabriquer des systèmes qui combinent des composants micro mécaniques (senseur et actuateur) de dimensions typiques entre 1micron et 100 microns avec une électronique et un traitement de l'information
 - **Famille de produits:**
Nom générique pour tout produit qui utilise la technologie MEMS
- **Ce que l'on en dit: "the foundational technology for the future."**



LES STRATEGIES DE MARCHÉ DU MEMS

Deux stratégies de marché distinctes s'opposent:

- **Le foundry business**
 - Inspiré du modèle de la microélectronique
 - Il consiste à fabriquer des composants MEMS divers en tant que sous-traitant.
 - Modèle qui a eu de la peine à s'imposer mais qui progresse bien avec l'évolution de la maturité de la technologie et l'approche "fabless" de certaines entreprises.
 - Généralement basé sur le principe « un produit - un client », il est certainement plus sensible aux fluctuations de l'économie.



LES STRATEGIES DE MARCHÉ DU MEMS

Deux stratégies de marché distinctes s'opposent:

- **Ligne(s) de produits spécifiques**
 - La société contrôle totalement un produit ou une ligne de produit
 - La société décide de l'évolution de ses produits (plan produit et roadmap technologique).
 - Le produit est généralement vendu à de nombreux clients dans de nombreux marchés.
 - La diversité des clients et des marchés favorise une moins grande sensibilité aux fluctuations économiques.



LA GRANDE FAMILLE DES PRODUITS MEMS

- **Une multitude de marchés intègrent la technologie MEMS dans de nombreux produits :**
 - **Aéronautique (civile et militaire)**
Accéléromètre (inertiel, vibration, chocs, tilt), gyro, pression, magnétique, température, microphone, RF...
 - **Automobile**
Accéléromètre, gyro, pression, infra rouge, contraintes, capteur chimique, capteur de gaz...
 - **Biotechnologie**
Fluidique, pression, concentration, micro manipulateur, capteur chimique, capteur de gaz
 - **Consumer**
Accéléromètres, gyro, pression, magnétique, acoustique, micro miroirs...
 - **Energie**
Accéléromètre (vibration, tilt), gyro, magnétique, température, sismique...
 - **Industrie et Instrumentation**
Accéléromètre, tilt, choc, sismique), gyro, pression, fluidique, contraintes, optique, micro miroirs...
 - **Médical**
Pression, flux, fluidique, accéléromètre...
 - **Télécommunication et téléphonie**
Filtres optiques, sources, haute fréquence, micro-miroirs...
 - **Science et recherche**
Divers
 - ...

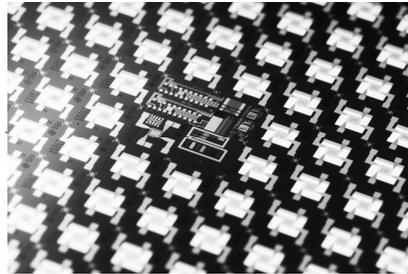


EXEMPLES CONCRETS DE MEMS CHEZ COLIBRYS

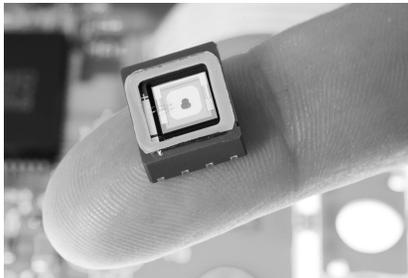
Produits Electromécaniques



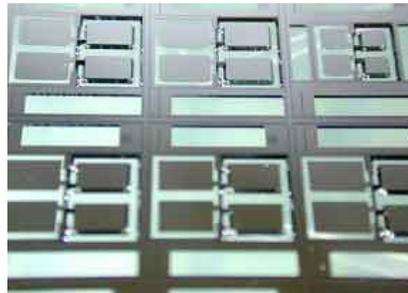
• Accéléromètres



• Capteurs de gaz (CO₂) et de flux



• Capteur de pression

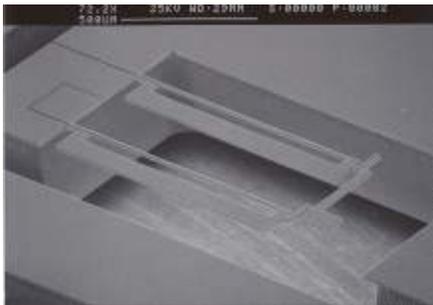


• Gyro "Papillon"



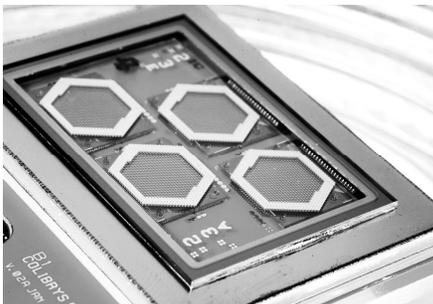
EXEMPLES CONCRETS DE MEMS CHEZ COLIBRYS

Produits Opto-mécaniques

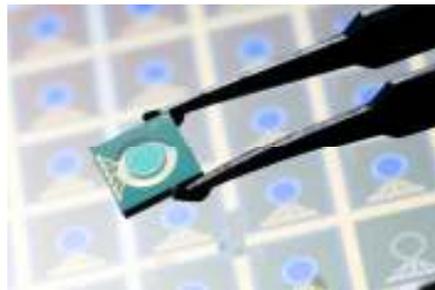


• Variateur optique (VOA)

• Composant pour micro spectromètre



• Réseau de micro "shutters"



• Modulateur pour laser

• Éléments diffractant (DOE)

• Micro Mirrors



LES MARCHES PRECURSEURS

- **Automobile**
 - Le marché de l'automobile a été le pionnier dans l'introduction du MEMS.
 - Il a également donné à cette technologie la crédibilité nécessaire pour son essor dans d'autres marchés
- **Télécommunication et téléphonie**
 - La télécom et la bulle internet ont ensuite pris la relève dans les réseaux optiques de communication
 - Micro-miroirs, VOA (variable optical attenuators)...
 - Présent dans chaque smartphone, le MEMS est devenu un incontournable de ce marché



LES MARCHES PRECURSEURS

- **Consumer**
 - Les jeux vidéos, caméras, appareils de photo... sont friands de MEMS (gyro et accéléro)
 - Ce marché est caractérisé par un gros volume et a donc un gros potentiel
- **Aéronautique**
 - C'est un marché particulier (niche) pour les MEMS.
 - Le marché recherche les performances, la fiabilité et les nombreux avantages de la technologie mais pour des volumes relativement faibles.
 - Inadéquation entre « prix / volume / performances / fiabilité »
- **Les autres marchés restent actuellement des niches avec ± gros potentiel**

LES ACCELEROMETRES





COLIBRYS ET LES ACCELEROMETRES :

- Colibrys est avant tout un développeur, un fabricant et un fournisseur d'accéléromètres capacitifs basés sur la technologie MEMS
- Colibrys est présent dans un marché niche des accéléros de haute performance pour le **Mil/Aerospace**, **l'énergie** et **l'industrie / instrumentation**

“COLIBRYS is a world-leading supplier of standard and semi-custom MEMS based **motion sensors** to the **harsh-environments** (Military, Aerospace and Energy) and **safety critical** (Industrial and Instrumentation) applications”



FAITS ET FIGURES EN BREF :



- **Colibrys (Switzerland) Ltd** est une société Suisse basée à Neuchâtel (bientôt à Yverdon-les-bains)
- Compagnie privée
- Créée à travers un spin-off du CSEM en 2001

- ~85 personnes en 2012
- ~CHF 20M de chiffre d'affaire dont >80% provient du business des accéléromètres



HISTORIQUE DES ACCELEROMETRES :

- **Avant l'apparition des MEMS, les divers marchés utilisaient:**
 - Des accéléromètres électro-mécaniques
 - Des accéléromètres piezo-résistifs
 - Des accéléromètres piezo-électriques
- **Ces produits bénéficient d'une longue histoire (expérience, habitude, confiance établie) mais souffrent aussi de certaines limitations**
 - Fragilité des accéléromètres électro-mécaniques
 - Sensibilité en température du piézo
- **L'apparition de la technologie MEMS génère des opportunités incroyables après une longue période d'acceptation**
 - Automobile
 - Aéronautique



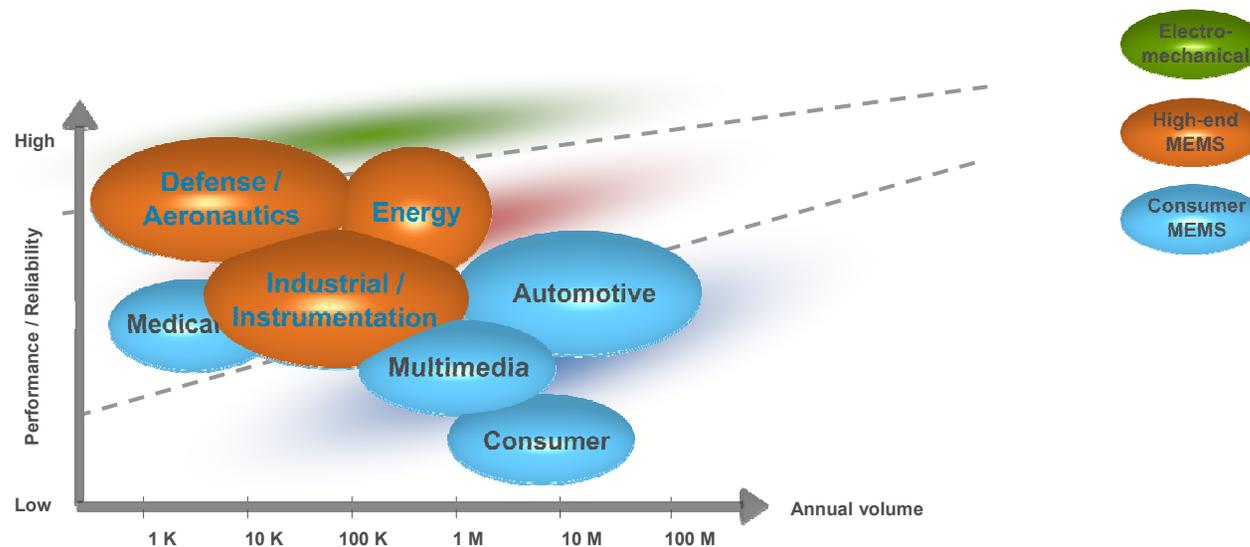
HISTORIQUE DES ACCELEROMETRES :

- **Electro-mécaniques** (inertiel et tilt)
 - Haute performance mais fragiles, coûteux, de grande dimension et grande consommation électrique
- **Piézo résistifs** (vibration et chocs)
 - Bon compromis pr à la bande passante (DC – HF) mais stabilité à long terme limitée et haute dépendance en température
- **Piézo électriques** (vibration)
 - Large bande passante, grande gamme de mesures, haute température mais pas de réponse DC et performances limitées en stabilité (long terme et en température)



LES MARCHES DES ACCELEROMETRES

- Les accéléromètres MEMS offrent de nouvelles solutions et opportunités pour une large gamme de marchés et d'applications





LES MARCHES DE HAUT VOLUME A BAS PRIX

Automobile, Consumer/Telecom, Multimedia

- Ces marchés constituent la porte d'entrée historique des MEMS
- Le marché de l'automobile a été le premier à qualifier et accepter l'accéléromètre MEMS dans ses applications (airbag)
- Il a fallu plus de 10 ans pour être qualifié et généralisé mais grâce à lui, l'accéléromètre a acquis une grande crédibilité
- Aujourd'hui, les accéléromètres et gyros sont intégrés dans un nombre incalculable de produits (téléphones, jeux, PC, voitures...)
- On prétend que chaque américain possède en moyenne 20 MEMS
- Les acteurs principaux sont:
 - Bosch (450M), ST (400M), Panasonic (207M), Freescale (198M), Adi (177M), Invensense (95M), MSI (90M), VTI (84M), Kionix (56M) ...



LES MARCHES DE HAUTE GAMME MEMS

Aéronautique, Energie, Industrie & Instrumentation

- Ces marchés se caractérisent pas des besoins en hautes performances et en petite ou moyenne quantité
- Le TAM de ces marchés niches ne représente que quelques centaines de millions
- Le MEMS développé et fabriqué sans concessions apporte des solutions (performances, fiabilité, solidité, volume, poids, consommation, ~prix)
- Marché niche pour quelques fournisseurs MEMS spécialisés
- Certains fabricants du "consumer business" offrent des solutions en triant (screening) leur production en volume
- Les acteurs principaux sont:
 - Honeywell (125M, partiellement captif), Colibrys (<20M), Silicon Design (<20M)



LES MARCHES DES NON MEMS

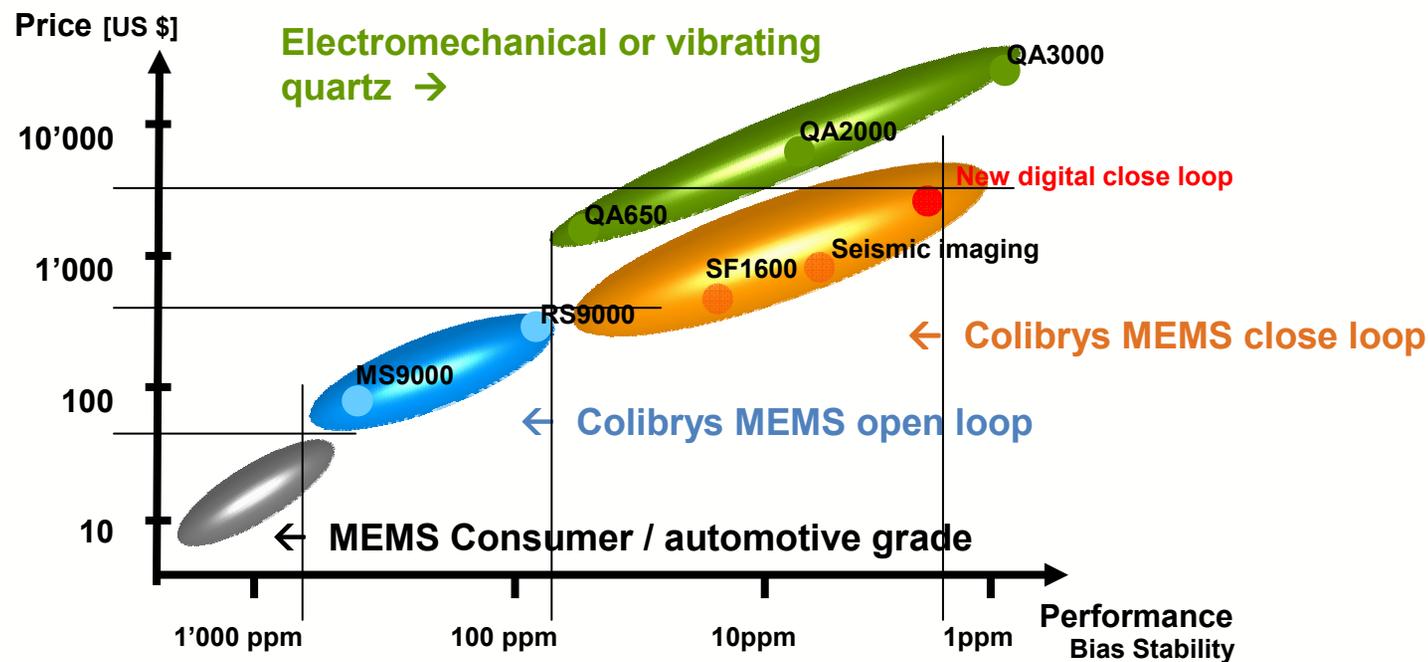
Aéronautique, Energie

- Certains besoins de certains marchés ne peuvent pas (encore) être satisfaits par des solutions MEMS
- Les quantités sont généralement limitées et il est difficile de débloquer les investissements nécessaires pour le développement des solutions MEMS
- Ceci est probablement valable pour les divers marchés de capteurs MEMS haut de gamme (accéléromètre, gyro, pression...)
- Des solutions électro-mécaniques ou optiques restent toujours les seules solutions techniques disponibles.
 - Généralement des solutions coûteuses
 - Nombreuses restrictions ou limitations (ex. tenue aux conditions environnementales, taille et poids, consommation)
- Exemples:
 - Les accéléromètres vibrants en quartz ou les FBA (Forced Balanced Accelerometer)
 - Les gyros optiques (FOG, RLG)
- Une solution MEMS pourrait ouvrir des nouvelles opportunités



DIFFERENTES NICHES POUR DIFFERENTS ACCELEROMETRES

- La pente des prix en fonction des performances est très raide.



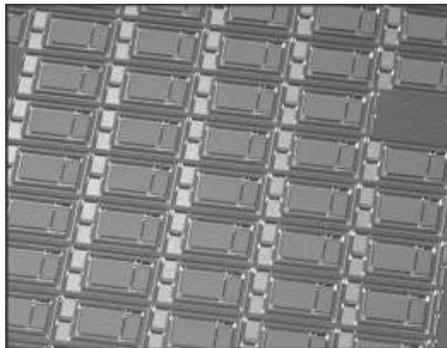
FABRICATION



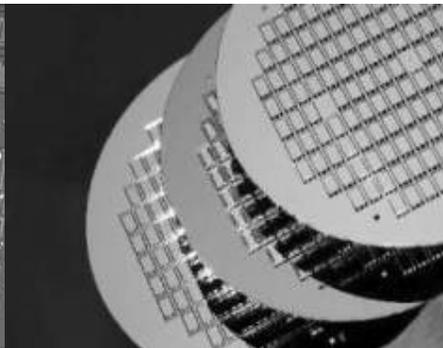


LA FABRICATION DES ACCELEROMETRES COLIBRYS

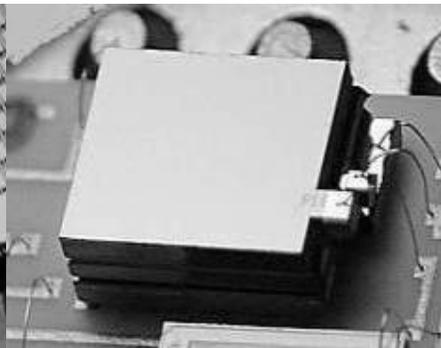
Principe de base



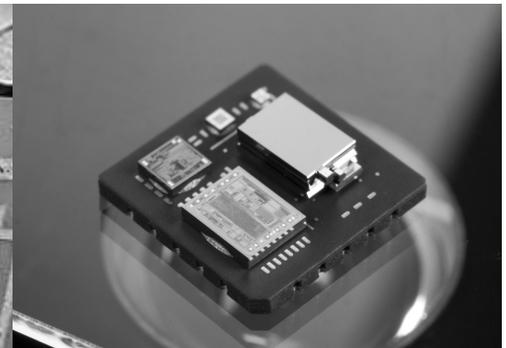
Gravure des micro-structures



**Assemblage par SFB
"Silicon Fusion Bonding"**



**Test wafer et
"singularisation"**



**Assemblage hybride dans
boîtier céramique**



LA FABRICATION DES ACCELEROMETRES COLIBRYS



- **Neuchâtel, Suisse**
 - Installation moderne indépendante
 - Wafer fab (class 100 / 1'000) env.. 1'000m²
 - Assemblage / Test (class 10'000) env. 500m²
 - 100mm (4'') wafers et 150mm (6'') wafers
 - Capacité (procédé à 7 masques) >30'000 wafers / année représentant ~500k accéléromètres



PROCEDES CLES ET EQUIPEMENTS

- **Photolitho**
 - UTS DSA1600 (stepper double face)
 - EVG 620 mask aligner
 - Photorésist positif et procédé 'lift-off'
- **Déposition**
 - Métaux: (sputter) Ti, Au, TiW, AlSi
 - Métaux: (évaporation) Ti, Ta, Pt, Al, Au, ...
 - Couches minces: PECVD, LPCVD nitrure (stœchiométrique and low-stress)



PROCEDES CLES ET EQUIPEMENTS

- **Gravure sèche (DRIE) et humide (KOH)**
 - KOH / HF
 - DRIE - Alcatel AMS200
 - RIE
- **Encapsulation Wafer (multi-stack)**
 - Silicon Fusion Bonding: stress free, Wafer and chip scale packaging
 - Anodic bonding
- **Métrie**
 - Mesures de précisions d'épaisseurs et de dimensions critiques



LES DIFFERENTS TYPES D'ACCELEROMETRES

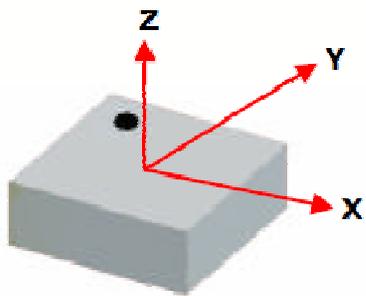
- Les marchés **Industriels**, **aéronautiques** et de **l'énergie** bénéficient amplement des technologies MEMS
- L'attractivité des produits MEMS est assurée par un meilleur contrôle des coûts sans concessions sur les performances.
- La technologie de l'accéléromètre MEMS capacitif permet différentes mesures physiques
 - **Mesure d'angle, tilt**
 - **Mesure de vibrations et chocs**
 - **Mesures sismiques**
 - **Mesure inertielle**



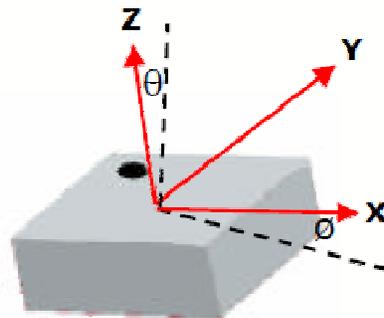
TILT



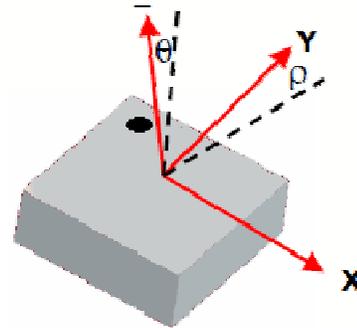
Mesure de la force gravitationnelle statique



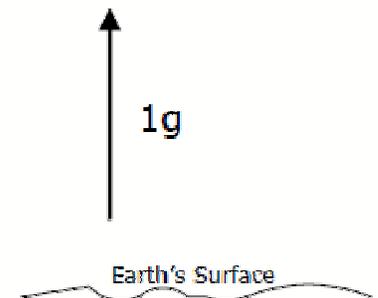
No pitch or roll; level with the ground.



Pitch (θ) is the angle of the x axis relative to the ground. θ is the angle of the z axis relative to gravity.



Roll (ρ) is the angle of the Y axis relative to the ground. θ is the angle of the z axis relative to gravity.





DE L'ACCELERO COLIBRYS A L'INSTRUMENT POUR LA MESURE D'ANGLE

Colibrys Product



MS9001.D

Digital Compass



Instrumentation

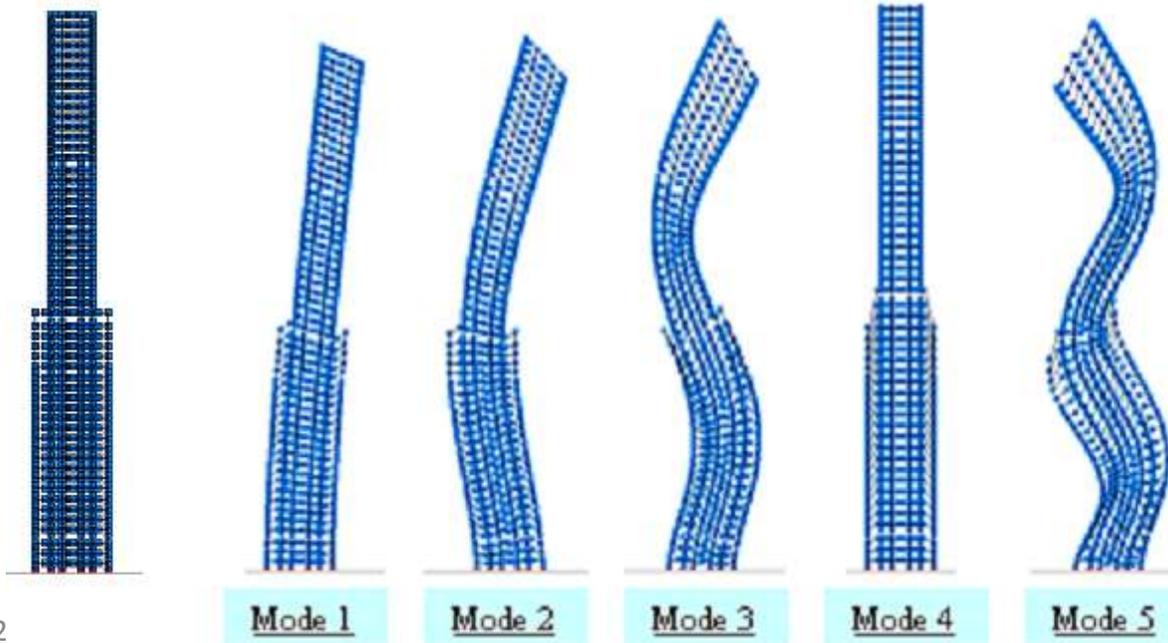


find all our products on www.colibrys.com



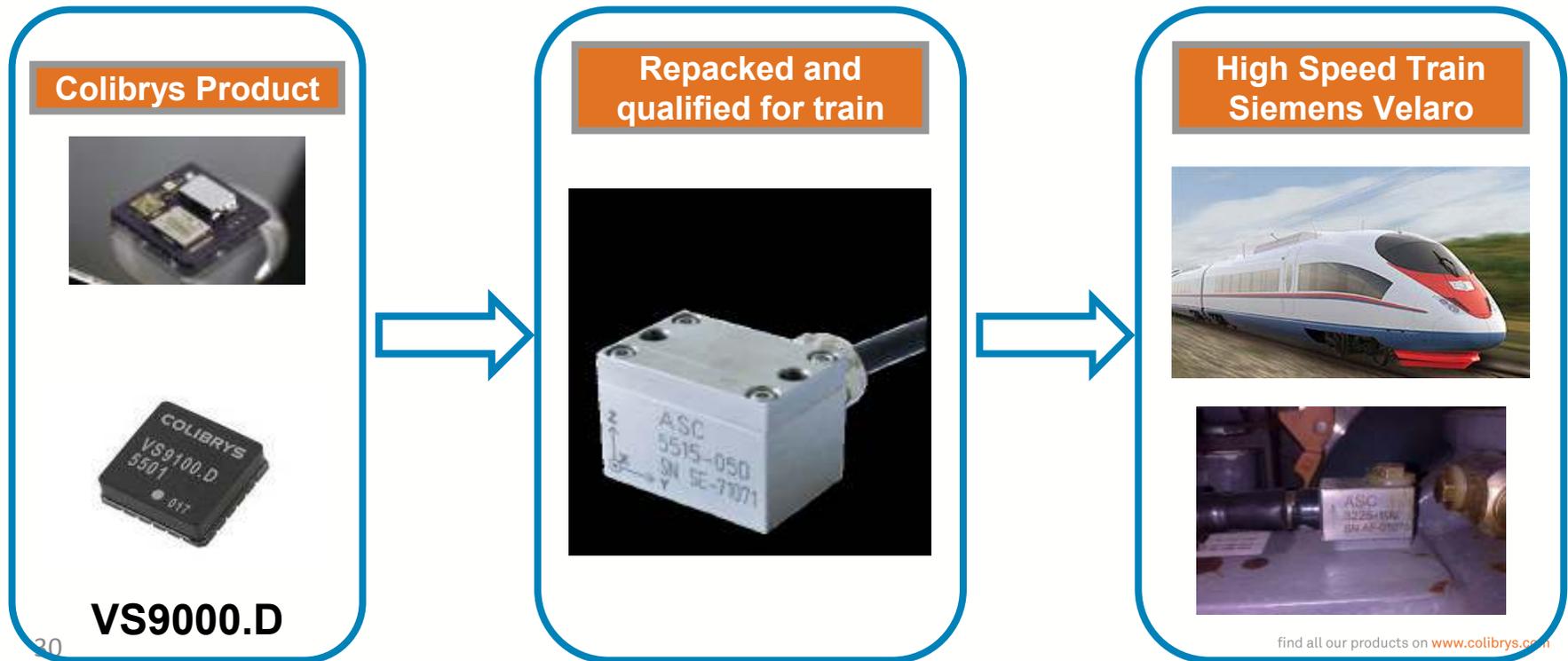
VIBRATION

Mesure dynamique de la vibration et des chocs





DE L'ACCELERO COLIBRYS AU TRAIN A HAUTE VITESSE

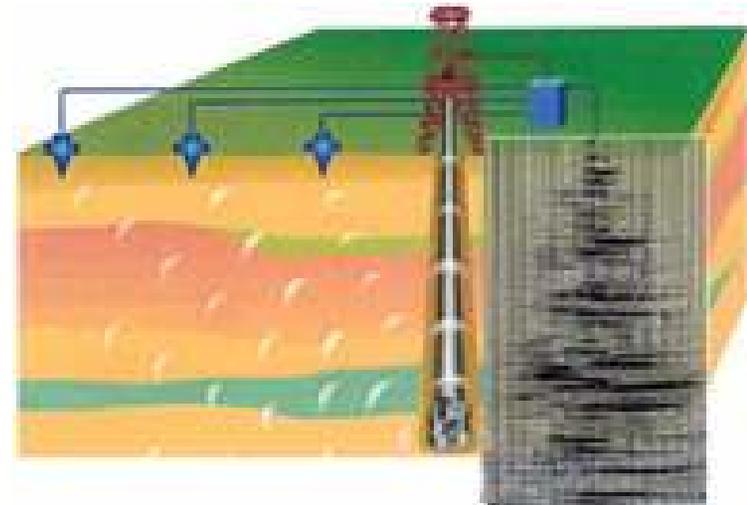
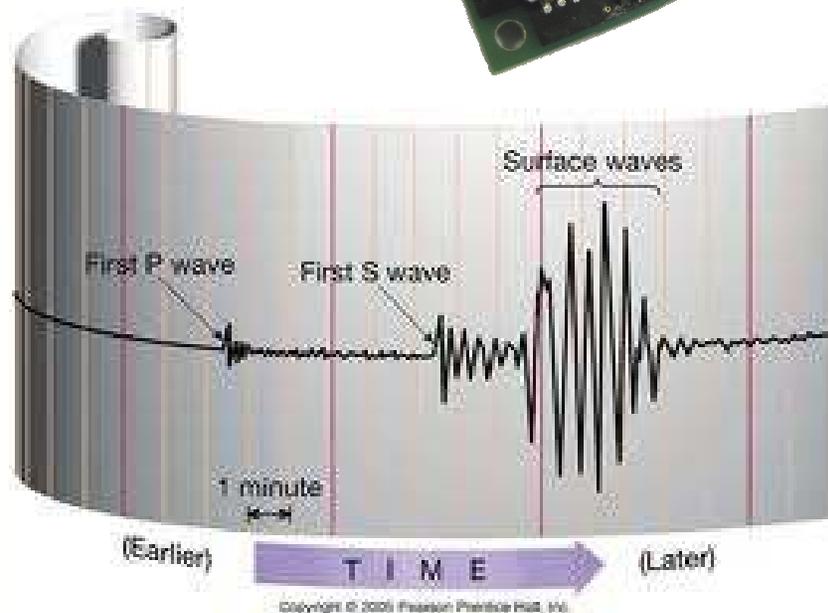




SISMIQUE



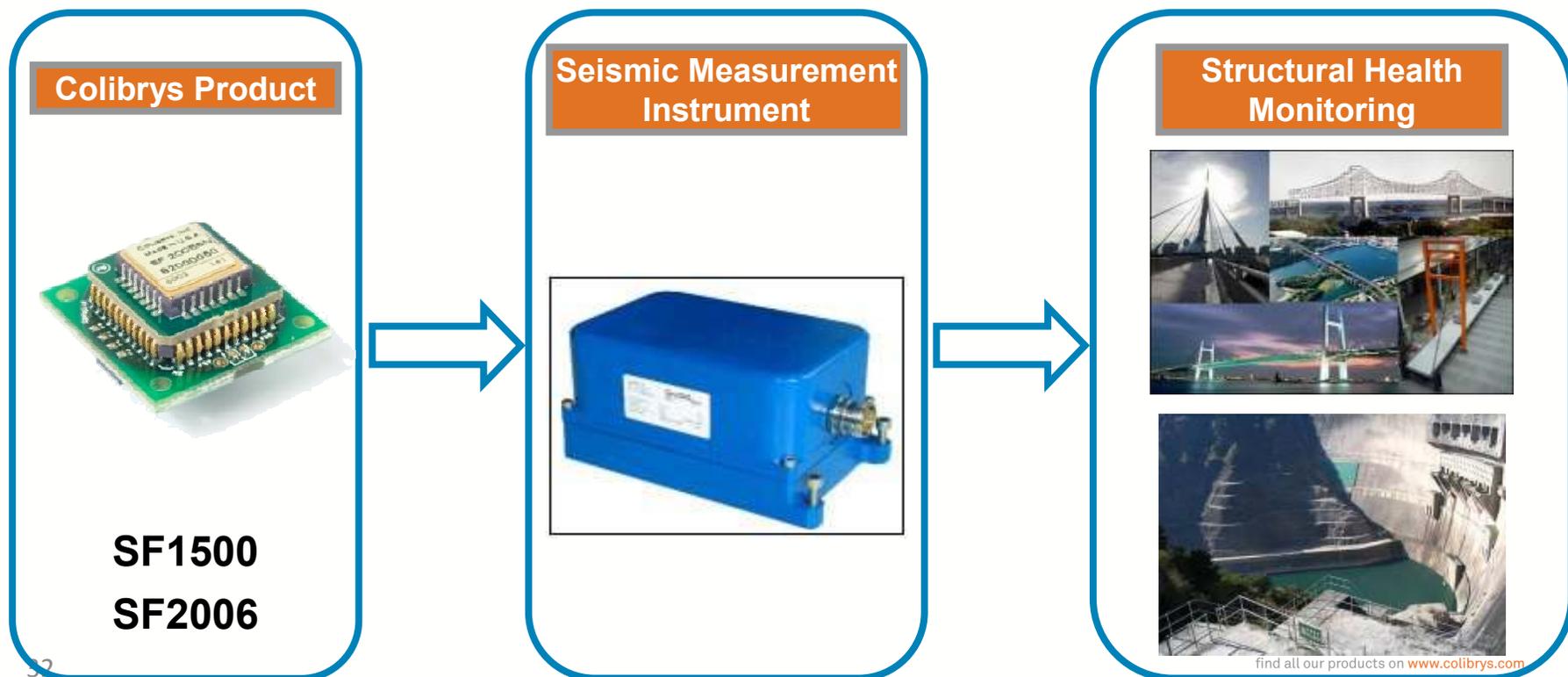
Mesure dynamique de très faible accélération



find all our products on www.colibrys.com



DE L'ACCELERO COLIBRYS A L'INSTRUMENT SISMIQUE





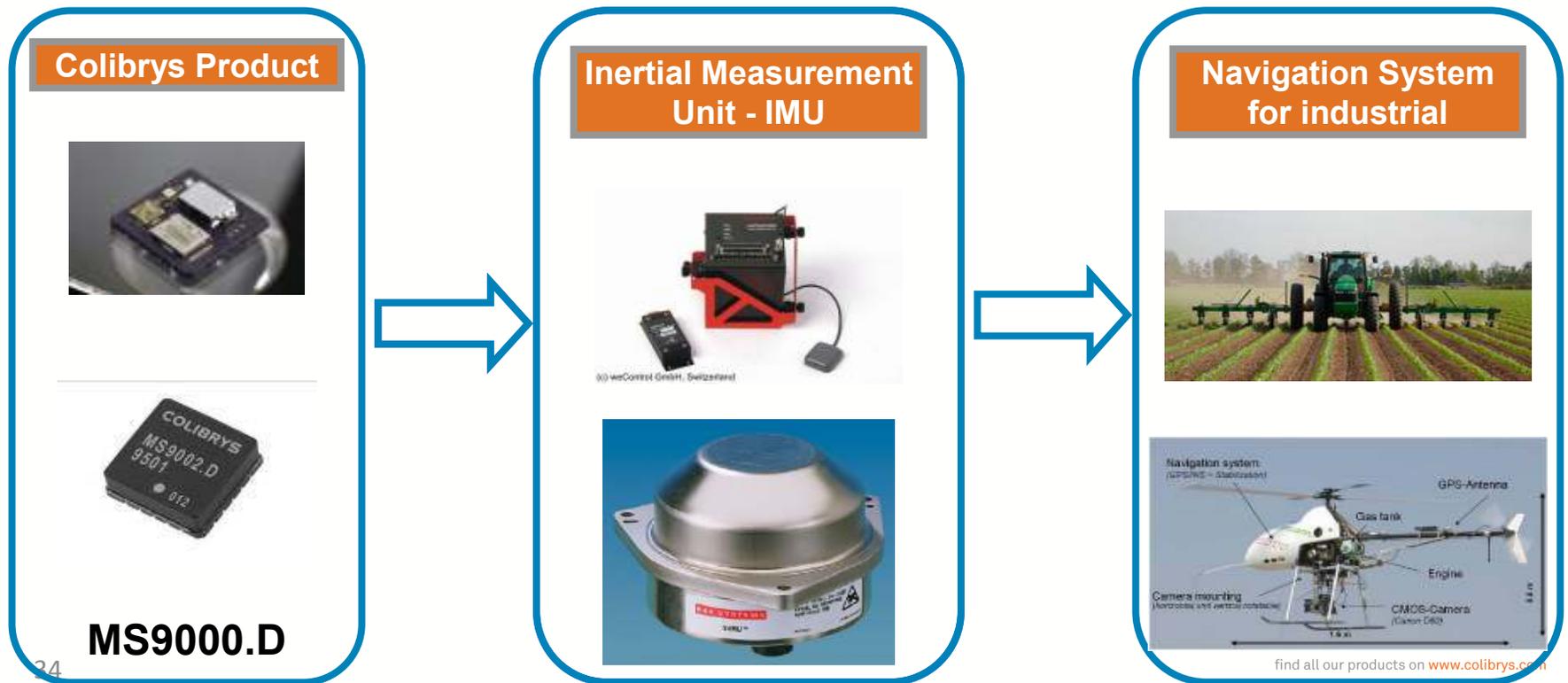
INERTIEL

Mesure inertielle de l'accélération,
vitesse et position





DE L'ACCELERO COLIBRYS A L'UNITE INERTIELLE





CONCLUSIONS

- Les MEMS font désormais partie intégrante de notre réalité
- La technologie a acquis une grande crédibilité économique et technique grâce à l'automobile
- Le multimédia (jeux, smartphone...) a pris la relève après l'automobile et est à la base de la croissance actuelle impressionnante de ce marché
- Des marchés niches commencent à qualifier et à bénéficier des avantages de cette technologie (Aéronautique, spatial)
- La technologie MEMS est un stimulateur de nouvelles idées et de nouvelles applications pour le futur

Merci pour votre attention

Colibrys SA
Maladière 83
2000 Neuchâtel
Switzerland
P +41 32 720 58 11
F +41 32 720 57 84
www.colibrys.com