

# 2

## Capteurs

LOISIRS  
& CULTURE

ÉNERGIE,  
MOBILITÉ,  
NUMÉRIQUE

ENVIRONNEMENT, HABITAT,  
SANTÉ ET BIEN-ÊTRE, SÉCURITÉ

ALIMENTATION

► Correspond à  
une technologie clé 2015

### MOTS CLÉS

Capteurs, détection,  
contrôle, mesures  
en ligne, biocapteurs,  
photonique



## Définition et périmètre

Un capteur est un système analytique intégré transformant une grandeur en un signal. Il permet la détection, la transmission et l'analyse de l'information recherchée. La figure 1 représente le schéma générique d'un capteur.

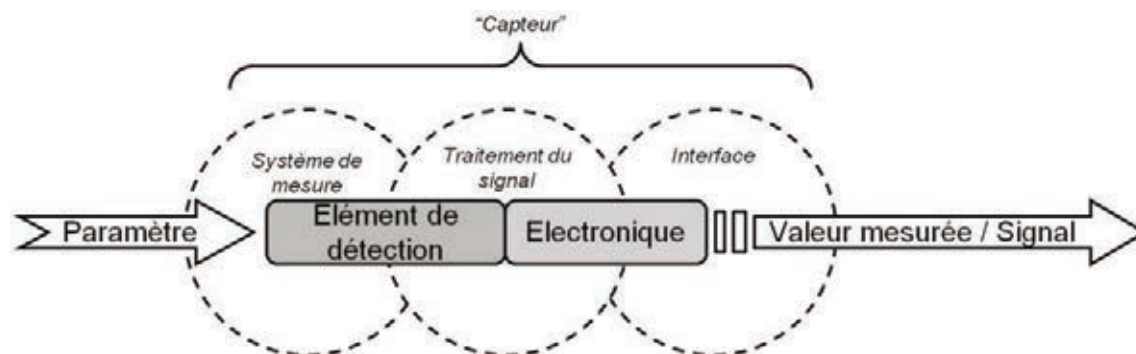


Figure 1 : Schéma du principe de fonctionnement d'un capteur<sup>1</sup>

Il existe différents types de capteurs suivant le paramètre ou phénomène qu'ils détectent : oxygène, turbidité, mouvement, température, pression, chute, fuite, etc. On parle respectivement de capteur physique, chimique ou biologique lorsque la grandeur détectée par le capteur est physique (température par exemple), chimique (molécule ou type de molécule par exemple) ou biologique (enzyme, anticorps par exemple).

Un biocapteur est un capteur pour lequel l'élément de détection est une molécule biologique. Il est à noter qu'en ce sens, les capteurs d'empreinte digitale par exemple ne sont pas des biocapteurs et les traceurs d'activité (comptage de pas, évaluation des phases de sommeil...) n'en sont pas systématiquement.

À titre d'exemples, trois familles technologiques largement représentées dans les capteurs sont les MEMS (Micro-Electro-Mechanical System), les capteurs d'image dont les CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor), la spectroscopie optique (capteur photonique).

Étant donnée leur flexibilité de conception, les capteurs sont utilisés dans tous les domaines d'application comme le montrent les exemples suivants qui ne représentent qu'une petite partie des utilisations :

■ Alimentation : capteurs dans les champs ou embarqués (contrôles climatologiques, agronomiques...),

capteurs pour évaluer la présence d'allergènes dans les aliments, nez électronique, contrôle de procédés industriels (qualité, sécurité) ;

■ Environnement : biocapteurs, prévision des besoins de production en eau, traitement de l'eau, surveillance de fuites, activité sismique, tri des déchets, surveillance de la pollution ;

■ Habitat : pilotage au quotidien des performances des bâtiments, comptage intelligent, maintenance prédictive, éclairage ;

■ Santé : recherche médicale, traceurs d'activité, contrôle de paramètres physiologiques (glycémie par exemple), contrôle de procédés industriels (qualité, sécurité) ;

■ Sécurité : détection de risques biologiques, détection d'intrusion, défense ;

■ Énergie : contrôle de procédé, surveillance d'équipements ;

■ Mobilité : détection de composants toxiques dans l'habitacle, diagnostic embarqué d'infrastructures, aide à la conduite/pilotage et conduite/pilotage automatique, maintenance prédictive, sécurité au volant ;

■ Communications numériques : robotique autonome, téléphones portables ;

■ Loisirs & culture : jeux immersifs.

<sup>1</sup> – Association for sensor technology, 2014 ; *Sensor trends 2014* (traduction Erdyn)

## Pourquoi cette technologie est-elle clé ?

L'amélioration des performances des capteurs est constante et s'effectue en parallèle d'une réduction des coûts de ces systèmes. Les capteurs contribuent de plus en plus à la mise en œuvre de systèmes d'informations complexes et automatiques et leur utilisation est devenue incontournable dans de nombreux domaines.

Par exemple, dans l'environnement, les capteurs sont utilisés pour la gestion de l'eau, la gestion de l'énergie, l'analyse de polluants chimiques et microbiologiques

(eau, air, sol). En santé, les traceurs d'activité, l'auto-contrôle de la glycémie chez le patient diabétique, les cardiofréquencesmètres et sondes pour la biologie sont autant de capteurs différents. Dans l'industrie, les capteurs sont également très utilisés en contrôle de procédé.

Ainsi il est clé de se positionner sur ce marché en forte croissance qui touche tous les secteurs d'activité à tous les niveaux des chaînes de valeur. Les capteurs sont clés tant en termes de marchés propres qu'à travers leurs utilisations dans les applications qu'ils servent.

## Liens avec d'autres technologies clés

Les capteurs influencent :	Domaines d'application	Les capteurs sont influencés par :
Intelligence artificielle (11) Internet des objets (5) Valorisation et intelligence des données massives (3)	Alimentation	Modélisation, simulation et ingénierie numérique (4)
Gestion intelligente de l'eau (35) Intelligence artificielle (11) Internet des objets (5) Robotique autonome (12) Technologies de diagnostic rapide (eau, air et sol) (36) Valorisation et intelligence des données massives (3)	Environnement	Métabotique (18)
/	Habitat	Communications sécurisées (13)
Internet des objets (5)	Santé	/
Cobotique et humain augmenté (10) Internet des objets (5) Valorisation et intelligence des données massives (3)	Sécurité	/
Technologies pour l'énergie nucléaire (44)	Énergie	/
Cobotique et humain augmenté (10) Internet des objets (5) Robotique autonome (12) Technologies pour la propulsion (45)	Mobilité	/
Analyse comportementale (19) Cobotique et humain augmenté (10) Internet des objets (5) Modélisation, simulation et ingénierie numérique (4) Nanoélectronique (46) Nouvelle intégration matériel-logiciel (20)	Communications numériques	Analyse comportementale (19) Communications sécurisées (13) Infrastructure de 5 <sup>e</sup> génération (6) Internet des objets (5) Modélisation, simulation et ingénierie numérique (4) Technologies immersives (14) Valorisation et intelligence des données massives (48)
Infrastructure de 5 <sup>e</sup> génération (6) Internet des objets (5) Valorisation et intelligence des données massives (3)	Loisirs & culture	Infrastructure de 5 <sup>e</sup> génération (16) Internet des objets (20) Valorisation et intelligence des données massives (3)

## Les marchés

Le marché mondial des capteurs a été évalué à 79,5 Md \$ en 2013 et est estimé à 154,4 Md \$ en 2020 avec une croissance annuelle de 10,1 % sur la période 2015-2020<sup>2</sup>.

Le marché des biocapteurs se développe à la même vitesse que celui des capteurs. En 2013, les biocapteurs représentaient un marché de 11,4 Md \$. Ce marché devrait atteindre 22,68 Md \$ en 2020 avec une croissance annuelle de 10 % entre 2014 et 2020<sup>3</sup>. Les principaux marchés des biocapteurs sont le médical, l'environnement, la sécurité et l'agroalimentaire.

Le segment des réseaux de capteurs sans fil est un nouveau segment qui connaîtra un fort développement dans les années à venir. Ce marché était de 0,45 Md \$ en 2012 et totalisera 1,8 Md \$ en 2024 d'après les prévisions<sup>4</sup>. Ce nouveau type de capteurs répartis investit un grand nombre de champs d'applications.

Les marchés des capteurs est multi-applicatif, certains marchés d'intérêt sont spécifiquement analysés et quantifiés. Quelques exemples sont cités ci-dessous.

Marché	Valeur actuelle	Valeur à 5 ans	CAGR sur la période
Automobile <sup>4</sup>	22,1 Md \$ en 2015	35,2 Md \$ en 2020	9,7 %
Environnement <sup>5</sup>	13,2 Md \$ en 2014	17,6 Md \$ en 2019	5,9 %
Agroalimentaire <sup>6</sup>	2,9 Md \$ en 2012	4,2 Mds \$ en 2018	6,4 %

## Les défis technologiques à relever

Les défis technologiques actuels ont principalement deux objectifs :

- améliorer les performances des réseaux de capteurs ;
- améliorer les performances des biocapteurs ;

2 – BCC research, 2014 : *Global markets and technologies for sensors*

3 – MarketsandMarkets, 2015 ; *Biosensors market by application, product, technology & geography – Analysis and forecast to 2020*

4 – IDTechEx, 2014 : *Wireless sensor networks (WSN) 2014-2024: forecast, technologies, players*

5 – BCC research 2014 : *Global markets for automotive sensor technologies*

6 – BCC research 2014 : *Environmental sensing and monitoring technologies: global markets*

7 – Frost & Sullivan, 2013 : *Sensors market in the global food and beverage industry*

- développer les capteurs complexes.

Les capteurs en réseau doivent notamment être durables et fiables tout en limitant au maximum l'intervention humaine lors de leur fonctionnement et en limitant leurs coûts.

L'autonomie énergétique des capteurs est un enjeu clé pour atteindre le critère de durabilité. Notamment, cela passe par la réduction de la consommation énergétique en fonctionnement (protocoles de communication économique en énergie {Lora de Sigfox ou protocole propriétaire de Qowisio par exemple}, amélioration de la connectique électrique...), optimiser la récupération d'énergie (soleil, température, vibrations...) et améliorer la durée de vie des systèmes de stockage de l'énergie.

La fiabilité des capteurs doit notamment être améliorée pour les réseaux sans fil afin de limiter l'impact des interférences et de la propagation par trajets multiples. En ce sens, le choix du mode de communication et des modalités de communication devra être adapté à l'environnement du capteur afin de garantir des niveaux de fiabilité importants.

De plus, le coût des capteurs étant un verrou clé, l'objectif est d'améliorer les performances globales du réseau en exploitant au maximum les informations données par tous les capteurs et en recoupant les informations entre les différents capteurs, notamment des capteurs bas coût à performance individuelle limitée.

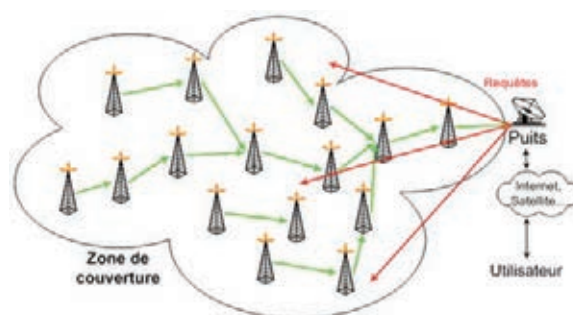


Figure 2 : Illustration du fonctionnement d'un réseau de capteurs

Pour les biocapteurs, de nouveaux systèmes de détection sont régulièrement en cours de développement afin d'améliorer la sélectivité des capteurs et d'augmenter le nombre et le type de molécules détectées.

Concernant les biocapteurs et de manière plus générale les capteurs à destination de la santé et de l'environnement, la miniaturisation continue d'être un enjeu fort afin d'obtenir des capteurs plus faciles à intégrer aussi bien pour un patient que pour les mesures sur site en environnement et sécurité. Les technologies NEMS (Nano Electro Mechanical Systems) doivent aider à passer les barrières de la miniaturisation. Ce ne sont pas les seules technologies cependant, comme le montre le développement de SWIFTS par Resolution Spectra Systems, un spectromètre haute résolution et ultra compact. De plus, les technologies de microfluidiques et nanofluidiques contribuent également à rendre possible la miniaturisation des capteurs reposant sur la circulation de fluides.

Enfin, l'intégration des capteurs dans les produits finaux est clé pour leur adoption par les marchés applicatifs. Cette problématique n'est pas nouvelle mais reste actuelle car elle survient quelle que soit l'application concernée. En ce sens, des disciplines comme la mécatronique (intégration de l'électronique dans des pièces mécaniques) et la plastronique (intégration de l'électronique dans des pièces plastiques) doivent être favorisées afin d'adresser la problématique d'intégration en amont.

## Les défis commerciaux et d'usage à relever

Le marché des capteurs est mature du point de vue commercial. C'est un marché international, structuré et pour lequel les modèles économiques sont connus (à l'exception des modèles d'exploitation des données récoltées par les capteurs).

Les avancées technologiques notamment en lien avec la sélectivité des capteurs, le traitement du signal, l'autonomie énergétique et la miniaturisation des capteurs ont permis d'accroître considérablement leurs domaines d'application. L'un des plus grands freins actuels à leur généralisation est la réduction des coûts des capteurs performants afin de pouvoir introduire ces capteurs dans des marchés de masse comme l'automobile ou les produits de grande consommation.

De plus, outre le coût du capteur en lui-même, son intégration peut également être coûteuse. Une meilleure exploitation des données récoltées par les capteurs représente également une voie de réduction des coûts d'utilisation des capteurs (voir paragraphe défis technologiques). Il faut donc raisonner dans une logique de mesure à bas coût et pas seulement dans une logique de capteurs à bas coût.

La standardisation des langages de communication est clé pour le développement commercial des capteurs. En effet, si trop de langages qui ne communiquent pas entre eux existent, cela réduit la flexibilité des utilisateurs et ainsi ralentit le déploiement d'une technologie. Ce processus est actuellement en cours au niveau international et permettra le déploiement du marché.

Enfin, les capteurs dans les domaines de la sécurité de fonctionnement des systèmes, demandant des garanties de fonctionnement, doivent répondre à des processus de validation longs et coûteux qu'il est indispensable de prendre en compte dans leur déploiement commercial (par exemple, intégration de nouveaux capteurs dans les avions commerciaux).



© THALES Quentin Reyfnas

## Les enjeux réglementaires

Il n'y a pas de contrainte réglementaire générique sur les capteurs. Leur intégration s'appuie sur le cadre des différents marchés applicatifs le cas échéant.

En revanche, la réglementation peut être moteur dans le déploiement commercial des capteurs notamment

sur les domaines de contrôle des effluents, contrôle de la qualité de l'air, de l'eau et des sols et amélioration des performances énergétiques.

Il y a également un fort enjeu pour les acteurs européens que l'Europe se dote d'une réglementation commune dans le but de déployer plus facilement les

technologies en disposant d'un marché plus vaste. En effet, une telle harmonisation – qui se fait sur les marchés d'application – donnerait aux entreprises européennes un accès facilité à l'ensemble du territoire européen et renforcerait leur taille critique par rapport aux acteurs américains ou asiatiques.

## Analyse AFOM

### ATOUTS

Capacités d'innovation fortes au sein des centres de R&D

Présence de donneurs d'ordre qui sont des leaders internationaux

### FAIBLESSES

Difficulté de transfert des innovations vers les PME

### OPPORTUNITÉS

Utilisation de la réglementation comme accélérateur du développement

Fortes tendances mondiales à mesurer, contrôler les phénomènes pour mieux les optimiser

Forts besoins dans les pays en développement pour le contrôle de l'énergie et de l'eau

### MENACES

Forte concurrence à l'international

---

## Facteurs clés de succès et recommandations

Le développement de nouveaux capteurs nécessite de mener des projets de recherche afin d'adapter des technologies à des usages spécifiques et des niveaux de performances requis. Ainsi, le financement de projets de recherche dans le domaine permettra d'assurer un développement de ces technologies sur le long terme et dans des domaines d'application toujours plus variés. Une partie de ces projets devra préférentiellement porter

sur la conception du capteur, l'analyse de ses performances et son intégration dans les systèmes finaux afin de favoriser leur valorisation sur le marché.

La standardisation est une étape clé dans tout développement industriel. Il est nécessaire que les acteurs français participent à l'élaboration des standards des langages de communication afin de promouvoir les systèmes français et ainsi faciliter l'accès à l'export.

---

## Acteurs clés

Industriels fabricants des capteurs ou des technologies pour les capteurs : ST Microelectronics (nombreux domaines d'application), Ocaseoft (agroalimentaire, santé), Global Sensing Technologies (nombreux domaines d'application), Parrot (mobilité, sécurité), Fly-n-Sense (environnement), T-Waves Technologies (nombreux domaines d'application), Bodysens (santé, sécurité), Tronics Microsystems (nombreux domaines d'application), Sigfox (nombreux domaines d'application), Confluens (habitat), Whittings (santé), Sofradir (sécurité, défense), Safran (sécurité), Synnav (nombreux domaines d'application), Qowisio, Resolution Spectra Systems (nombreux domaines d'application), Spectralys (agroalimentaire), Pellenc ST (gestion des déchets), Force A (mesures agricoles), Leosphere (météorologie), Environnement SA (environnement), Indatech (capteurs photoniques), Effilux (éclairage), Sites (capteurs MEMS pour l'habitat).

Exemples d'industriels produisant des produits contenant des capteurs : Valéo (mobilité), Airbus (mobilité), Electricfil (EFI) (mobilité), IER (groupe Bolloré, mobilité), Suez (environnement), Veolia (environnement), Schneider Electric (nombreux domaines d'applica-

tion), Somfy (habitat), Legrand (habitat), Areva (énergie), EDF (énergie), Saint-Gobain (habitat), Bouygues (habitat)

Laboratoires de recherche et centres techniques : IEMN (Institut d'Électronique, de Microélectronique et de Nanotechnologies), FEMTO ST (Franche-Comté Électronique Mécanique Thermique et Optique - Sciences et Technologies), LNIO (Laboratoire de Nanotechnologie et d'Instrumentation Optique, UTT), LASMEA (Laboratoire des Sciences et Matériaux pour l'Électronique, et d'Automatique), Inserm

Instituts Carnot : CEA List, CEA Leti, Ifpen TE, Énergies du Futur, M.I.N.E.S., Ifremer, Inria, Irstea, BRGM, LAAS CNRS

Pôle de compétitivité : Vitagora, pôle risques, SCS (Solutions Communicantes et Sécurisées), Medicen, Optitec, Minalogic, TES (Transactions Électroniques sécurisées), Dream

Clusters/Réseaux : i-Care, Optics Valley

Association : Jessica France (porteuse du programme Cap'Tronic), Actia (Réseau français des instituts techniques de l'agroalimentaire)

## Position des acteurs français

Position des entreprises françaises dans la compétition mondiale	
En position de leadership	
Dans la moyenne	●
En retard	

Position des acteurs académiques français dans la compétition mondiale	
En position de leadership	●
Dans la moyenne	
En retard	