



OUEST  
**VALORISATION**  
Ressources d'innovation

## STRUCTURAL HEALTH MONITORING

Mai 2018



Dossier réalisé en  
partenariat avec

**In Extenso**  
Innovation Croissance





**H**istoriquement focalisé sur la surveillance des grands ouvrages d'art tels que les ponts, barrages ou tunnels, le monitoring de structure s'est rapidement étendu à la surveillance des dommages et à l'évolution des caractéristiques des structures.

Porté par l'émergence des capteurs et des réseaux de l'Internet des objets (IoT), le domaine connaît aujourd'hui un essor considérable, accompagné par des technologies toujours plus variées et innovantes, au cœur de l'écosystème deep tech du SHM.

Le SHM, Structural Health Monitoring ou le « contrôle de santé des structures » consiste à surveiller l'intégrité d'une structure en y plaçant des capteurs pour prévoir ou détecter l'apparition de défauts. Reposant sur des technologies de Contrôle Non Destructif (CND), les SHM permettent d'anticiper les dégradations d'une structure pour éviter les accidents. Ces capteurs sont couplés à des systèmes de traitement des signaux et l'étude des résultats permet de favoriser la maintenance et d'optimiser l'intégrité et la durée de vie des produits.

Le SHM s'inscrit donc dans une stratégie à la fois d'économies et de précautions pour les industriels et les institutions. Avec l'évolution des technologies et la meilleure maîtrise des méthodes, les coûts des systèmes de SHM ont connu une décroissance importante depuis une vingtaine d'années. Cette baisse des coûts a permis de démocratiser et d'appliquer le monitoring à des structures plus petites, et à élargir son champ d'application. Un ensemble varié de secteurs profite de ces avancées, voire développent leurs propres solutions : l'aéronautique, l'énergie, en particulier le domaine des éoliennes, l'automobile, le transport ferroviaire, l'industrie chimique et la construction navale mais aussi le génie civil. Les applications du SHM dans la surveillance des ouvrages (ponts, tunnels, barrages, bâtiments,...) existent depuis plusieurs décennies.

En connexion avec les besoins du marché, la SATT Ouest Valorisation sélectionne et accompagne de nombreux projets ambitieux qui participeront au développement des technologies SHM de demain. C'est donc avec un très grand plaisir que nous vous présentons ce dossier thématique, une lecture qui vous permettra de cerner les enjeux de ce secteur d'avenir.

Très bonne lecture.

**Bruno Westeel**  
Responsable marketing & communication  
SATT Ouest Valorisation

Les rédacteurs :



**Nathalie Gréal**  
Chargée de marketing  
SATT Ouest Valorisation



**Arnaud Trochet**  
Ingénieur cartographie/veille  
SATT Ouest Valorisation



**David Afriat**  
Associé

In Extenso Innovation Croissance  
david.afriat@inextenso-innovation.fr  
Tél : +33 (0)6 50 21 19 25



**Nicolas Louée**  
Consultant confirmé  
In Extenso Innovation Croissance  
nicolas.louee@inextenso-innovation.fr  
Tél : +33 (0)6 58 46 71 47

# SOMMAIRE

**#1**

Le SHM en infographie  
*Page 4*

**#2**

Interview de  
Franck Schoefs  
*Page 6*

**#3**

Panorama du marché  
réalisé en collaboration avec In Extenso  
Innovation Croissance  
*Page 7*

**#4**

La cartographie des brevets  
*Page 14*

**#5**

Les offres de technologies de la  
SATT Ouest Valorisation  
*Page 16*

**#6**

Les plates-formes technologiques de la  
SATT Ouest Valorisation  
*Page 22*

**#7**

Pour plus d'infos : la SATT Ouest Valorisation,  
véritable pont entre le public et le privé  
*Page 26*

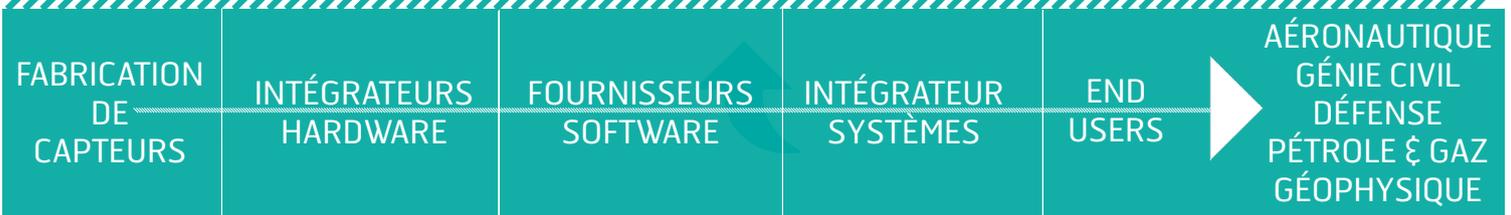
**#8**

Votre contact  
*Page 28*

# MARCHÉ DU SHM EN INFOGRAPHIE

1,13 Milliard \$ en 2016  
3,2 Milliards \$ en 2023

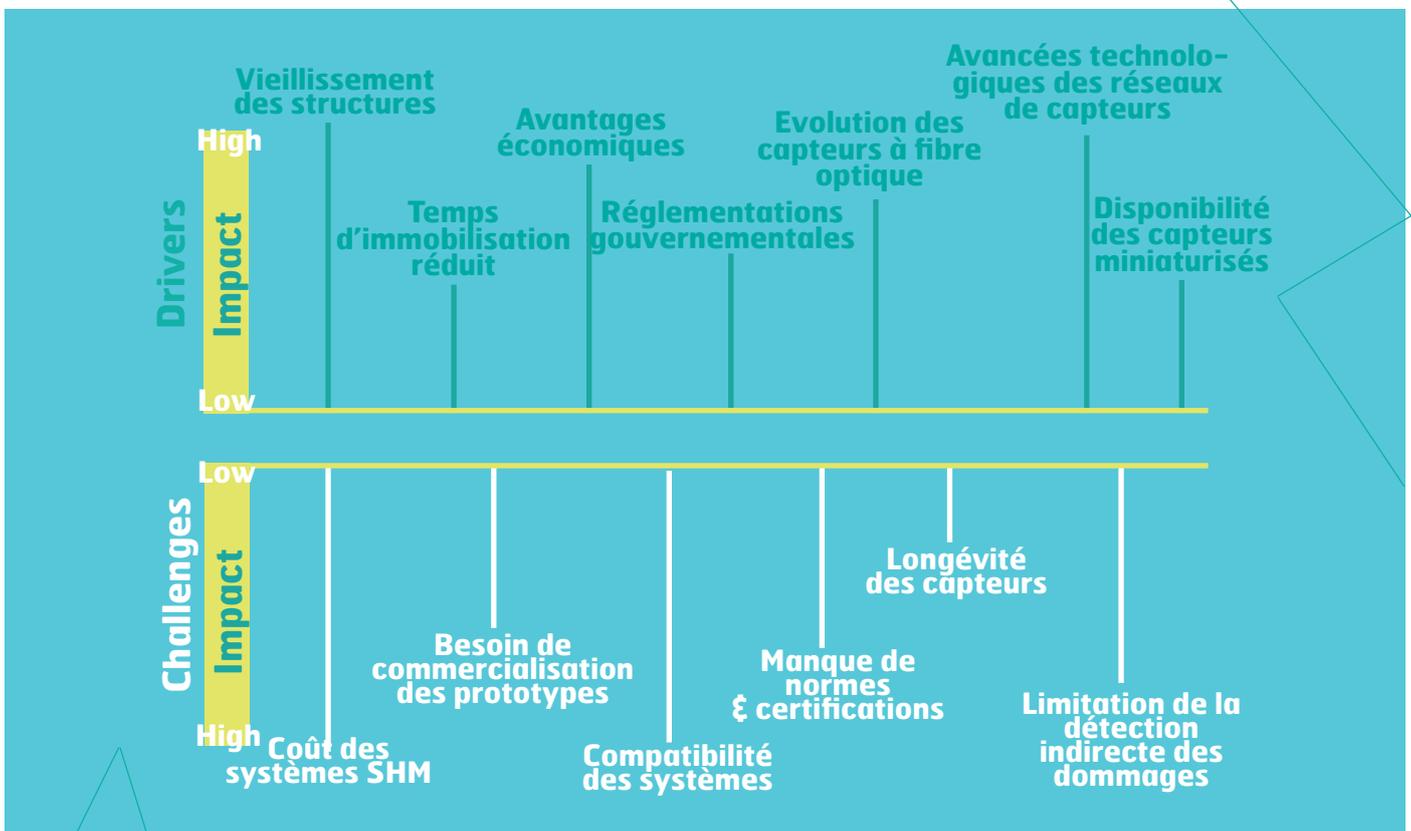
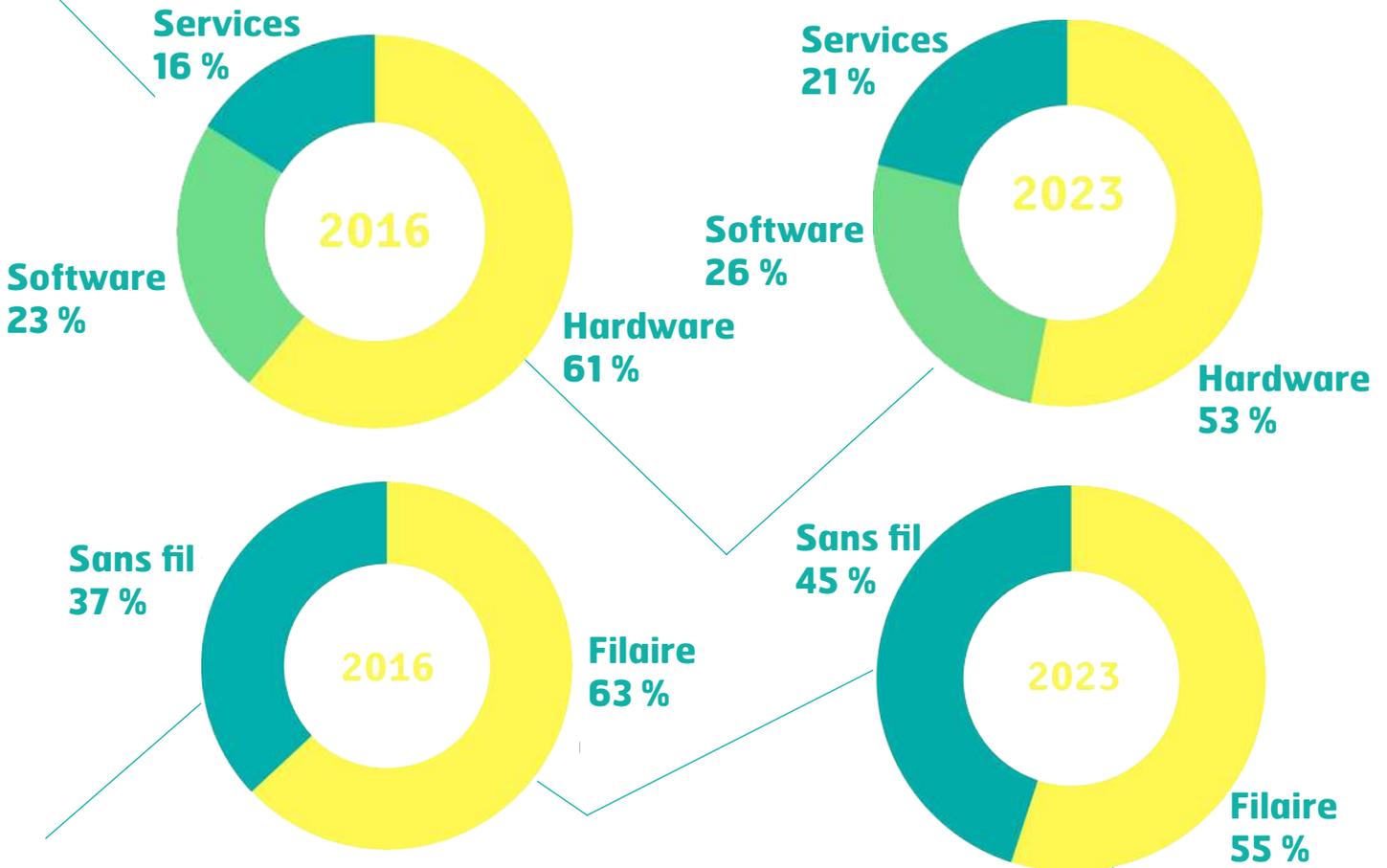
+ 19 %  
CAGR



**BÉNÉFICES**

- Amélioration de la sécurité
- Diagnostic simple
- Réduction des coûts
- Monitoring en temps réel

Sources : Frost & Sullivan  
In Extenso Innovation Croissance  
Allied Market Research



# 5 QUESTIONS À ...

## Franck SCHOEFS

*Chercheur à l'Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique, Référent de la filière EMR*

### **Sur quoi travaillez-vous actuellement ?**

L'équipe TRUST que je dirige (Contrôle de Santé, Calcul et Fiabilité des Structures) travaille particulièrement sur l'instrumentation de structures. Son originalité est de réunir des physiciens, des mécaniciens et des fiabilistes afin d'être en mesure de développer des systèmes originaux (1 brevet par personne tous les deux ans), d'évaluer leur performance et de réaliser leur mise en oeuvre. Les deux axes que nous développons sont des systèmes de mesure embarqués pour la dégradation de matériaux en mer d'une part et pour le comportement mécanique d'autre part.

### **Pouvez-vous nous expliquer, simplement ce qu'est le monitoring de structures ?**

Le monitoring répond d'abord à un besoin : amélioration de la connaissance (cas des tests en bassin), détection d'anomalies en phase d'installation, détection de défaillances en service. Il couvre donc plusieurs secteurs scientifiques et technologiques : le capteur, son intégration à la structure, l'acquisition, la transmission et le stockage de données, le traitement des données et leur introduction dans des outils d'aide à la décision. La finalité est d'améliorer la connaissance de ce qui se passe à l'intérieur d'un matériau afin de prendre une décision précoce qui limite les conséquences et leur impact économique.

### **Quelle est l'importance des avancées technologiques dans ce domaine pour les industriels du secteur ?**

Comme l'a bien compris le réseau Néopolia au travers de ses solutions EMR 5 et 6, le monitoring doit apporter des informations à terre sur ce qui se passe en mer afin de réduire les interventions mer et les programmer au meilleur moment. C'est à l'orée du gain économique, en moyenne, apporté par un système de monitoring qu'il doit être évalué. C'est d'ailleurs ce que nous avons retenu il y a quelques semaines à Lisbonne, à l'Industry Innovation Day de l'action européenne « Quantifying the Value of Structural Health Monitoring » lors des échanges

des 5 experts, dont l'Université de Nantes faisait partie avec un réseau européen d'industriels.

### **Selon-vous quelles sont les tendances de la filière SHM dans les prochaines années ?**

Le monitoring n'est pas encore un marché mature. Comme nous l'avons évoqué ci-dessus, il couvre plusieurs secteurs et il faut en avoir une vision intégrée. Il est donc important que l'ingénierie au travers des formations s'approprie cette intégration. Le second besoin est la normalisation. Nous avons testé des capteurs vendus sur le marché qui ne sont pas au niveau de performance annoncé soit au niveau de l'erreur de mesure (qui va générer des fausses alertes) soit au niveau de la durée de vie (jamais annoncée par un fournisseur). C'est pourquoi nous développons des essais en laboratoire pour les évaluer et que notre station de mesure biocolmar (en mer depuis juin 2017), nous permet de tester la marinisation de systèmes. Nous avons pour cela des systèmes de mesure uniques en France.

### **Quelle est l'avancée technologique dans le domaine qui vous a le plus marquée ?**

L'apparition de la fibre optique puis la réduction des coûts associés ont marqué les différents secteurs car elle a permis de réaliser une grande quantité de mesure à partir d'un seul appareil et d'un seul câblage. J'aurais tendance à y ajouter aussi, sur le même plan, la miniaturisation de l'électronique et la transmission qui se fait de plus en plus sans fil. Toutefois, l'avancée la plus marquante est invisible : on est en mesure maintenant de simuler numériquement le comportement d'un capteur dans la matière en intégrant les incertitudes ce qui permet en quelques jours d'étudier un nombre de configurations qui auraient nécessités des mois de tests auparavant.

# PRINCIPALES TENDANCES DANS LE DOMAINE DU SHM

## UN MARCHÉ DE 800 MILLIONS D'EUROS EN 2016 TIRÉ PAR LE DÉVELOPPEMENT DE SERVICES

**In Extenso**  
Innovation Croissance

Le marché global du Structural Health Monitoring était évalué à 1.13 milliard de dollars en 2016 soit près de 811 millions d'euros selon une étude Allied Market Research<sup>1</sup>. Grâce à une croissance de près de 19% le marché devrait atteindre 3.22 milliards d'euros en 2023. Une segmentation selon la partie software, la partie hardware et la partie services du SHM permet de dégager des dynamiques différentes. En effet, la partie software représentait 23% du marché en volume en 2016 et devrait atteindre 26% en 2023 tandis que la partie hardware représentait 61% du marché et devrait diminuer à 53% en 2023.

La partie hardware (capteurs et systèmes d'acquisition de données) est le segment dominant sur le marché, avec une croissance estimée à 16% à l'horizon 2023. En revanche c'est le secteur des services qui a la plus forte croissance avec presque

25% jusqu'à 2023.

En Europe et en Amérique du nord, la croissance est notamment tirée par le vieillissement des infrastructures, des flottes aériennes, ferroviaires et maritimes. Les marchés d'Asie Pacifique et du Moyen Orient ont la croissance la plus importante avec plus de 25% sur la période 2017-2023.

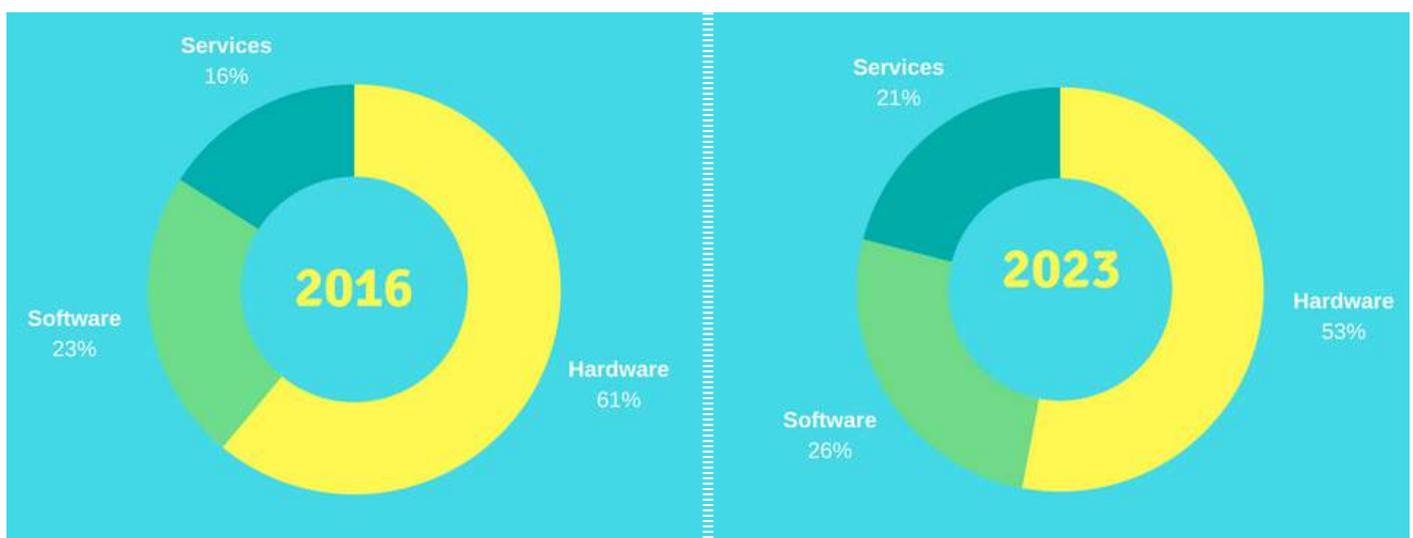
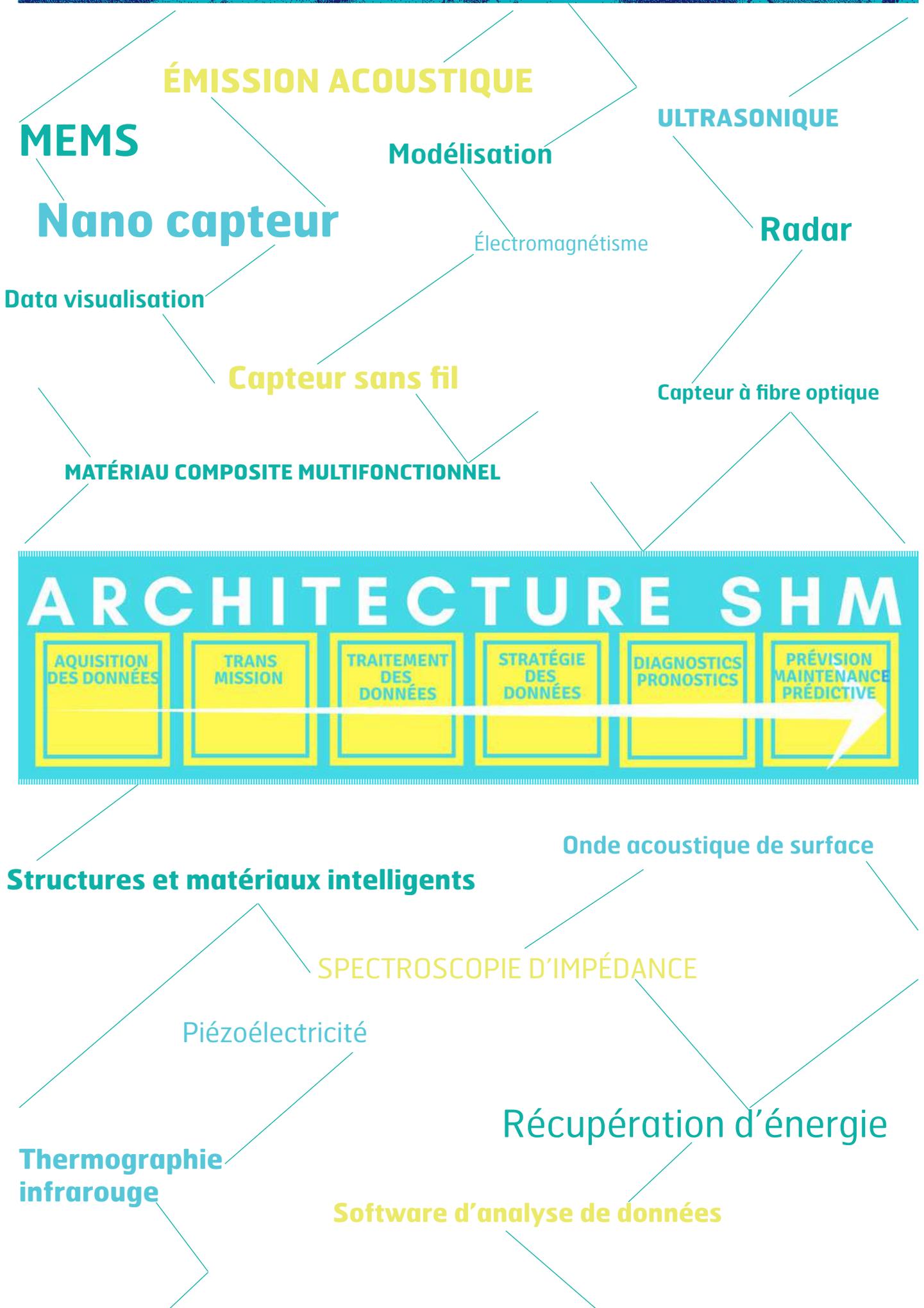


FIGURE 1: Segmentation du marché du SHM par segments en volume % (prévisions 2023)

<sup>1</sup> Allied Market Research - Global Structural Health Monitoring market 2017-2023



### Le SHM profite depuis plusieurs années du développement global des objets connectés

On peut diviser les capteurs utilisés dans la SHM en fonction de leur technologie ou de leur connectivité : on retrouve ainsi des capteurs câblés et des capteurs connectés. L'approche la plus conventionnelle concerne les capteurs câblés via notamment la fibre optique. Un des désavantages de cette technologie réside dans la non-communication des capteurs entre eux, en plus du temps et du coût important d'installation.

Le SHM profite depuis plusieurs années du développement global des objets connectés (IoT) pour gagner des parts de marché. Ces capteurs intelligents ont des coûts d'installation et de maintenance inférieurs aux capteurs présentés ci-dessus et ont la capacité de communiquer entre eux. Plusieurs architectures sont disponibles pour les capteurs sans fil : le réseau en étoile, le peer to peer et two tier. On retrouve d'autres techniques comme l'ultrason, l'émission acoustique, l'analyse vibratoire, la technique de différentiel de pression ...

### Les technologies du SHM forment une chaîne de mesure complète basée sur 3 maillons

Le Structural Health Monitoring n'est pas une seule technologie, mais regroupe un ensemble de briques technologiques différentes, qui une fois associées et intégrées dans une solution **forme une chaîne de mesure complète basée sur trois maillons**. Au début de la chaîne, un nœud de capteurs permet l'acquisition des données, un réseau de capteurs va ensuite acheminer l'information jusqu'au collecteur et enfin l'application SHM va permettre via l'analyse et la gestion des données récoltées d'améliorer la maintenance des structures

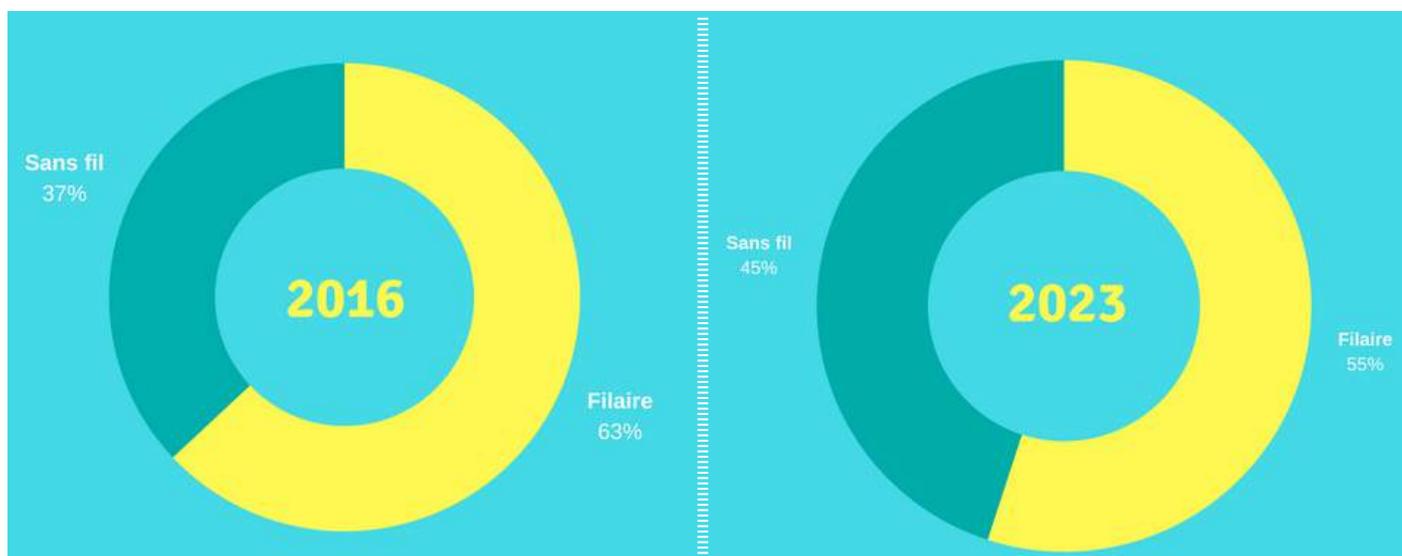


FIGURE 2: Segmentation du marché du SHM par connectivités en % (prévisions 2023)

Connectivités	Marché (2023)	CAGR% (2016-2023)
Filaire	2.1 Md\$	16.7%
Sans fil	1.7 Md\$	22.3%

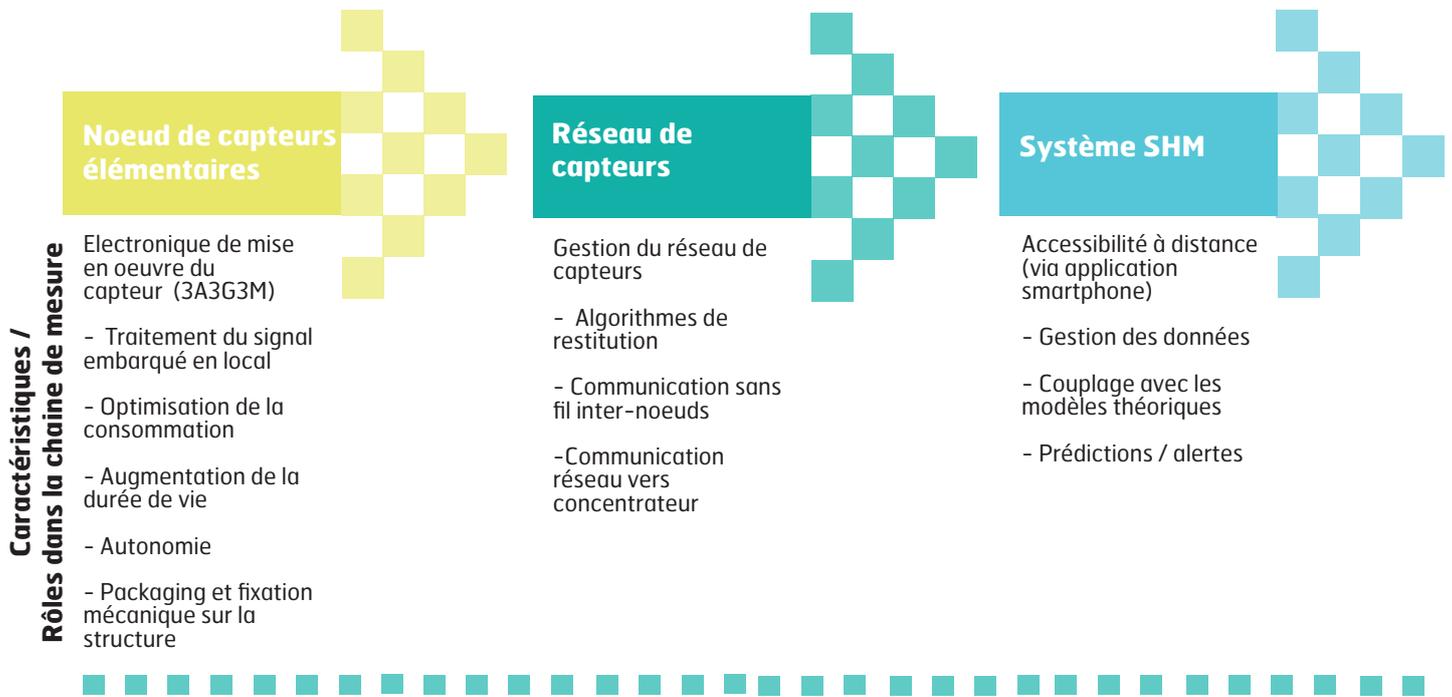


FIGURE 3 : Description de la chaîne de mesure du SHM<sup>2</sup>

## Une diffusion des technologies SHM dans différents secteurs d'activité

On retrouve le Structural Health Monitoring dans différents secteurs d'activité comme l'aérospatial, la défense, l'énergie, mais c'est le génie civil qui est le secteur le plus important avec 60% du marché.

- Le marché du SHM dans le génie civil est estimé à 2,5 milliards de dollars en 2023. Le SHM dans le secteur du génie civil permet en plus des réductions des coûts de maintenance, d'avoir une meilleure compréhension du comportement des structures quand ils sont soumis à différentes variations dynamiques. La majeure partie des ouvrages d'art couverts par du SHM sont des ponts, on peut notamment citer la surveillance en continu du viaduc de Millau en France.

- L'aéronautique est le deuxième secteur le plus important des SHM, ce marché représente 572 millions de dollars en 2023, c'est un segment en croissance. L'augmentation du prix des carburants, la rigidification des normes environnementales poussent les industriels à développer des systèmes qui permettent de surveiller les microfissures, corrosions et autres dommages sur les structures. Les SHM utilisés sont principalement de types acoustiques, électriques et de mesures de contraintes. Le tout premier système SHM a été certifié pour l'aéronautique en 2016, la startup Permasense issue de l'Imperial Collège, qui a développé un système de suivi de corrosion non intrusive sans fil, a été rachetée par le groupe

américain Emerson Process Management.

- L'industrie de l'énergie extrait, produit et distribue l'énergie à partir de ressources fossiles ou renouvelables. Eoliennes, barrages, plateformes d'extraction de pétrole, certaines structures sont vieillissantes et non monitorées. La maintenance en continu de ces structures est indispensable tant pour l'environnement que pour la sécurité. Pour les énergies renouvelables marines (EMR), les technologies SHM offrent un large éventail de solutions de monitoring avec par exemple, des suivis de durée de vie des composants d'ancrage pour les éoliennes marines ou de protection des câbles sous-marins ... ce marché est évalué à 175 millions de dollars en 2023.

<sup>2</sup> Structural Health Monitoring - Leti - Alexandre Paleologue

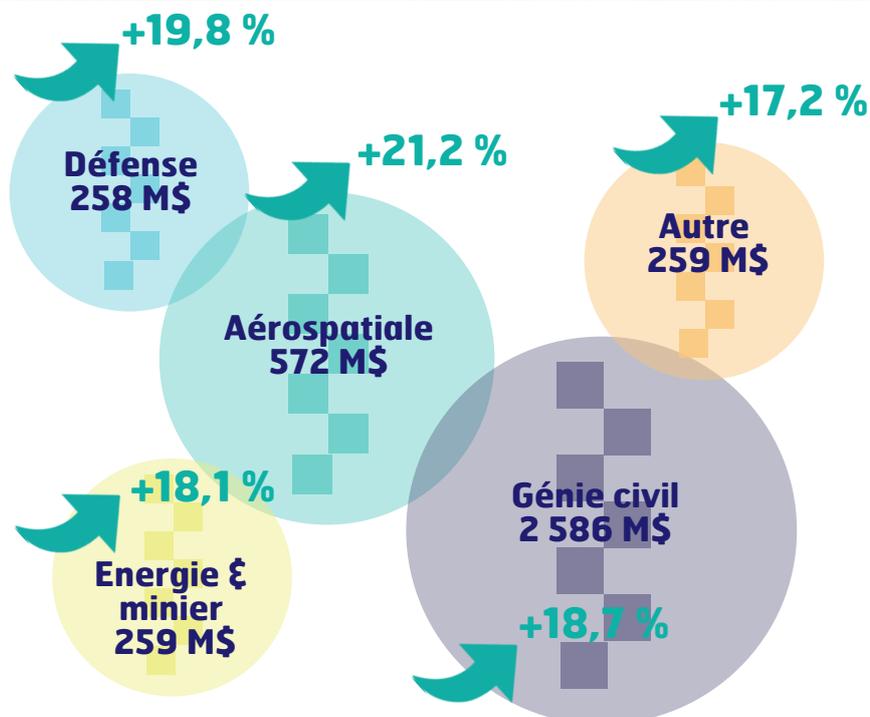


FIGURE 4 : Revenu des marchés et pourcentage de croissance du SHM par secteur d'activité (Prévisions 2023)<sup>3</sup>

## Panorama des impacts socio-économiques des technologies SHM

Dans les années à venir, les technologies de SHM devraient apporter aux constructeurs et industriels une solution innovante pour améliorer la surveillance de leurs infrastructures et répondre à de nombreux enjeux sociétaux.

En effet, un des premiers avantages repose sur la surveillance en temps réel des structures qui permet le passage d'une maintenance curative à une maintenance prédictive. Ce changement de paradigme entraîne une diminution des coûts de maintenance.

Au-delà des coûts, la maintenance prédictive permet aussi de prévenir certaines catastrophes environnementales comme l'explosion de plateformes pétrolières offshore ou de pipelines de transport d'hydrocarbures et gaz. Huit ans après l'explosion de la plateforme pétrolière de Deepwater Horizon qui avait engendré la plus grande marée noire que les Etats-Unis aient connue, l'administration Trump souhaite relancer les forages offshore<sup>4</sup>.

L'habilité des systèmes SHM à monitorer en continu l'intégrité des structures en temps réel renforce enfin la sécurité à la population en particulier pour les ouvrages d'art comme les ponts, des digues ou les bâtiments potentiellement dangereux comme les centrales nucléaires. On a récemment pu voir un pont piétonnier s'écrouler sur une autoroute à

Miami aux Etats-Unis<sup>5</sup> ou l'effondrement d'un viaduc en construction en Colombie, ces deux catastrophes faisant plusieurs victimes.

### Focus sur les usages transverses des technologies SHM

- Surveillance en temps réel, locale d'une déformation accidentelle (rail par exemple)
- Monitoring des effets thermo-élastiques / mécaniques d'une structure (éolienne, pipeline)
- Constitution d'un modèle 3D et monitoring en temps réel d'un environnement à risques (différents ouvrages d'art)

<sup>3</sup> Allied Market Research - Global Structural Health Monitoring market 2017-2023

<sup>4</sup> Huit ans après la catastrophe de Deepwater, Trump relance l'exploitation offshore [http://www.lemonde.fr/energies/article/2018/01/05/huit-ans-apres-deepwater-horizon-donald-trump-relance-l-exploitation-de-petrole-en-mer\\_5237694\\_1653054.html](http://www.lemonde.fr/energies/article/2018/01/05/huit-ans-apres-deepwater-horizon-donald-trump-relance-l-exploitation-de-petrole-en-mer_5237694_1653054.html)

<sup>5</sup> Effondrement d'un pont piétonnier à Miami – [http://www.lemonde.fr/ameriques/article/2018/03/15/effondrement-d-un-pont-pietonnier-a-miami\\_5271707\\_3222.html](http://www.lemonde.fr/ameriques/article/2018/03/15/effondrement-d-un-pont-pietonnier-a-miami_5271707_3222.html)

## Time-to-market et freins identifiés à l'adoption de ces nouvelles technologies

Toutefois on retrouve des verrous notamment technologiques à lever pour une meilleure intégration des technologies SHM<sup>6</sup>. L'objectif premier des technologies SHM n'étant pas l'acquisition des données mais la délivrance d'informations accessibles et utiles, l'amélioration du traitement de ces données est un des enjeux majeurs de demain.



FIGURE 5 : Synthèse des freins à lever pour une meilleure diffusion des technologies SHM (Source : analyse In Extenso Innovation Croissance )

<sup>6</sup> Challenges in data management for structural health monitoring – Dietmar Maicz

## Fédérer les acteurs du domaine grâce à la première journée nationale dédiée<sup>7</sup>

*Le 15 mars 2018 s'est tenue la première journée nationale dédiée au « Structural Health Monitoring (SHM) » en France, qui avait pour ambition de lancer la réflexion sur une structuration de cette filière technologique en émergence. Il en est ressorti une volonté commune de créer une structure fédératrice des acteurs du domaine afin de promouvoir la technologie.*

### Les énergies marines renouvelables, un marché prometteur

Alors que les technologies de Structural Health Monitoring apportent avec elles bon nombre d'opportunités dans des secteurs d'activités variés, il reste néanmoins des freins au déploiement de ces technologies, pour certaines, encore en développement.

Un des facteurs clés pour l'adoption du Structural Health Monitoring est de pouvoir limiter les coûts de maintenance via un passage de la maintenance curative à une maintenance prédictive. Cette tendance participera à une adoption forte des technologies SHM auprès des industriels qui cherchent à être plus compétitifs tout en améliorant leur performance.

Les modèles statistiques joueront un rôle important dans l'évolution de ces technologies. L'intelligence artificielle pourrait devenir un acteur majeur de la chaîne de valeur du traitement de données, un modèle apprenant, implanté par des informations passées et pouvant ainsi déterminer les caractéristiques de la structure en estimant la durée potentielle d'utilisation restante.

Des technologies comme les capteurs piézoélectriques souples ou encore les mini capteurs de la société Nanolike<sup>8</sup> mesurant seulement 0.1 millimètre carré et étant 10 000 fois moins énergivores que des technologies concurrentes sont amenés à disrupter le marché du SHM.

Les énergies renouvelables marines sont un exemple d'application dans lesquelles les technologies SHM auront une utilité dans les années à venir. La filière industrielle française des énergies renouvelables marine est en cours d'émergence tout comme les applications SHM qui sont une nécessité pour ce genre de structures où l'environnement est particulièrement agressif.

<sup>7</sup> Une initiative pionnière pour le SHM <http://www-list.cea.fr/medias/toute-l-actualite/2018/369-16-mars-2018-une-initiative-pionniere-pour-le-shm>

<sup>8</sup> IoT : les capteurs miniatures de Nanolike séduisent les industriels <https://www.journaldunet.com/economie/industrie/1183704-iot-capteurs-nanolike-seduisent-industriels/>

# CARTOGRAPHIE BREVETS

## SOLUTIONS SHM POUR LE DOMAINE DES EMR

**Le monitoring de santé des structures (SHM) au service des énergies marines renouvelables est un domaine d'innovation récent et le nombre de demandes de brevets publiées depuis ces dix dernières années n'a cessé de croître.**

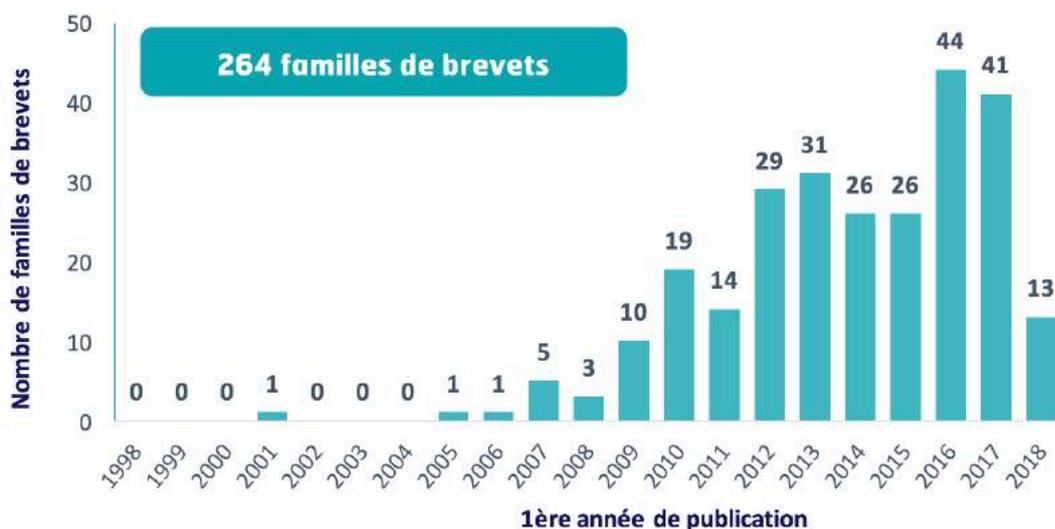
Une cartographie brevets a été menée par la SATT Ouest Valorisation afin d'appréhender la dynamique de l'innovation et d'identifier les acteurs « clefs » au niveau mondial en recherche et développement sur cette thématique.

Le graphique ci-dessous montre l'activité temporelle des demandes de brevets publiées entre 1998 et mai 2018. Nous observons, depuis 2007, une augmentation constante du nombre de demandes de brevets publiées. Cette activité naissante se traduit par la publication de 264 familles de brevets au total sur la thématique. On remarque une forte

augmentation annuelle du nombre de familles de brevets à partir de 2012 pour atteindre un pic de 44 demandes de brevets publiées en 2016. 80% des demandes de brevets ont été publiées entre 2012 et le 30 mai 2018 !

Le graphique témoigne à la fois du rythme soutenu auquel la technologie évolue et du désir des parties prenantes de conserver leur avantage compétitif en protégeant leurs inventions.

### ÉVOLUTION TEMPORELLE DES FAMILLES DE BREVETS



Source : SATT Ouest Valorisation (outil Questel)

Une famille de brevets se définit comme un ensemble de brevets (brevets prioritaires + extensions) déposés dans divers pays pour protéger une même invention.

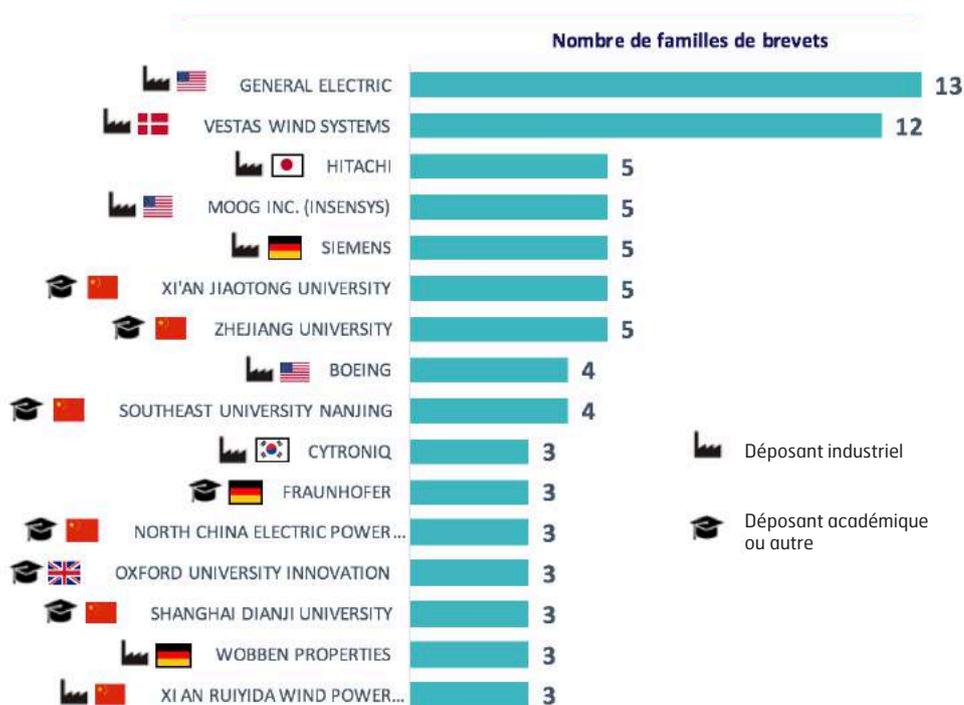
L'année de la publication correspond à la première demande de la famille de brevets ayant été publiée.

La R&D sur la thématique est principalement localisée en Chine (40% des demandes de brevets publiées), aux Etats-Unis (27%) et en Allemagne (8%).

Les brevets sont majoritairement étendus en Chine (56%), aux Etats-Unis (38%), via la procédure PCT WO [Patent Cooperation Treaty] (34%) et via la procédure européenne (28%)

Les pays visés par les extensions confirment les lieux où se situent les marchés les plus porteurs et où les sociétés espèrent donc obtenir un avantage concurrentiel (fabrication, importation et commercialisation) par la protection brevet vis-à-vis des autres acteurs. Les choix d'extension peuvent également être guidés par les lieux où se situent les lieux de production des concurrents directs des déposants.

## TOP DES DEPOSANTS MONDIAUX



Source : SATT Ouest Valorisation (outil Questel)

## TOP 5 DES DEPOSANTS MONDIAUX



# LES OFFRES DE TECHNOLOGIES

## DE LA SATT OUEST VALORISATION

Comme vous avez pu le lire tout au long de ce dossier, le marché du SHM est plus que jamais à la conquête d'innovations toujours plus performantes et intelligentes. Ces technologies font partie des enjeux de l'industrie du futur et nécessitent donc une recherche continue en matière d'innovation. La SATT Ouest Valorisation investit dans la détection, la protection et la maturation de projets qui peuvent répondre à ce besoin du marché. Voici quelques technologies issues de son portefeuille en lien avec ce domaine.

### Capteur de contraintes mécaniques in-situ multi axes « sphère »

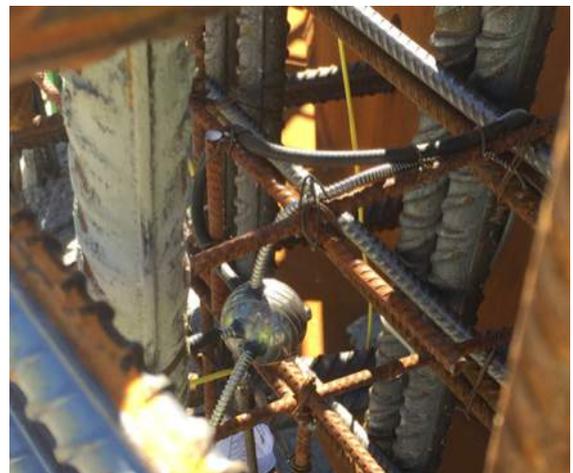
Ce capteur de déformation 3D positionné au cœur de la structure, permet d'obtenir les 6 composantes indépendantes du tenseur des déformations. La technologie est constituée de 6 capteurs uni-axiaux disposés à l'intérieur d'un ellipsoïde suivant 6 directions régulièrement disposées dans l'espace. Intégré au sein de l'ouvrage à contrôler (in situ), le capteur fournit les tenseurs relatifs à l'état de contrainte et de déformation de la structure, en fonction du temps et à l'emplacement du capteur, tout en étant non modulée par sa présence. La technologie s'intègre dans les matériaux moulés à froid (béton) et à température modérée (composites) Les mesures sont donc réalisées en continu et de manière autonome, avec une information plus complète que les capteurs actuels.

#### SES BÉNÉFICES

- Information très riche sur l'état de la structure
- Information plus fine et robuste
- Sécurité accrue
- Encombrement réduit

#### SES APPLICATIONS

- Mesures in situ et en continu pour matériaux moulés à froid (béton)
- Mesures in situ et en continu pour matériaux moulés à température modérée (composites)
- Mesures de profondeur sous-marine



#### INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

**LABORATOIRE :** GeM – UMR6183  
**ETABLISSEMENTS :** Université de Nantes - CNRS  
**CHERCHEURS :**  
Marc FRANCOIS, Yann LECIEUX, Cyril LUPI,  
Dominique LEDUC

# Dispositif mono ou multiaxial de mesure des déformations du béton

Ce dispositif de mesure des déformations est noyé dans le mortier ou dans le béton dès sa mise en œuvre. Les branches du capteur assurent à la fois une encapsulation des jauges ou des fibres optiques et un contact intime avec le béton afin de suivre ses déformations sans risque de provoquer sa rupture. Cette encapsulation assure qu'une éventuelle déformation de courbure de chaque branche n'affecte pas la mesure d'élongation de celle-ci. Les problèmes de positionnement du capteur lors de la mise en œuvre sont également résolus grâce à des dispositifs d'alignement par des accessoires amovibles ou permanents. Enfin, le capteur intègre une mesure de température qui permet de suivre l'exothermie subie par le béton lors de la prise.

## SES BÉNÉFICES

-  Simplicité de fabrication
-  Possibilité de suivre les déformations les plus critiques (déformation de retrait, température, dilatation par réaction sulfatique interne )

## SES APPLICATIONS

-  Mesure de déformation d'ouvrages en béton

### INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

**LABORATOIRE :** GeM – UMR6183  
**ETABLISSEMENTS :** Université de Nantes -  
CNRS

**CHERCHEURS :**  
Pascal Casari, Nordine Leklou, Yves  
Pouzaint, Damaris Rossetti



# Capteur Capacitif pour la Mesure et le Suivi de la Teneur en Chlorure dans le Béton Armé

Ce capteur est dédié à la mesure au sein du béton de la concentration en ions chlorures à l'origine de la corrosion des armatures métalliques entraînant une perte d'adhérence avec le béton et fragilisant la structure. Cette mesure est actuellement fortement erronée lors d'essais semi-destructifs et n'est pas maîtrisée par les contrôles non destructifs. L'idée du capteur embarqué est d'être compact et intégré au matériau pour fournir une information directe là où le risque est le plus important. Selon le positionnement du capteur, il pourra être utilisé en détection seuil de présence d'ions chlorure et/ou pour caractériser les modes de propagation des ions chlorures dans la structure.

## SES BÉNÉFICES

- 🔧 Mesures fiables des teneurs en chlorures indépendant des divers facteurs
- 🔧 Intégration à la matrice du béton
- 🔧 Deux positions possibles permettant deux types de mesures (perpendiculaire caractérisant la propagation ou parallèle à la surface du béton en détection seuil)

## SES APPLICATIONS

- 🔧 Maintenance prédictive des infrastructures de transport

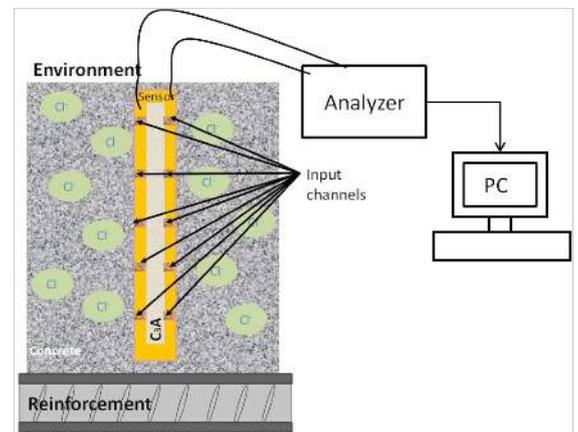


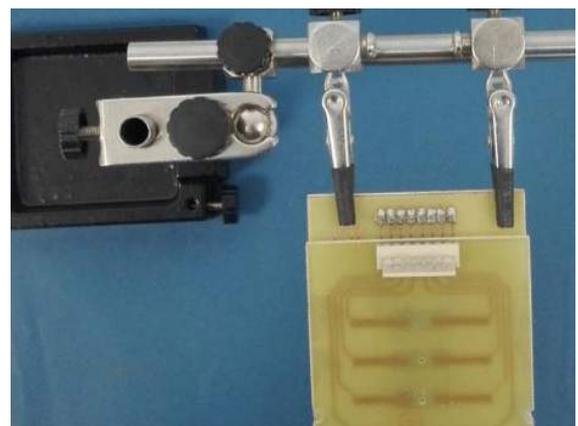
Figure 5.2: Sensor location

## INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

**UNITÉ DE RECHERCHE :** GeM – Institut de Génie Mécanique – UMR CNRS 6183

**ETABLISSEMENTS :** Université de Nantes, CNRS

**CHERCHEURS :** Emilio BASTIDAS ARTEAGA, Franck SCHOEFS



# BIOCOLMAR : Station de mesure flexible Offshore pour la mesure de dégradations sur les structures EMR

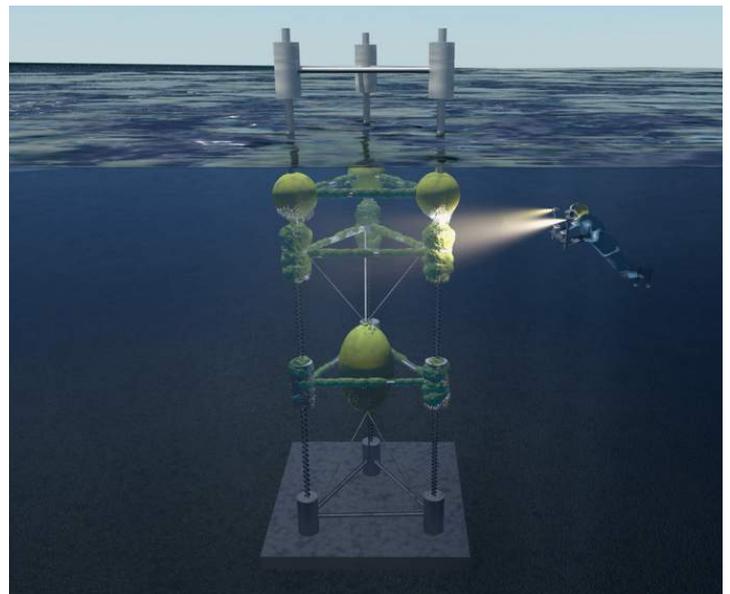
La station BIOCOLMAR est une station de mesure offshore de paramètres physico-chimiques, de bio-colonisation, de corrosion et de fatigue visant à couvrir le manque de bases de données disponibles sur l'origine et l'impact des bio salissures sur les structures offshore. La station est installée sur site pour surveillance avant implantation de structures EMR afin de caractériser l'emplacement et orienter les derniers choix de conception, identifier et mesurer les dégradations en particulier la colonisation des organismes marins présents sur le terrain grâce à des capteurs. Elle est adaptable à différents sites, déplaçable, et de masse optimisée (capacité des moyens d'installation/enlèvement peu coûteux). Un premier exemplaire est installée et opérationnel à la base Michaud (Saint Nazaire, France).

## SES BÉNÉFICES

-  Etude non-destructive
-  Système modulaire
-  Faible poids

## SES APPLICATIONS

-  Conception et maintenance des structures EMR posées ou ancrées en mer
-  Identification des espèces marines colonisatrices par champ de profondeur



## INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

**UNITÉ DE RECHERCHE :** GeM – Institut de recherche en Génie Civil et Mécanique - UMR CNRS 6183

**ETABLISSEMENTS :** Université de Nantes, CNRS

**CHERCHEURS:** Franck SCHOEFS, Hamed AMERYOUN

# Capteur de Courbure : Comportement et Durée de Vie des Ombilicaux Offshore

Ce capteur in situ mesure la courbure d'une structure de manière non intrusive à l'aide d'une fibre optique unique équipée de réseaux d'indices et/ou de Bragg. La technologie permet de mesurer la courbure et non pas les déformations induites par celle-ci. La quantité mesurée est un décalage de longueur et non une chute d'intensité, elle est donc insensible aux fluctuations d'intensité.

## SES BÉNÉFICES

- Grande simplicité technique
- Une seule fibre optique: encombrement minimum
- Mesure directe de la courbure
- Mesure d'un  $\Delta\lambda$  (analyse signal)

## SES APPLICATIONS

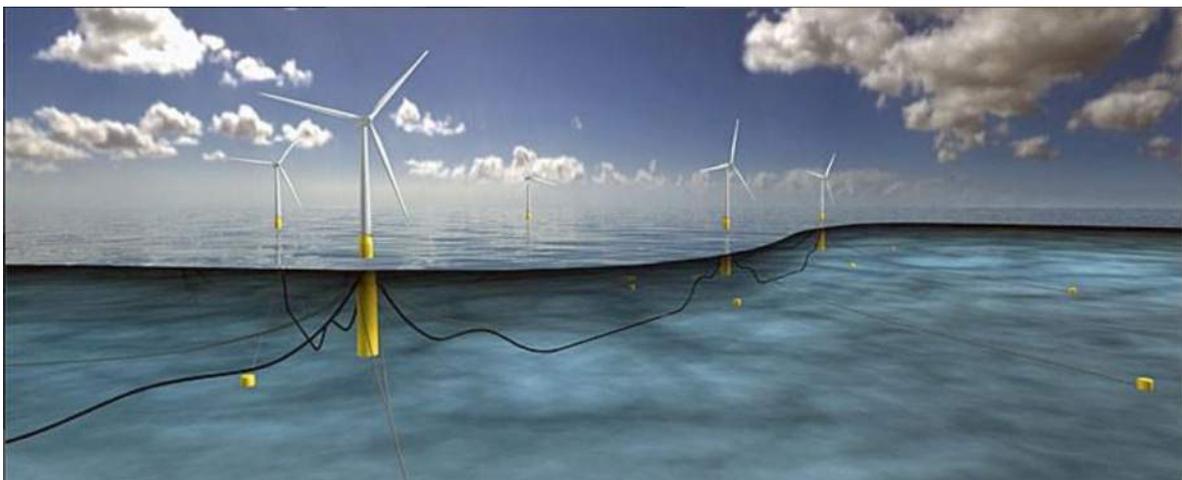
- Surveillance des ombilicaux offshore
- Endoscopie
- Tracking mouvement robot

## INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

**UNITÉ DE RECHERCHE :** GeM – Institut de Génie Mécanique – UMR CNRS 6183

**ETABLISSEMENTS :** Université de Nantes, CNRS

**CHERCHEURS :** Romain GUYARD, Yann Lecieux, Dominique Leduc, Cyril Lupi



# Sismomètre optique marin à mesure déportée

Ce sismomètre 3 composantes opto-mécanique est basé sur la mesure, par interférométrie Fabry-Pérot, de la distance entre l'extrémité d'une fibre laser et la masse mobile de géophone (2Hz) sur laquelle est fixé un miroir. Cette mesure, précise à 30 pico-m à courte période (spécification du prototype réalisé), peut être ainsi déportée par une fibre optique pluri-kilométrique, et conférer au système une résolution meilleure que les meilleurs géophones du commerce de mécanique équivalente (type vélocimètre SERCEL 2 Hz).

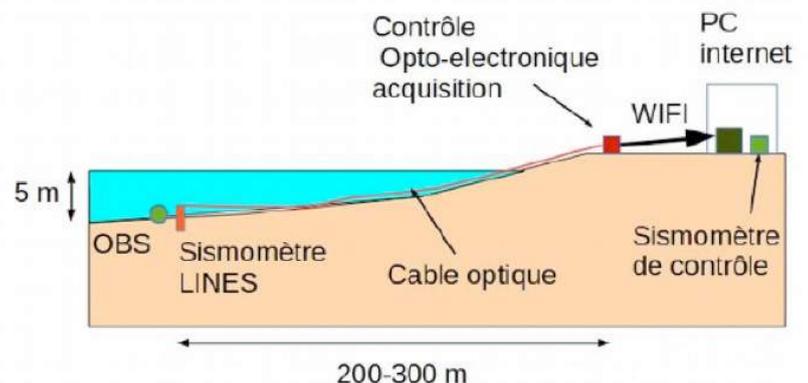
L'absence d'électronique au capteur (mesure déportée) et l'insensibilité aux perturbations EM et aux fortes variations de température permettra une large gamme d'installation académiques ou industrielles en environnement difficile : offshore lointain, forages et minier profond. L'ESEO s'est associé à l'IPGP (Institut de Physique du Globe de Paris) pour installer un premier prototype marin opérationnel sur la Sea Test Base (Lanvéoc, France).

## SES BÉNÉFICES

-  Mesure déportée
-  Capteurs faibles couts
-  Résolution élevée
-  Insensibilité au bruit EM et grande variation de température

## SES APPLICATIONS

-  Conception et maintenance des structures EMR posées ou ancrées en mer
-  Identification des espèces marines colonisatrices par champ de profondeur



## INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

**UNITÉ DE RECHERCHE :** LAUM – Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Mans – UMR CNRS 6613

**ETABLISSEMENTS :** ESEO, CNRS

**CHERCHEURS:** Guy PLANTIER, Matthieu FEUILLOY

# LES PLATES-FORMES TECHNOLOGIQUES

Les plates-formes sont des structures mettant à disposition des entreprises des équipements et compétences issus des établissements d'enseignement supérieur. Ainsi, les entreprises peuvent avoir recours à du matériel d'excellence et des compétences humaines à forte valeur ajoutée ou à une prestation clés en main. Ces plates-formes constituent un véritable outil d'innovation pour accompagner les projets de R&D des entreprises. La SATT Ouest Valorisation propose des ressources d'innovation issues de plus de 60 plates-formes. Sa mission est d'accroître le rayonnement des plates-formes en professionnalisant leur déploiement commercial.

Voici 3 plates-formes expertes des domaines du SHM :

## SEM-REV

Site d'expérimentation en mer pour les EMR

SEM-REV est un site d'expérimentation de l'Ecole Centrale Nantes disposant de tous les équipements en mer et à terre permettant la mise au point, en conditions opérationnelles, de systèmes de récupération des énergies marines issues principalement de la houle et du vent offshore. C'est un équipement indispensable au développement d'une nouvelle filière industrielle en France.

## ÉTUDES ENVIRONNEMENTALES

Données physiques : houle, courant, vent, ...  
Vie marine et bio-fouling

## EMR RACCORDÉ AU RESEAU

Installation et maintenance en mer  
Tests et suivi de production électrique

## PROCESSUS ADMINISTRATIF

Autorisations et permis  
Sécurité maritime

## FORMATION (dans le cadre de WEAMEC)

Mesures en mer et monitoring  
Installation et exploitation des EMRs

## SES APPLICATIONS

- 🌊 Énergies marines renouvelables
- 🌊 Environnement marin
- 🌊 Électricité et raccordement
- 🌊 Opérations marines

## OFFRES DE SERVICES

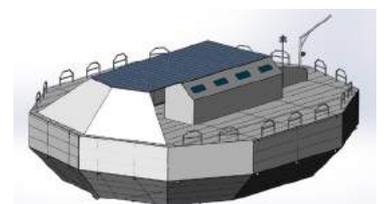
🌊 Local de contrôle du Croisic

La base à terre est équipée des moyens de réception HF et filaire de toutes les données issues des capteurs océanographiques en mer ainsi que des appareils qualifiant le signal électrique produit par les prototypes.

La station de base est dotée des moyens nécessaires pour l'intervention rapide sur les capteurs et les démonstrateurs en cours d'essais.

🌊 Site d'expérimentation en mer

Le site est équipé d'instrumentation océanographique pour un relevé en continu des conditions océano-météorologiques. Ces instruments (Houlographes, Bouée Météo, profileurs de courant acoustiques) de métrologie permettent d'effectuer des relevés en temps réel des données océanographiques et un suivi constant des variables de l'environnement.



### Laboratoire :

LHEEA - Laboratoire de recherche en Hydrodynamique, Énergétique et Environnement Atmosphérique

### Établissements associés :

Ecole Centrale de Nantes (ECN), CNRS

# BASSIN DE GENIE OCEANIQUE

Les expérimentations menées dans les bassins de Centrale Nantes permettent de tester de nombreux équipements dans leur milieu d'utilisation, rivière ou mer. Les structures étudiées vont du navire de pêche, au navire de transport, en passant par des équipements liés aux énergies marines renouvelables telles que des éoliennes posées, flottantes, des hydroliennes ou des systèmes houlomoteurs.

## SES APPLICATIONS

-  Energies marines renouvelables
-  Environnement marin
-  Opérations marines

## OFFRE DE SERVICES

### Bassin de traction

Tests de la résistance à l'avancement de navires avec ou sans houle. 2e plus grand bassin de traction en France, 1er au niveau académique.

### Bassin de Houle et de Génie Océanique

Simulation physique à échelle réduite de systèmes flottants, naviguant ou ancrés en pleine mer (navires, systèmes EMR ou plateformes pétrolières)

### Bassin de faible profondeur

Installation de matériel ou d'instruments. Bassin doté d'un batteur à houle unidirectionnel de type volet.

### Canal de circulation

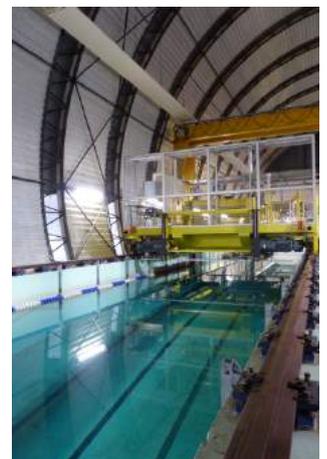
Etudes de système de propulsion marine, de performance d'hydroliennes, d'écoulements stationnaires et de stabilisation

### Laboratoire :

LHEEA - Laboratoire de recherche en Hydrodynamique, Énergétique et Environnement Atmosphérique

### Établissements associés :

Ecole Centrale de Nantes (ECN), CNRS



# GeMUTech

Comportement des matériaux de l'éprouvette à la structure

GeMUTech est une plate-forme de R&D de l'Université de Nantes rassemblant une expertise pluridisciplinaire unique autour de :

- La caractérisation physico-chimique, hygrothermique et mécanique des matériaux [de l'éprouvette à l'échelle 1]
- L'étude des procédés d'assemblage [collage, dépôt métallique sur composite, etc.]
- Le monitoring des structures in situ et le développement de nouveaux capteurs

## SES APPLICATIONS

- Industrie des transports
- Bâtiment et travaux publics
- Environnement



## OFFRES DE SERVICES

### EPROUVETTE

Microstructure : Recherche de la composition moléculaire et atomique d'un matériau, Observation des liaisons et des interactions entre les constituants d'un matériau

Diffusion et transferts des ions : Prévion des dégradations d'un matériau

Procédés d'assemblage : Etude des assemblages multi-matériaux, Obtention de nouvelles fonctionnalités des matériaux

Erosion des sols : Mesure de la stabilité structurale du sol

### STRUCTURE

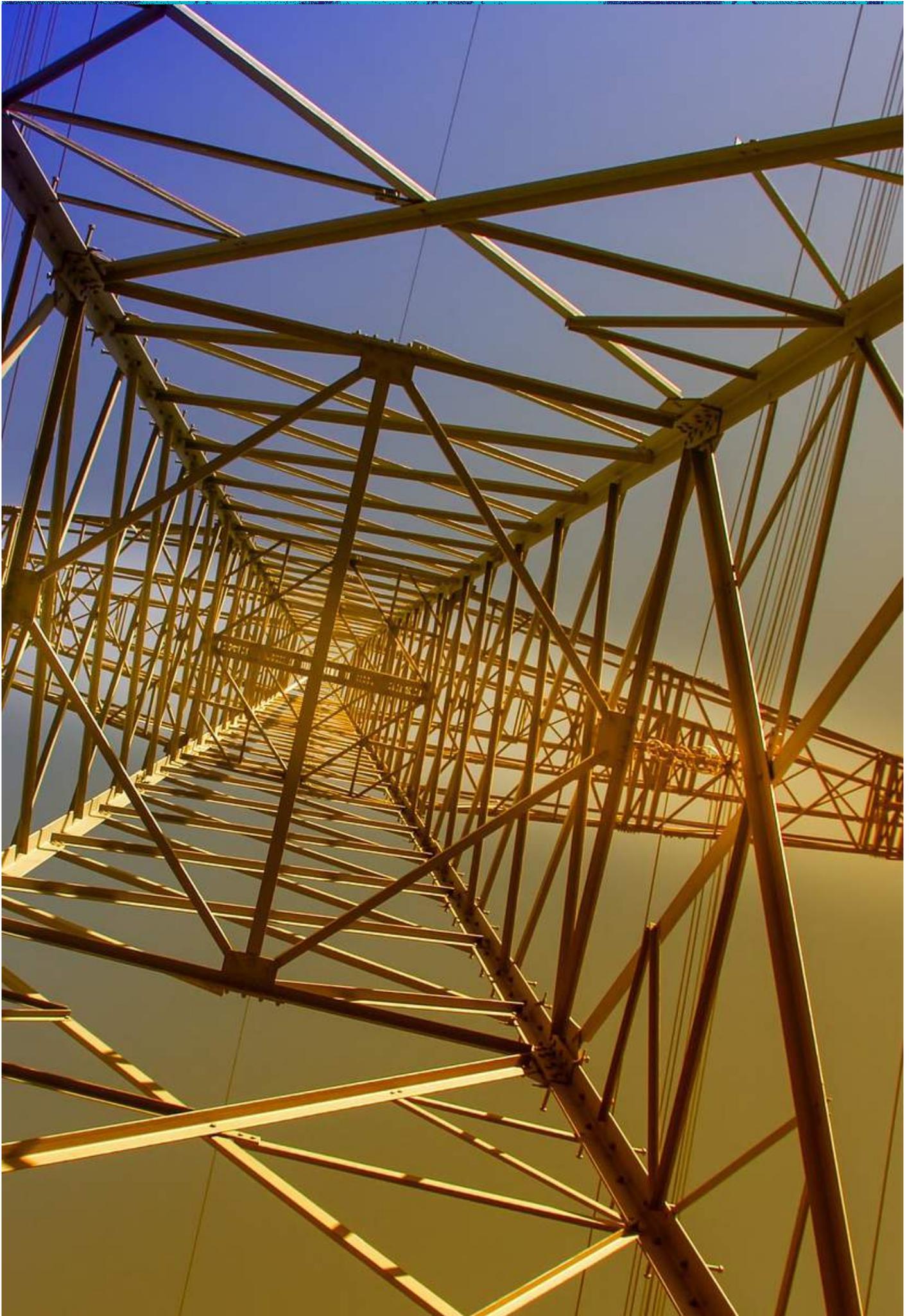
Essais mécaniques : Etude du comportement mécanique d'un matériau

Analyse hygro/thermique : Détermination des caractéristiques thermiques des matériaux, Etude de transferts couplés de chaleur et d'humidité dans les matériaux

Monitoring : Détection et caractérisation des dommages dans les structures sur site (SHM), Maintenance préventive et curative

Simulation numérique : Aide au choix du matériau et du procédé, Détermination des lois de comportement d'un matériau, Prédiction du comportement du matériau ou de la structure

**Laboratoire :**  
GeM – Institut de Recherche en Génie Mécanique –  
UMR CNRS 6183  
**Établissements associés :**  
Université de Nantes, Centrale Nantes, CNRS



# La SATT Ouest Valorisation

Proposer aux entreprises des ressources d'innovation issues de la recherche publique





## TRANSFÉRER DES TECHNOLOGIES ÉPROUVÉES & DES EXPERTISES DE POINTE

La SATT Ouest Valorisation propose des technologies protégées, mûries et validées grâce à ses investissements massifs en R&D pour renforcer le leadership technologique des entreprises.

*L'équipe de la SATT apporte des réponses concrètes aux besoins de R&D et d'innovation des entreprises. Elle facilite l'accès aux laboratoires et simplifie la négociation des contrats.*



## FACILITER LES LIENS PUBLIC-PRIVÉ

La SATT Ouest Valorisation intensifie et diversifie les formes de coopération industrielle pour accélérer l'accès des entreprises aux technologies, compétences et équipements scientifiques des laboratoires de recherche publics.

*L'équipe construit les programmes de R&D pour passer du résultat de recherche au prototype préindustriel convaincant pour les entreprises et les faire gagner en compétitivité.*



## DÉTECTER & PROTÉGER LES RÉSULTATS DE LA RECHERCHE

La SATT Ouest Valorisation identifie des projets présentant un fort potentiel innovant, les évalue et élabore avec les chercheurs la meilleure stratégie de protection et de valorisation.

*L'équipe de la SATT accompagne au quotidien les chercheurs, développe le portefeuille de propriété industrielle des établissements et amplifie l'impact socio-économique de leurs recherches.*

RETROUVEZ-NOUS SUR :  
[www.ouest-valorisation.fr](http://www.ouest-valorisation.fr)



### Votre contact au sein de la SATT Ouest Valorisation :



**Cédric Letort**

Ingénieur commercial  
SATT Ouest Valorisation  
[cedric.letort@ouest-valorisation.fr](mailto:cedric.letort@ouest-valorisation.fr)  
Tél : +33 (0)7 62 84 04 50



LE GRAND PLAN  
D'INVESTISSEMENT

