

# Surveillance des structures



**Vincent Le Cam**

**IFSTTAR**

Institut Français des Sciences et Technologies des Transports  
de l'Aménagement et des réseaux

Département **COSYS**  
Laboratoire **SII**



**IFSTTAR**

# Sommaire :



## 1) Présentation générale Ifsttar

## 2) Le Monitoring des structures à l'Ifsttar

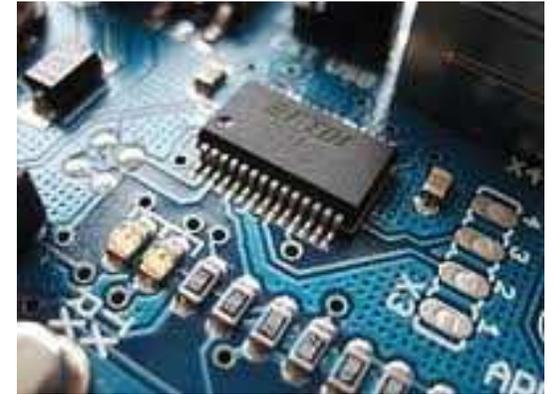
- Précisions, champs d'application
- Exemples, techniques...

## 3) Zoom sur un moyen de monitoring avancé PEGASE

- présentation du concept
- Exemples et chiffres clés

## 4) Implication de l'IFSTTAR (nantes) dans le champ des EMR

## 5) Overview / perspectives



# 1- Présentation de l'Ifsttar

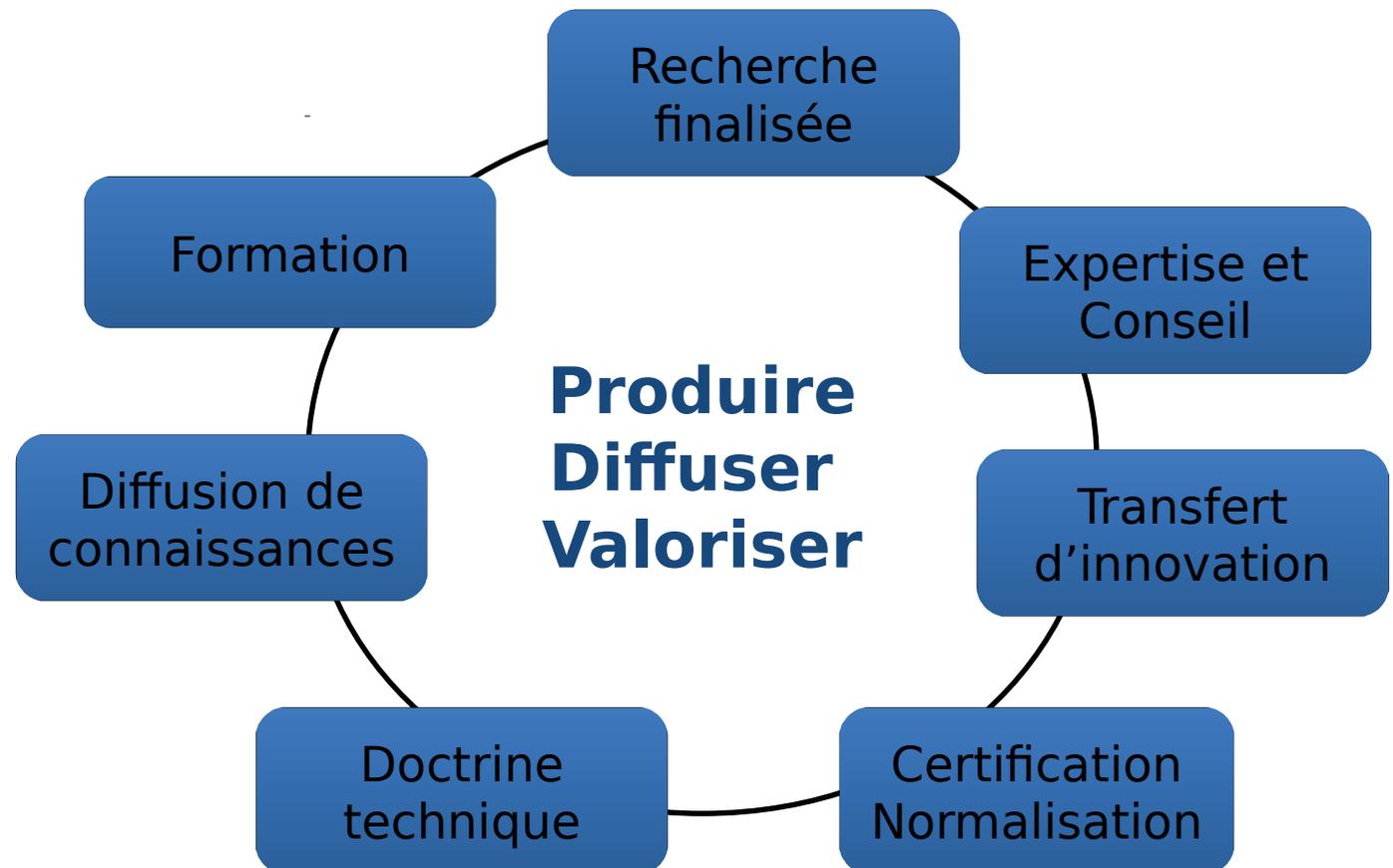


**IFSTTAR - identité** : Laboratoire public de recherche (EPST)

- Institut Français des Sciences et Technologies des Transports de l'Aménagement et des Réseaux
- **Missions** : recherche / développement / essais / certification et normalisation / expertises / diffusion...



- Au 1er janv 2011
- du LCPC
- et de l'INRETS

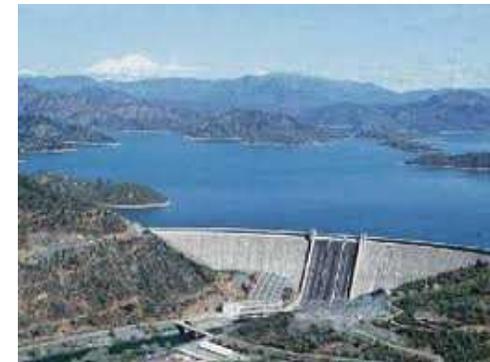


# 1- Présentation de l'Ifsttar



## IFSTTAR - domaines d'intervention :

- La **mobilité** des personnes et des biens, les modes et les **usages**
- Les **systèmes**, les moyens de transports et leur **fiabilité**
- Les impacts sur la **sécurité** des **transports** et la **santé**
- Le **génie urbain**, l'habitat et les réseaux
- Le **génie civil** et les **matériaux** de construction
- Les **risques naturels**



3. Wireless sensors are used to measure long-term stress and strain in civil engineering structures like buildings and bridges. (Courtesy: Microstrain Inc.)

# 1- Présentation de l'Ifsttar



## IFSTTAR - chiffres clés :

- ~ 1300 agents
- dont ~300 doctorants
- 5 Départements de recherche
- Répartis sur 5 sites en France
- Budget de ~ 120 M€ en 2012



## En 2011

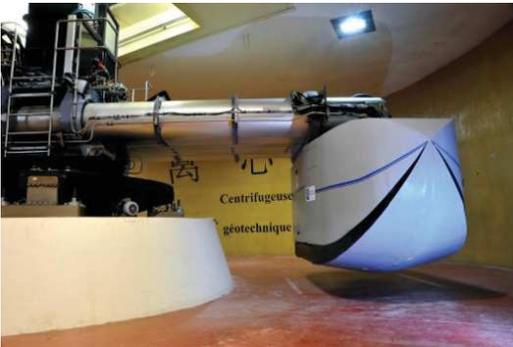
- 282 publications dans des revues d'audience internationale
- 160 contrats de recherche
- 110 missions d'expertise
- 76 brevets
- 74 thèses soutenues
- 61 projets européens
- ...



# 1- Présentation de l'Ifsttar



## IFSTTAR Nantes : quelques spécificités !



...

# 2- Monitoring des structures à l'Ifsttar



## 2-1) Le Monitoring des structures à l'Ifsttar : précisions

→ **Thématique** Nationale / internationale :

- **END / CND** Évaluation et Contrôle Non Destructif...
- **SHM** : Structural Health Monitoring
- **SC** : Structural Control
- ...



→ **Thématique phare** de l'Ifsttar

Directement ou non, des centaines d'agents (chercheurs/ingénieurs) contribuent au contrôle de santé des structures : modélisation structurelle, comportement, matériaux, technique de mesures, méthodologie de surveillance....

→ **Exemples à suivre non exhaustifs !**

**But illustratif de la thématique**

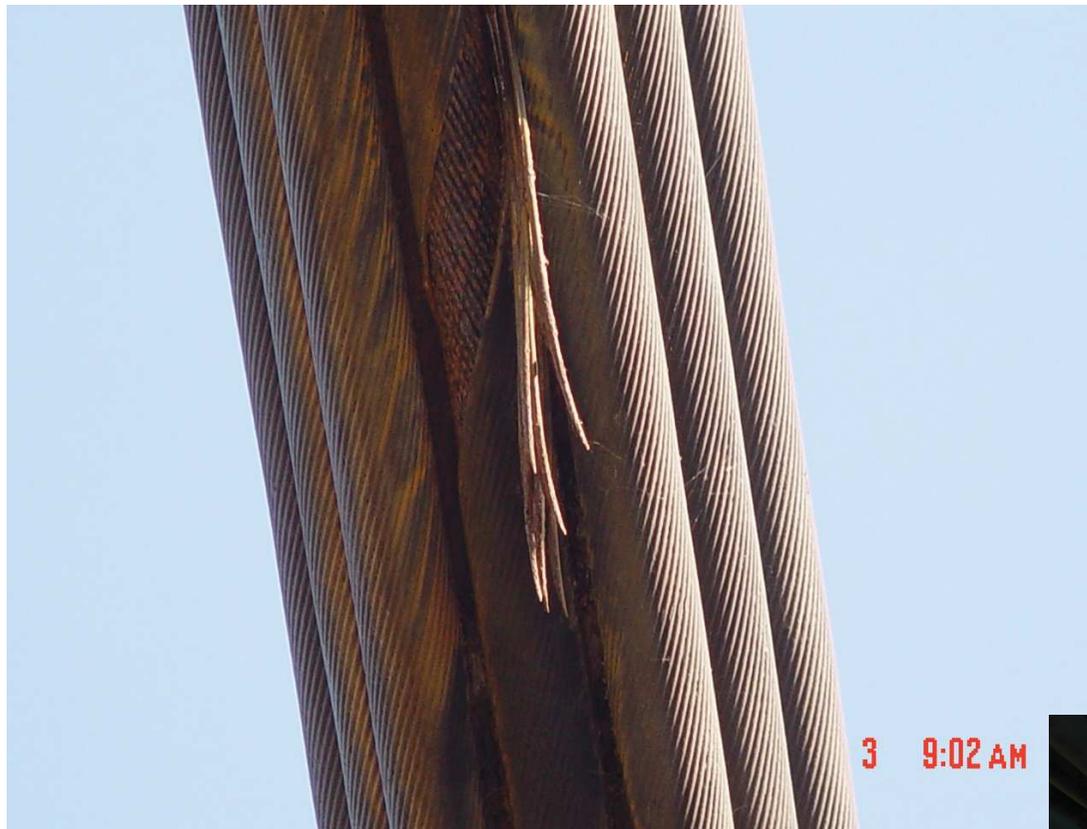
→ **Vision électronique, "développeur /intégrateur de solutions innovante"** au service du SHM



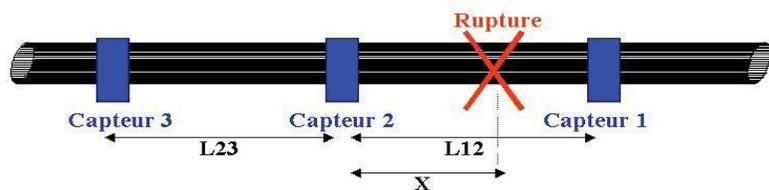
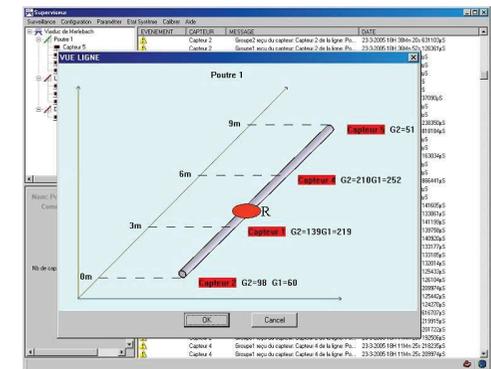
# 2- Monitoring des structures à l'Ifsttar



## 2-2) Le Monitoring des structures à l'Ifsttar : illustrations



- Ruptures de fils dans les câbles
- Surveillance : détection / localisation par **méthode acoustique**



$$x = \frac{1}{2} * (L12 - v * \Delta t12) \text{ avec } v = L23/\Delta t23.$$

$$\text{Avec } v \sim 5000 \text{ m/s}$$



# 2- Monitoring des structures à l'Ifsttar



## 2-2) Le Monitoring des structures à l'Ifsttar : illustrations



→ Fissuration du béton / battement de dalles

→ Surveillance capteurs de déplacement (autonomes), découplage effet de température, couplage du trafic...

Mesures en entrée d'un **modèle comportemental de l'ouvrage**



# 2- Monitoring des structures à l'Ifsttar



## 2-2) Le Monitoring des structures à l'Ifsttar : illustrations



→ Suivi des portiques routiers. Prévenir la rupture / chute

→ Surveillance via un dispositif (capteurs autonomes communicants + supervision) intégrant de **l'analyse modale / analyse vibratoire**

→ SSI

→ travaux en commun avec INRIA, équipe I4S



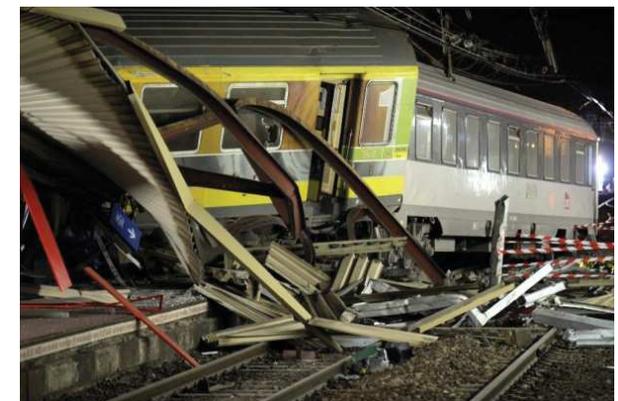
# 2- Monitoring des structures à l'Ifsttar



## 2-2) Le Monitoring des structures à l'Ifsttar : illustrations



- Suivi du comportement des dalles bétons
- Surveillance via Méthodes Optiques. FO comme capteur. **Effets Brillouin, Raman...**



# 2- Monitoring des structures à l'Ifsttar

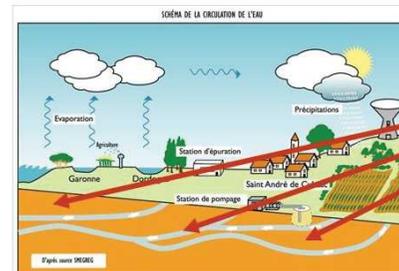


## 2-2) Le Monitoring des structures à l'Ifsttar : illustrations



→ Détection des fuites et suivi de la qualité de l'eau potable

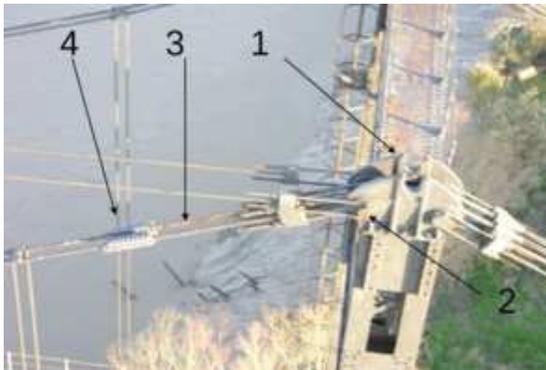
→ Surveillance par **sondes multiparamètres (physico-chimiques)**



# 2- Monitoring des structures à l'Ifsttar

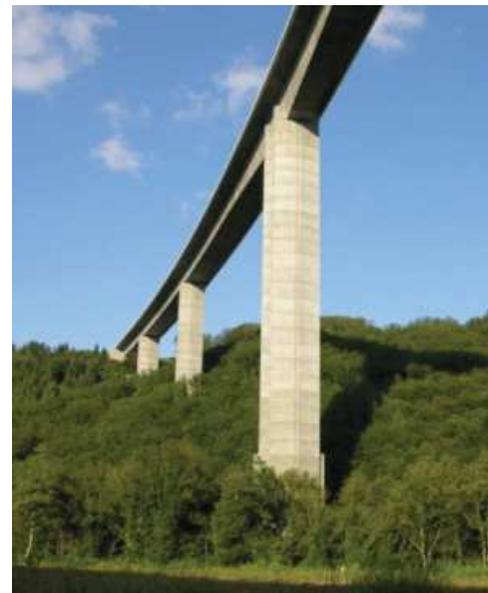


## 2-2) Le Monitoring des structures à l'Ifsttar : illustrations



→ Surveillance via par **drone**

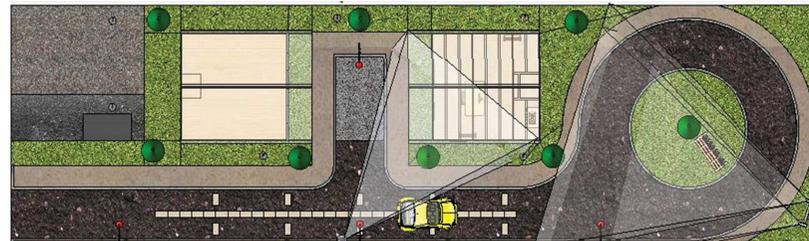
→ Applications : **surveillance visuelle déportée** des structures (dégradations, corrosion,...), contrôle de la **qualité de bassin d'eau**...



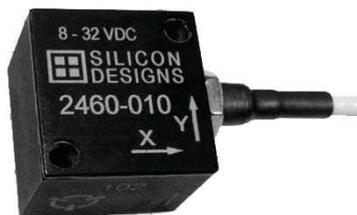
# 2- Monitoring des structures à l'Ifsttar



## 2-2) Le Monitoring des structures à l'Ifsttar : Sensecity....



sense CITY



# 2- Monitoring des structures à l'Ifsttar



## 2-2) Le Monitoring des structures à l'Ifsttar : illustrations

### Autres techniques et méthodes de SHM à l'Ifsttar :

- Méthode de **Traitement d'image / de signal**
  - caméra, radar ou APN comme capteur. Capteurs plein champ
  - photo ou film comme signal
- Monitoring par **Fibre Optique**
  - capteur longue base (t°C, vibration), pas de CEM
  - réseaux de Bragg, effets Brillouin, Raman
- Monitoring **Thermique** des structures et ou des bâtiments
  - Caméra InfraRouge, CMOS
  - détection de défauts structurels, de décollements...
  - réseau de capteurs domotiques (bas coûts, du commerce)
  - Enrichissement Modèles Thermiques des bâtiment (rétro engineering)
- Monitoring de la **Corrosion** des armatures
  - courant de corrosion
  - résistance sacrificielle...

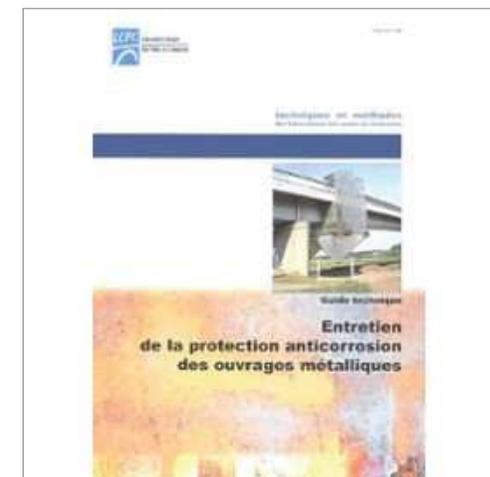
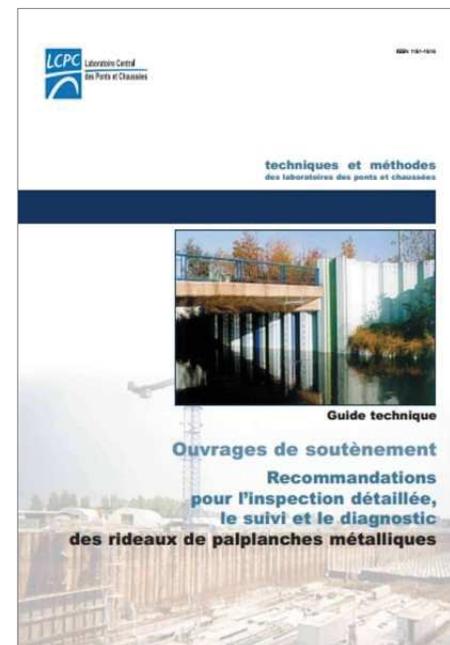
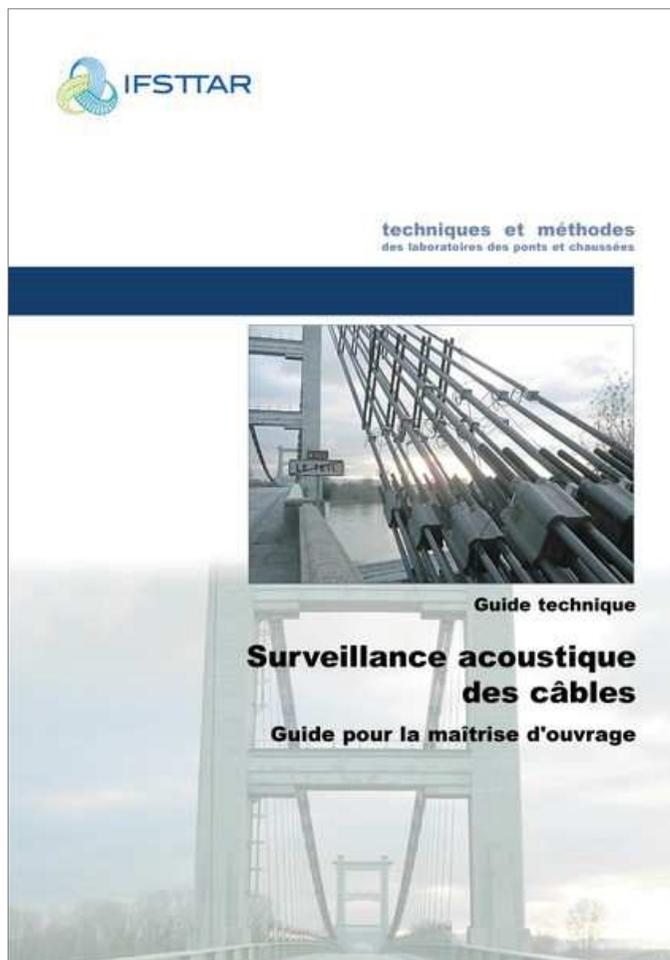


# 2- Monitoring des structures à l'Ifsttar

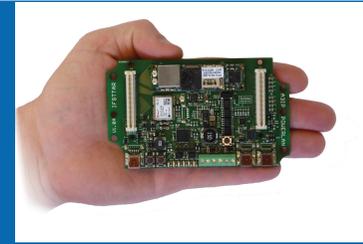


Une technique / méthode aboutie ?

→ production d'un Guide Méthodologique à destination des Gestionnaires



# 3- Zoom sur un moyen de monitoring avancé : PEGASE



## 3) Zoom sur un moyen de monitoring avancé PEGASE

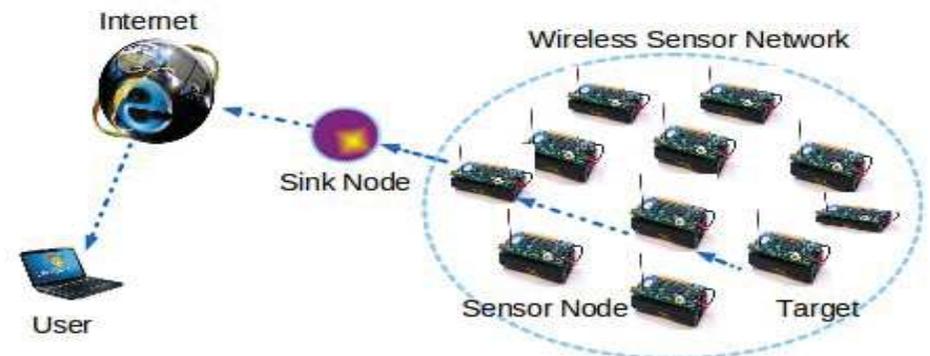
Plateforme **Experte Générique** pour **Applications Sans-fils Embarquées**

### Objectifs de ces travaux R&D

**Compléter la panoplie des systèmes de mesures:**

- de **terrain pour SHM et CND**
- avec / sans fil (gestion énergie)
- intelligent : couplage **calcul / mesure**
- systèmes terminal ou système intermédiaire
- pensés “monitoring de structure”
- un système générique
- ...

**Internet des objets – objets = capteurs**



# 3- Zoom sur un moyen de monitoring avancé : PEGASE



## Contexte et objectif des travaux:

IFSTTAR a créé, enrichit et poursuit une Bibliographie active sur :

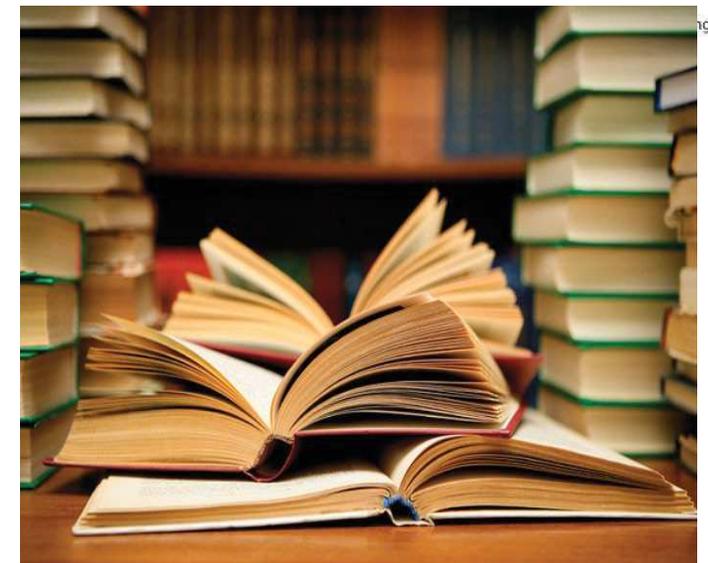
1) La **récupération d'énergie** pour système autonomes (< 1 Watt)  
Composants, algorithmes/stratégie, stockage...

2) **Systemes intelligents** embarquables:  
OS/Linux embarqué, librairies math appli

3) Autres **capteurs wireless intégrés** du commerce  
Hikob, Beanair, Microstrain, Watteco...

4) **Protocoles wireless**:  
RFID, 6LowPan, Sigfox, 802.15.4

5) **Mesure intégrée**, composants basse conso:  
MEMs, ADXL, Adis...



# 3- Zoom sur un moyen de monitoring avancé : PEGASE



2008 - 2013 – La carte PEGASE 1 :

Plateforme Experte Générique pour Applications Sans-fils Embarquées

## GENERICITE:

Comment faire une plateforme « Capteur sans-fil Générique » ?

## Répartition en 2 grands principes :

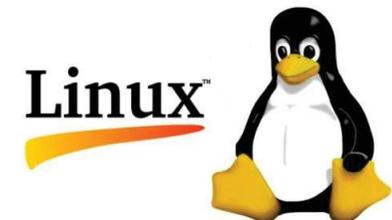
### 1) Généricité matérielle

- PEGASE = une **carte dite mère** comprenant les fonctions redondantes de l'instrumentation sans-fil et intelligente
- Par un jeu de **cartes dites filles**, les capteurs choisis sont interfacés : jauges, accéléromètres, inclinomètres, PT100...



### 2) Généricité logicielle

- Operating System (OS) embarqué : **Linux**
- Programmation en langages **C ou C++ standard** (comme sur un PC)



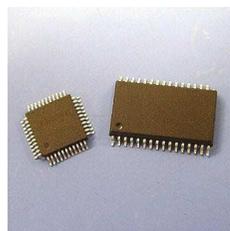
# 3- Zoom sur un moyen de monitoring avancé : PEGASE



2008 - 2013 – La carte PEGASE 1 :



**Blackfin / DSP** : Forte capacité de calcul, orienté traitement de signal (FFT, filtrage...). Basse conso.



**Mémoire**:  
32 Mo Flash  
64 Mo RAM



**WiFi**: communication TCP/IP sans fil. Standard mondial



**Énergie**:  
~ basse conso  
8/24 V – 350 mW

**E/S**

**E/S**: nombreuses entrées /sorties pour connectivité vers capteurs



**GPS**: localisation ET synchronisation ( $\mu$ S)



# 3- Zoom sur un moyen de monitoring avancé : PEGASE



2008 - 2013 – La carte PEGASE 1 + cartes filles :

Avant de (faire) développer sa propre carte fille...

Une panoplie de cartes filles déjà disponibles *sur étagère* :



*Debug*



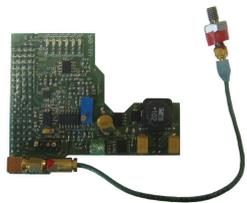
*5 UART /  
RS232*



*Analogique générique :  
8 voies / 16 bits / 50  
kHz*



*BusCAN*



Acoustique 250 kHz



*Ethernet*



Accéléro 3D + température  
PT100

etc...

# 3- Zoom sur un moyen de monitoring avancé : PEGASE



De nombreuses applications de SHM et CND... **réelles**....

## PEGASE - **Contrôle Non Destructif**



# 3- Zoom sur un moyen de monitoring avancé : PEGASE



- Une approche désormais **produit** : acoustique, vibration, jauges...
- Un **site web** dédié: <http://www.pegase-instrumentation.com>

## PEGASE Instrumentation



Plateforme Experte Générique pour Applications Sans-fil Embarquées

### Contrôle non destructif (CND) des structures :

Applications aux domaines de la ville, du génie civil, des ouvrages d'art, de la route, des réseaux d'eau...  
Déplacement, déformation, vibration, acoustique, fissurométrie, pollution...

Nous serons heureux vous accueillir à notre stand du 8 au 11 juillet 2014 au salon SHM NANTES 2014

Formation à l'univers PEGASE



**Pégase-CASC**  
Surveillance  
des câbles de ports



**Pégase-SWN**  
Surveillance  
des réseaux d'eau potable



**Pégase-Autoroute**  
Surveillance  
du parc autoroutier



**Pégase-Fissurométrie**  
Suivi de l'évolution  
des fissures



**Pégase-Pont de jauges**  
Mesure de la  
micro-déformation  
des structures



**Pégase-Pollution**  
Mesure multi-paramètres  
de pollution urbaine



**Pégase-GPS**  
Mesure de déplacement  
par GPS de précision



**Carte Pégase**  
Carte de développement  
générique



**Pégase-Ferroviaire**  
Surveillance des voies  
Ferroviaires

### Les solutions de mise en réseau



Accès à distance



Hébergement



Exploitation des données

> **Contact**  
> **A3IP et ses partenaires**

# 3- Zoom sur un moyen de monitoring avancé : PEGASE



## Quelques chiffres :

**Licence de diffusion** confiée par IFSTTAR à la société A3IP (janv 2009 / 5 ans)

### Bilan

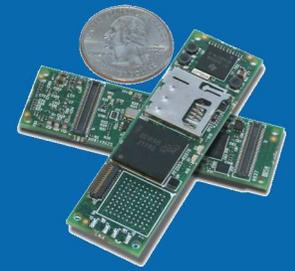
- Plus de 500 cartes vendues
- Plus de 1 ME de CA développés
- Clients privés ou publics :
  - CEREMA + IFSTTAR
  - Universités et Écoles d'ingénieurs
  - Autoroutiers
  - SNCF
  - PME/TPE spécialisées dans le SHM...

### Et aussi de la formation / diffusion de connaissance :

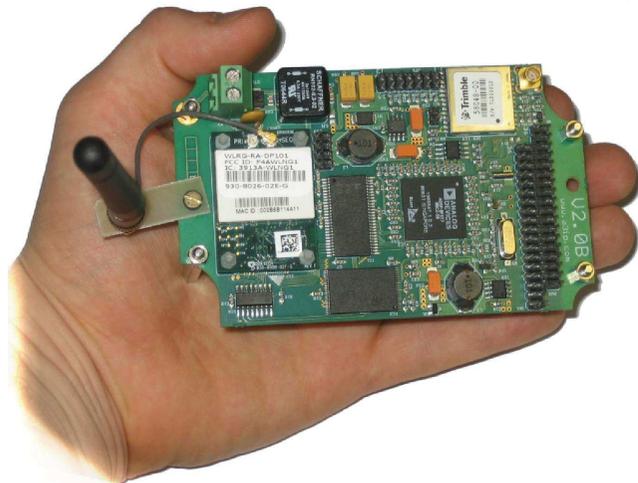
- **Professionnelle** : module de 3J / 8 sessions dispensées
- **Académique** : univ + EI



# 3- Zoom sur un moyen de monitoring avancé : PEGASE



Depuis 2013 : Renouvellement de la carte PEGASE



De PEGASE 1...

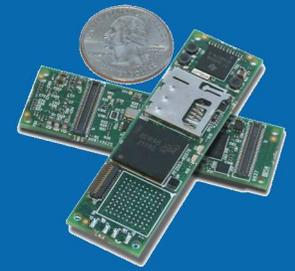


...à PEGASE 2

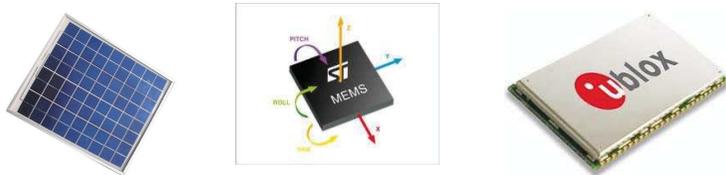
## Deux Motivations principales:

- **Renouvellement technologique** (électronique !)
- **Compléter l'écosystème PEGASE** pour:
  - intégrer un outil de **Supervision Générique**
  - aborder un besoin précis de SHM en mode **Application Complète**
  - ( tout en gardant le caractère générique et ouvert)

# 3- Zoom sur un moyen de monitoring avancé : PEGASE



## Le Renouvellement technologique



### Ce qui ne change pas:

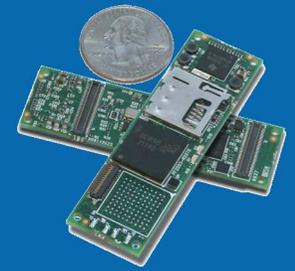
- Généricité
- Principe carte mère / carte fille
- Protocole IP : WiFi (natif), 3G (CF), POE, ...

### Nouveautés : presque tout

- **Vrai Linux** inside (noyau Debian) , Gumstix
- Stockage: 512 Mo RAM + 8 Go Flash  $\mu$ SD
- un **SDK en C++** ; bien plus simple et + complet
- **Gestion native de l'énergie** : batterie Li + Solaire
- Un **MEMS** natif : accéléro 3D, gyro 3D
- **Une synchronisation UT sur base GPS/PPS** poussée de 4  $\mu$ S à 77 nS !!!
- Récepteur **GPS de précision**: UBLOX NEO 6T
- Connectivité étendue : I2C, **USB**, SPI, Bluetooth...
- Extension infinie du **fonctionnement évènementiel** (lib Boost et QT)
- **Coeur DSP** : calcul/mesure, traitement de signal et intégration modèles structurels



# 3- Zoom sur un moyen de monitoring avancé : PEGASE



## Le Renouvellement technologique : un Superviseur Générique

### ~~PEGASE 1:~~

- Une carte avec un SDK
- Application à développer
- Supervision , exploitation des données : hors scope



### PEGASE 2:

- Une **carte et des applications** déjà disponibles
- Des médias de transports qualifiés : 3G, WiFi...
- **Et un Superviseur générique en cloud**



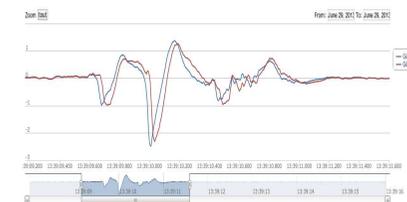
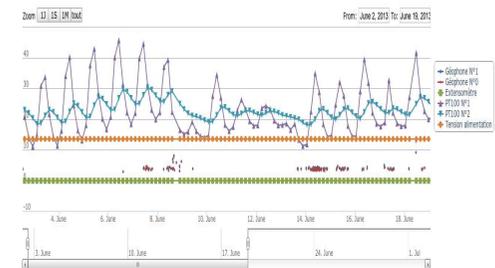
+



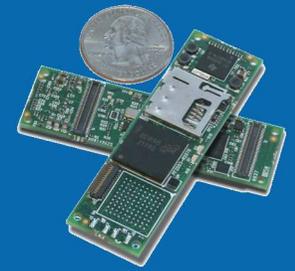
+



Internet

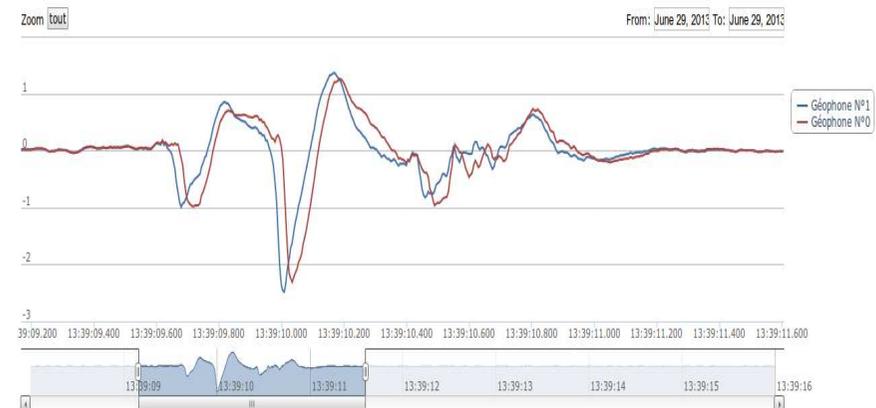


# 3- Zoom sur un moyen de monitoring avancé : PEGASE



## Le Superviseur Générique de P2:

- 100% technologies Web, hébergé / cloud
- Fonctionnement local possible
- Principales fonctions:
  - Créer des **Projets d'Instrumentation**
  - Associer des **ressources** (ex: PEGASE) aux Projets d'Instrumentation
  - Configurer chaque ressource et chaque voie:
    - Freq échantillonnage
    - Fonctionnement sur seuil ou continu
    - Valeur du seuil pre/post trigger
    - Périodicité des fichiers de mesure
    - ...
  - Récupération + affichage des données IHM
  - Export fichiers
  - Alarmes SMS, emails...
  - Capable de piloter plus que des PEGASE
    - → base de ressources XML...

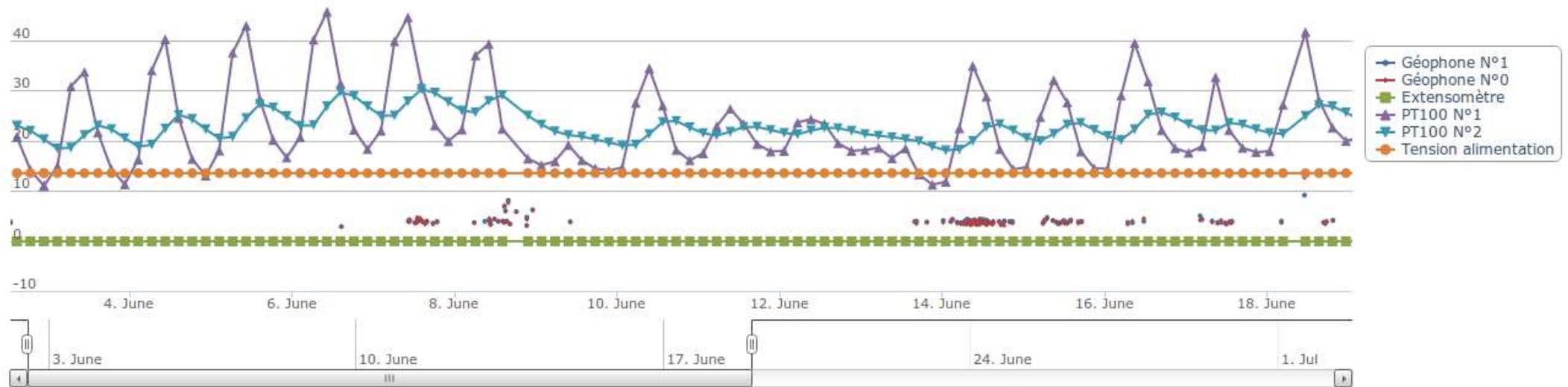


# 3- Zoom sur un moyen de monitoring avancé : PEGASE



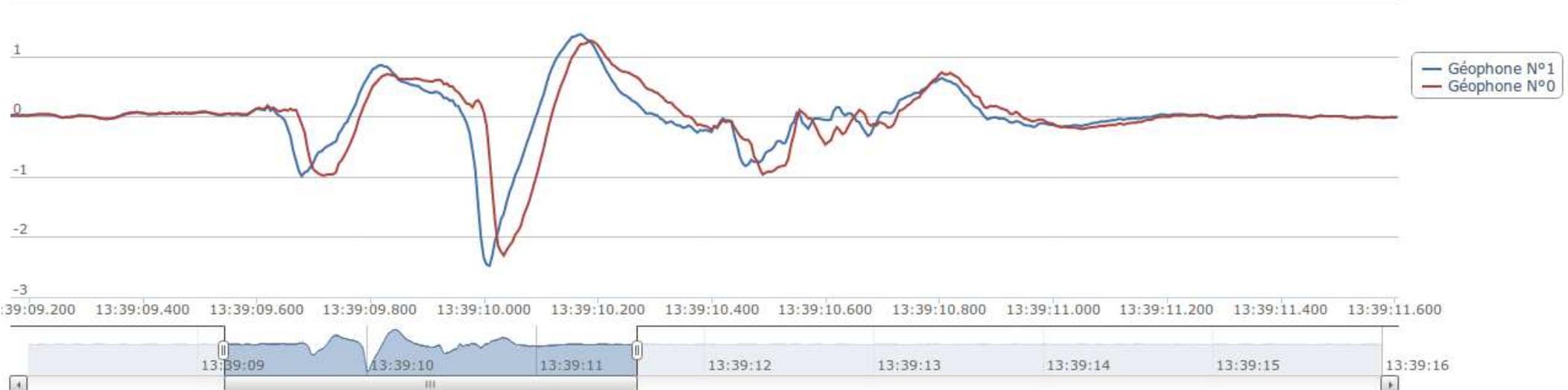
Zoom 1J 1S 1M tout

From: June 2, 2013 To: June 19, 2013

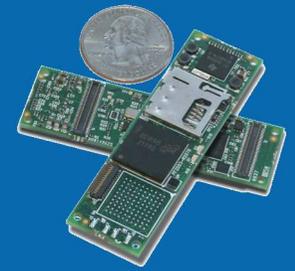


Zoom tout

From: June 29, 2013 To: June 29, 2013



# 3- Zoom sur un moyen de monitoring avancé : PEGASE

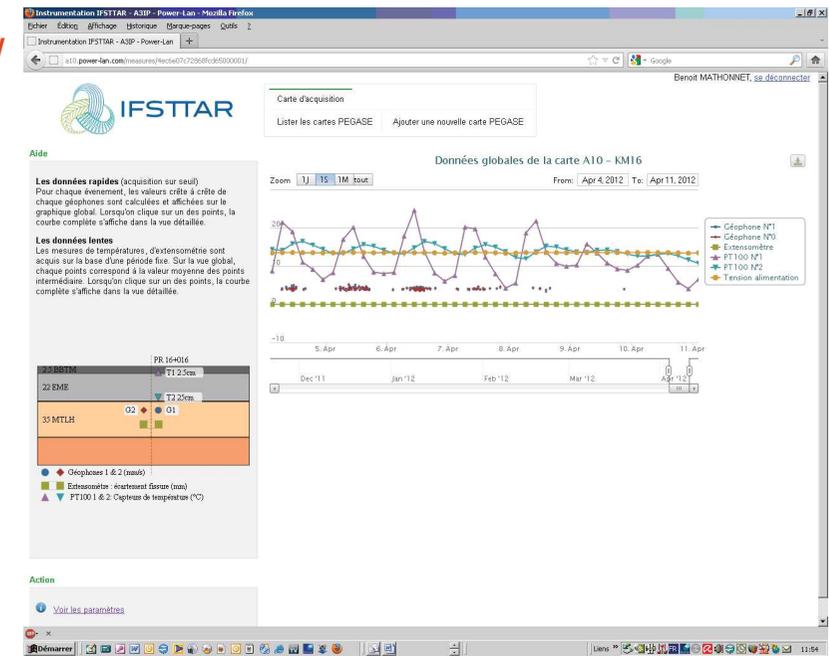


## Supervision générique

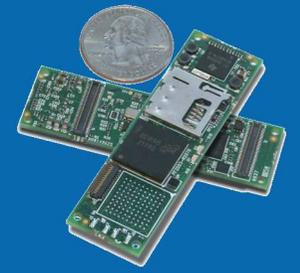
- 100% cloud Application : url / login-mdp / hébergement sécurisé
- Configuration d'un réseau de capteur
- Exploitation des données :
  - vue graph IHM
  - export des données en fichiers
- lien à des codes de calcul Matlab (en cours)

## Un client = Une URL

- SNCF = <http://sncf.pegase-instrumentation.com>
- CETE Lyon = <http://cete-lyon.pegase-instrumentation.fr/>
- Eurovia = <http://eurovia.pegase-instrumentation.fr/>
- ...

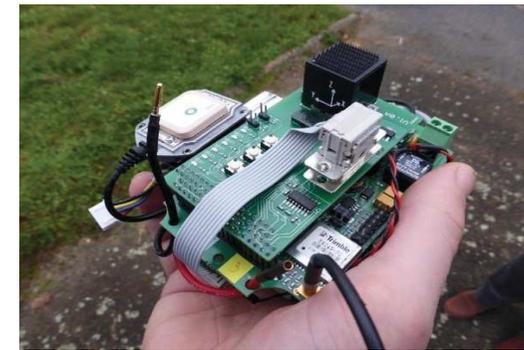


# 3- Zoom sur un moyen de monitoring avancé : PEGASE

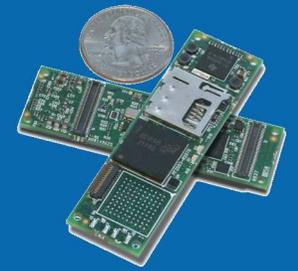


## Analyse modale sur Portique Autoroutier

Codes de calculs SSI sur P2 : Stochastic Subspace Identification (SSI) en partenariat avec INRIA (équipe I4S)



# 3- Zoom sur un moyen de monitoring avancé : PEGASE

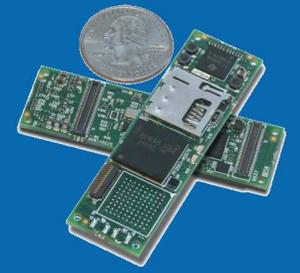


Mesure de déplacement précis (centimétrique) des Structures à l'aide du GPS de PEGASE 2

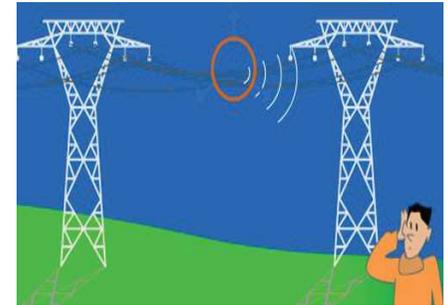


- NEO6T : récepteur GPS avancé
  - Utilisation du mode différentiel
  - implémentation sur P2 de la RTK LIB
  - ...
  - programme de R&D en cours
  - ...
- => un capteur de déplacement centimétrique !**

# 3- Zoom sur un moyen de monitoring avancé : PEGASE



Mesure et datation précise de propagation d'ondes électriques ou acoustiques



© JSébastien Blanc

# 4) Ifsttar (Nantes) dans le champ des EMR



## 4.1) Ifsttar et les EMR : projets en cours (non exhaustifs)

Projet SURFFEOL



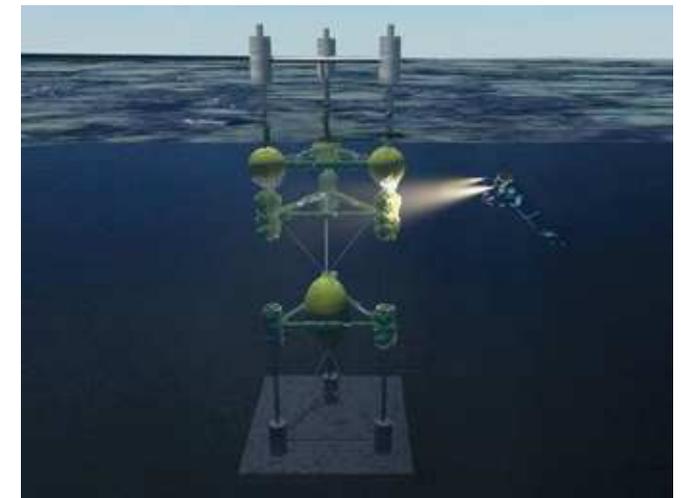
IFSTTAR



stx France

Les 4 objectifs principaux :

- Apporter aux développeurs de champs éoliens offshore une expertise pour **optimiser la maintenance des fondations éoliennes** offshore
- **Disposer des méthodes** et outils industriels dans le domaine des fondations d'éoliennes
- Améliorer la connaissance des agents de dégradation des fondations, **recueillir des données** sur les sites régionaux (SEMREV)
- Proposer des fondations intégrant les équipements nécessaires à la surveillance de leur santé structurelle



# 4) Ifsttar (Nantes) dans le champ des EMR



## 4.1) Ifsttar et les EMR : projets en cours (non exhaustifs)

Projet FONDEOL 2



IFSTTAR

stx France

Proposer un ou plusieurs nouveaux types de fondations d'éoliennes offshore et de nouvelles méthodes associées au dimensionnement de ces structures:

- Couplage aéro-hydro-élastique dans les calculs des éoliennes offshore
- Conception, calcul, exécution et contrôle des fondations éoliennes offshore
- **Instrumentation** pour surveillance à distance des structures de type jacket
- Eco-conception de fondations d'éolienne
- Conception d'un support de type jacket permettant de réduire l'impact environnemental en terme de bruit lors de l'installation des piles

# 4) Ifsttar (Nantes) dans le champ des EMR



## 4.1) Ifsttar et les EMR : projets en cours (non exhaustifs)



### Projet E-DEAL

Identifier de nouveaux domaines d'application des matériaux composites par le biais d'une étude technico-économique.

### Projet CHARGEOL

Travailler sur la réduction des risques liés à la conception de fondations pour éoliennes offshore. Politique de réduction des risques s'inscrivant dans la politique de développement de la filière éolien offshore en Pays de la Loire

### Projet SI3M

Réduire le fossé entre les modèles mathématiques efficaces d'optimisation en contexte incertain et les modèles de dégradations probabilistes. Optimisation et adaptation des techniques de CND aux champs éoliens offshore

# 4) Ifsttar (Nantes) dans le champ des EMR



## 4.1) Ifsttar et les EMR : projets en cours (non exhaustifs)

### Projet OCEAGEN

Grand projet du PIA : 21.5 ME

Partenaire industriel : **Bouygues Travaux Publics**

Le projet OCEAGEN poursuit les objectifs principaux suivants:

- **Validation en grandeur réelle** du comportement de la technologie de **fondation flottante** développée par IDEOL: qualification de matériaux innovants et caractérisation en environnement marin
- **Réduction des coûts de l'éolien flottant** permettant de rendre la technologie compétitive par rapport à l'éolien posé dès 35 mètres de fond
- **Préparation de l'industrialisation** de la solution et du développement d'une filière industrielle française



# 4) Ifsttar (Nantes) dans le champ des EMR



**Projet CEA-TECH : adaptation du Morphosense à la mesure de déformation des éoliennes – couplage aux codes de calcul SSI**



# 5) Overview / perspectives



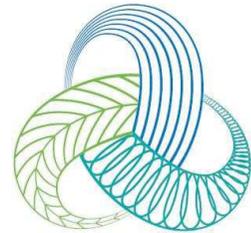
## 5) Overview / perspectives

- IFSTTAR a une **implication grandissante dans les EMR** notamment selon l'axe SHM / CND au niveau local (région PDL = région pilote des EMR)...
- Comme au niveau national : le MEDDE -tutelle de l'IFSTTAR- doit appliquer le **Plan National de Transition Energétique** votée par l'assemblée
- **Ifsttar se structure en interne en ce sens** : thématiques prioritaires, grands projets transversaux (R5G)...
- Il y a donc pertinence nationale et locale pour accentuer l'implication d'Ifsttar dans les EMR et le SHM/CND en particulier. **Réseautage** :
  - RFI Electronique (thèmes : capteurs innovants, objets connectés...)
  - RFI EMR
  - GIS ECND-PDL (en cours), GIS LIRGEC, GIS DURCI, Partenariat IRT Jules Verne, Novabuild (cluster BTP), COFREND, EWSHM.....
- **Percevoir IFSTTAR comme un acteur fort, volontaire et ouvert dans le domaine des EMR : projets R&D, expertise, essais, formation...**
  - **Idée phare** : porter / adapter une partie des savoir-faire Ifsttar des structures traditionnelles à celles des EMR...

# 5) Overview / perspectives



MERCI !!!



IFSTTAR

