

# Semaine Géomatique & Télédétection en Guyane

*L'imagerie spatiale et les nouvelles technologies au service du Territoire*

## Présentation du projet CARTEL



Cayenne, le jeudi 21 octobre 2021

# SOMMAIRE

- Présentation de l'UMR Espace Dev.
- Problématique des capteurs *in-situ*
- Transducteur communiquant approprié aux milieux amazoniens
- Mise en œuvre et réalisation de la « tête de mesure sensible »
- Développement de la plateforme « terrain »
- Interrogation à distance du capteur
- Travaux supplémentaires et annexes
- Perspectives en 2022

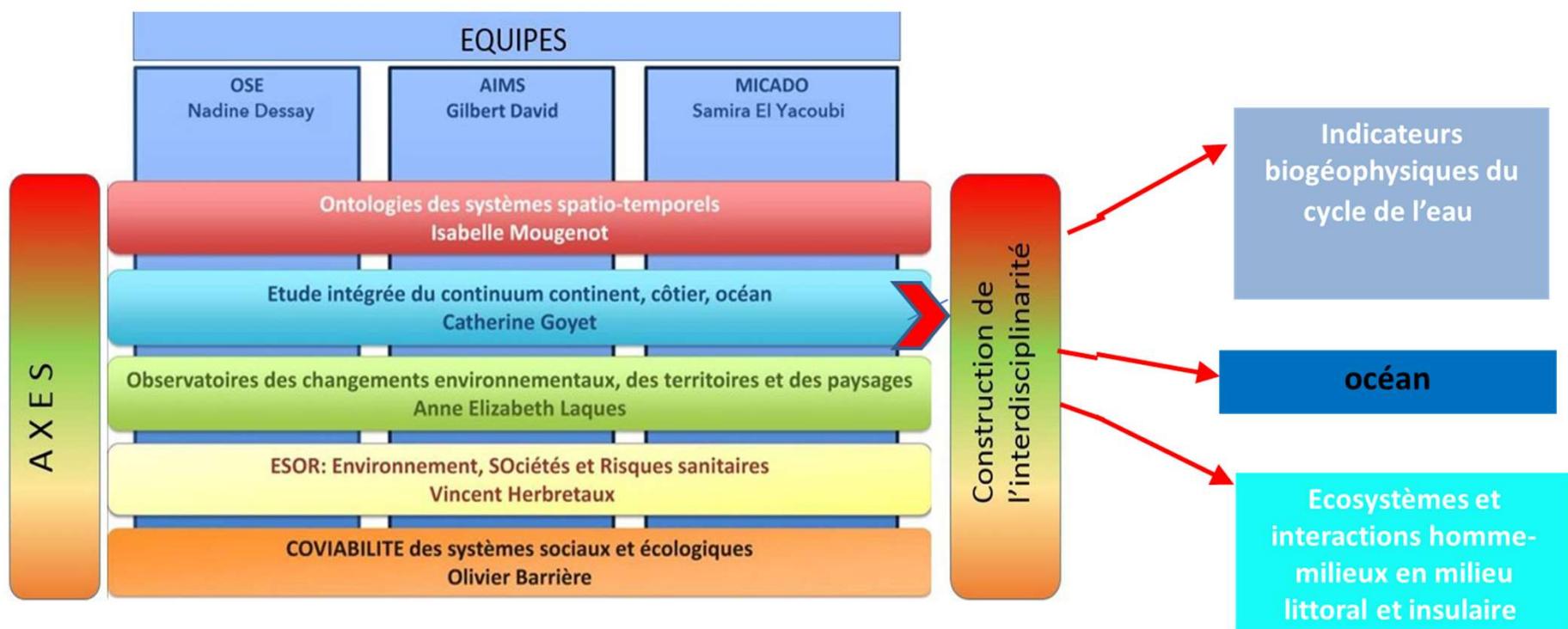
# PRESENTATION UMR ESPACE DEV.

Carmen GERVET, directrice

Gwennaelle PENNOBER, directrice adjointe univ. Réunion,

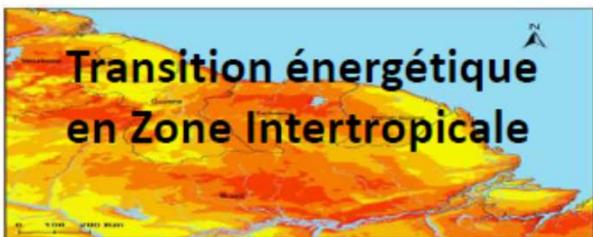
Benjamin SULTAN, directeur adjoint IRD,

Laurent LINGUET, directeur adjoint univ. Guyane,



# PRESENTATION UMR ESPACE DEV. GUYANE

## 3 axes de recherche



Appui au développement de l'énergie solaire en zone intertropicale

- 25 membres
- 1 PU, 12MCF
- 7 doctorant-es
- 1 AI
- 4 contractuels



Conception de capteurs pour la détection biochimique en milieux aérien et liquide

**Systèmes Embarqués Communicants Autonomes en Amazonie - SysAA**



Modélisation de phénomènes environnementaux



# **POURQUOI DES CAPTEURS *IN – SITU* ?**

## **Méthodes usuelles pour l'analyse « biochimique » des eaux**

### **Télédétection**

- Comportement spatio-temporel global en un point
- Difficile estimation du comportement de la cible dans la profondeur de l'eau
- Estimation compliquée en cas de couverture nuageuse

### **Collecte *in situ* d'échantillons pour analyse en laboratoire**

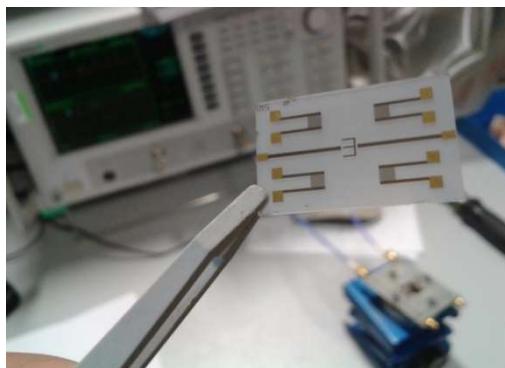
- Opérations logistiques lourdes
- Difficile de faire un échantillonnage exhaustif
- Conditionnement et transport de l'échantillon à assurer
- Coût élevé pour l'analyse de l'échantillon (instrumentation et personnel)

### **Mesures effectuées par les populations locales**

- Intérêt des populations locales
- Formation du personnel (comment faire une bonne mesure)
- Rendre la prise de mesure « amusante »

# STRATÉGIE DE L'ÉQUIPE SYSAA D'ESPACE DEV.

Du micro système dédié « ad hoc »



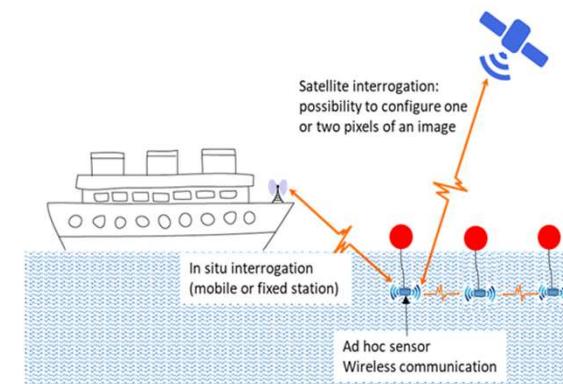
Mise en œuvre et conception de la tête de mesure sensible en laboratoire

à la mise en œuvre du laboratoire terrain mobile



Instrumentation et système d'interrogation (trans)portables

jusqu'au réseau de capteurs *in situ* autonome



Dispositifs en nappe (réseaux) pour le suivi de l'information en temps réel d'un site



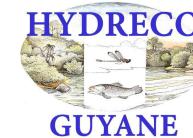
Plate-forme de détection (bio) chimique adaptable, compacte et communicante (IoT) pour les eaux et environnements amazoniens

# PROJET CARTEL (CAPTEURS EN APPUI DE LA TELÉDÉTECTION)

**FINANCEMENT FEDER + CNES : 327k€ + 100k€ (1Thèse +1PostDoc)**

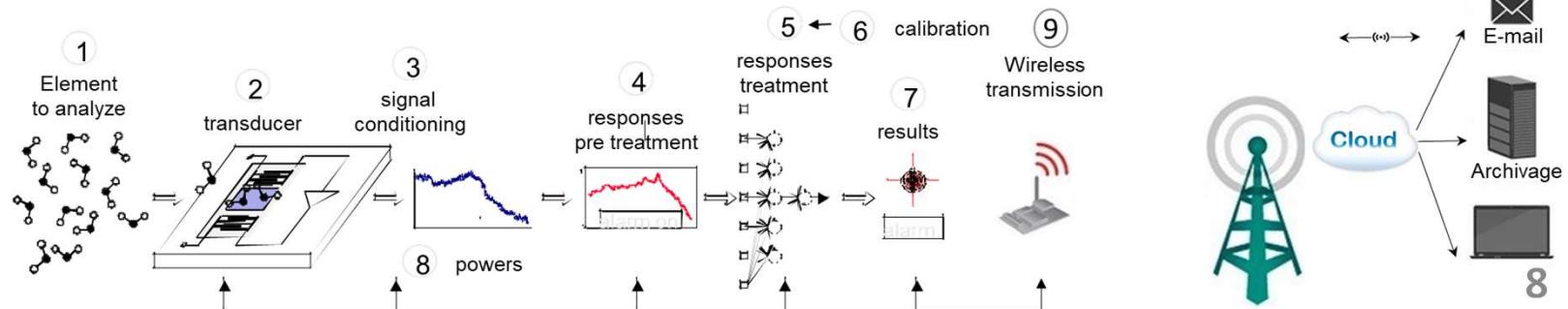
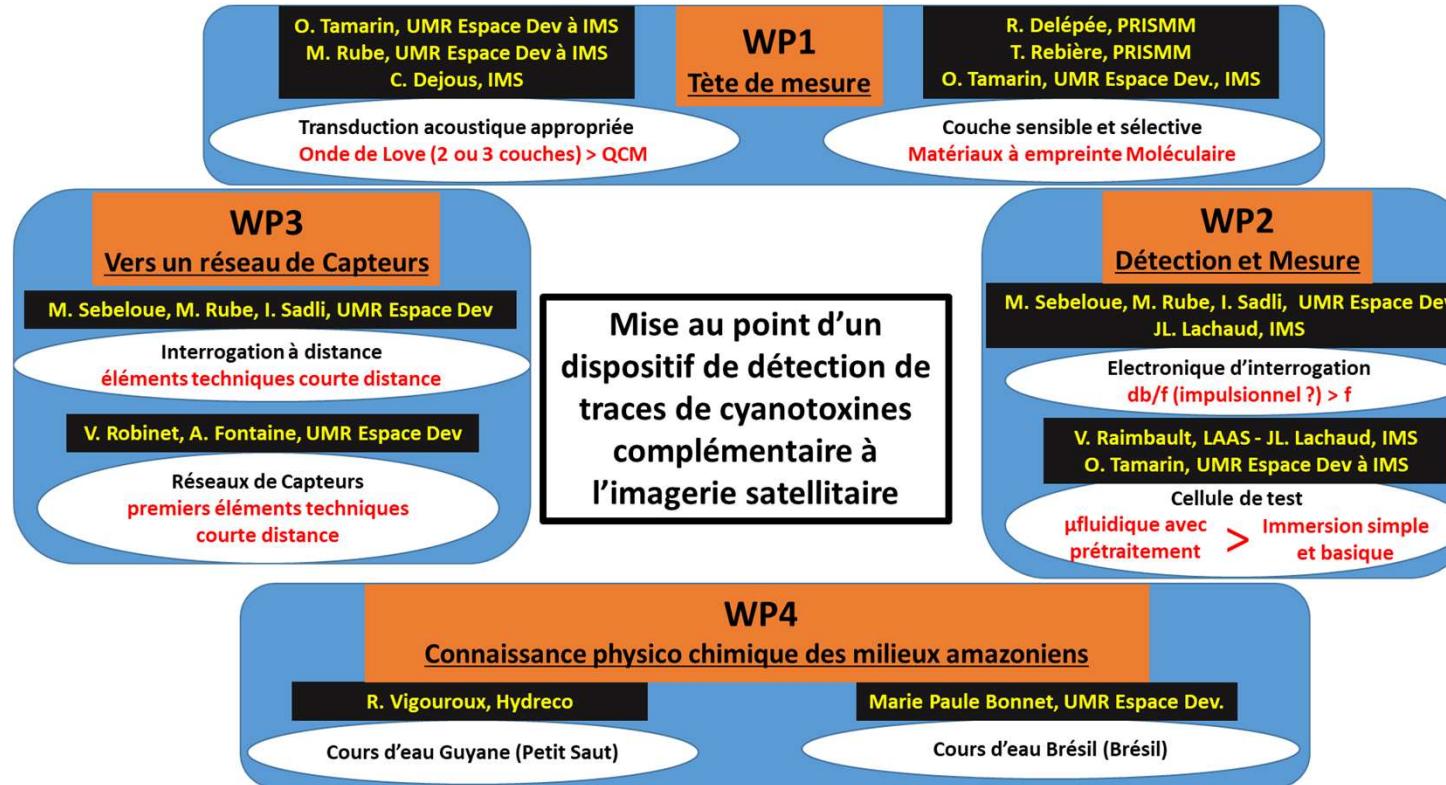


## PARTENAIRES :

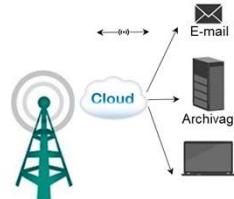
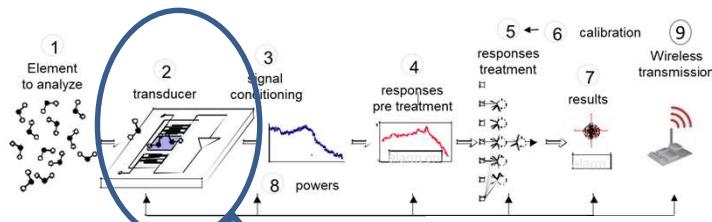


**DUREE : 2019 – 2022**

# PROJET CARTEL (CAPTEURS EN APPUI DE LA TELÉDÉTECTION)



# CHOIX DU TRANSDUCTEUR



Transducteur à ondes acoustiques de surface (SAW):  
=> Filtre Radio Fréquence très utilisé dans les télécommunications

**MICROCHIP**  
Vectron Product Portfolio

Contact us | Login | [in](#) [RSS](#) Search

Our company Investor relations Products Markets Newsroom

Product Search [Go to SAW Filter Table](#)

High Power SAW Filters

Download White Paper

High Power SAW Filters

Increased signal power level is a key approach when good signal-to-noise ratio in RF transmission systems or outstanding noise floor in oscillator signals is required. While small size is one the key advantages of Surface Acoustic Wave (SAW) filters compared to competing technologies, the combination of high power levels and small size results in high power densities and therefore risk of premature failure for highly miniaturized solutions. Vectron's innovative solutions allow realizations of SAW filters with substantially improved power handling capabilities and therefore help system designers to achieve their performance goals.

Download our White Paper to understand the capabilities and limitations of SAW technology with regards to high RF power levels, power-related failure modes and Vectron's capabilities to realize SAW component solutions with substantially increased power handling compared to standard SAW solutions.

19 x 6mm 13 x 6mm 9 x 7mm 9 x 5mm 7 x 5mm 5 x 5mm 3.8 x 3.8mm 3 x 3mm

Frequency (Hz)

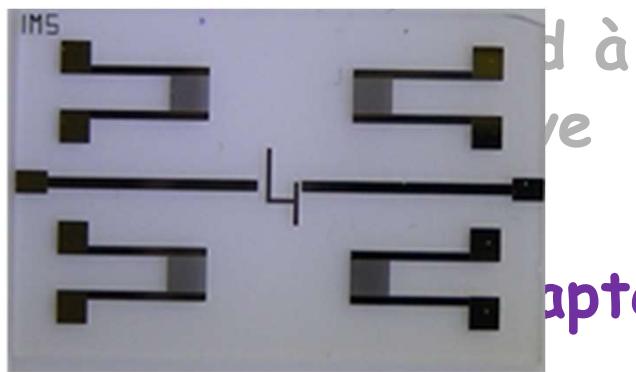
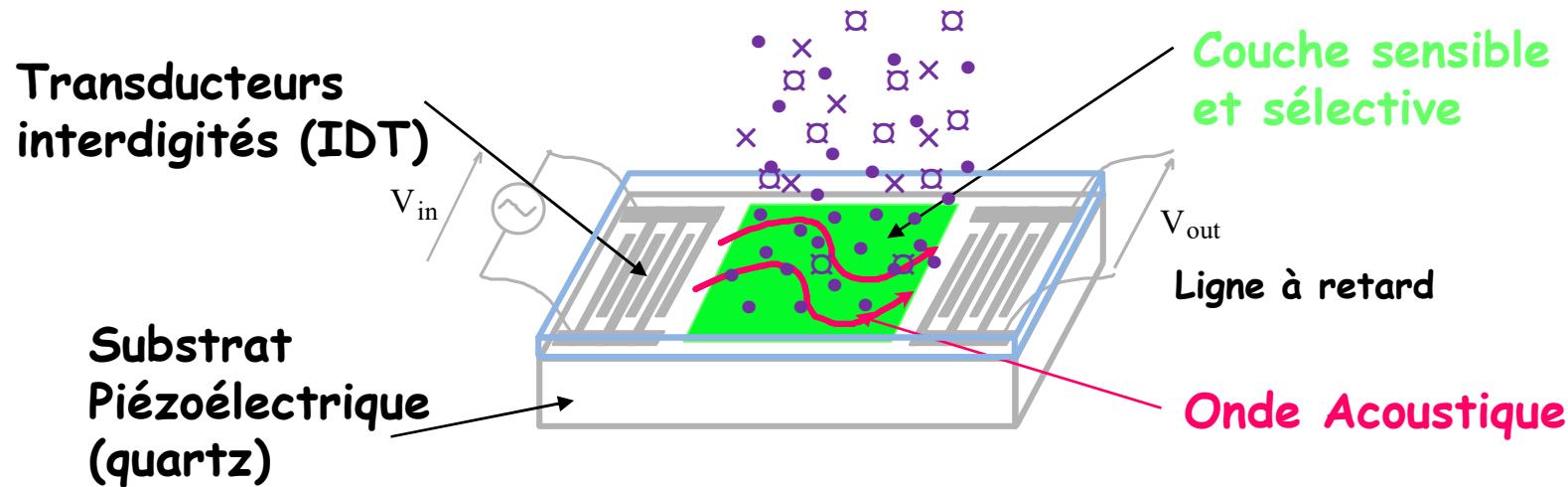
En configuration

« capteur »

- Bonne sensibilité
- Détection en temps réel
- Fonctionnalisation en surface
- Régénérable
- Robuste
- Compatible microfluidique
- Embarquable, communicant
- Mise en réseau (IoT)
- Facile (amusant) à utiliser (logiciel)
- Faible coût (matériel, humain)

# CHOIX DU TRANSDUCTEUR

Transducteur à ondes de Love pour des applications en milieu liquide



Couche sensible spécifique  
à l'espèce cible

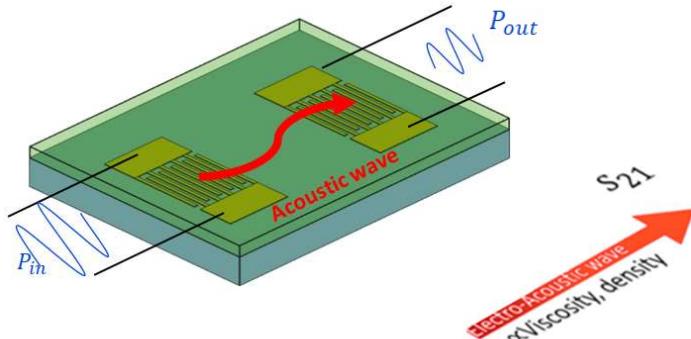
adaptateur Biochimique à ondes de Love

# MISE EN ŒUVRE DU TRANSDUCTEUR

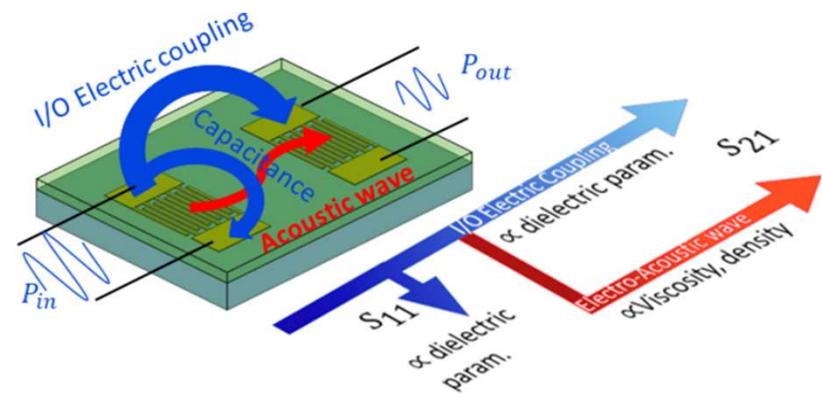
## Application à la détection en milieu liquide amazonien

=> Protocole permettant une réponse enrichie du capteur (Thèse M. Rube)

Méthode classique : exploiter uniquement la réponse acoustique du capteur  
⇒ Sensibilité à l'effet de masse



Méthode alternative : exploiter la réponse multiphysique du capteur (acoustique et électrique)  
⇒ Sensibilité à l'effet de masse  
⇒ Sensibilité aux paramètres diélectriques du liquide



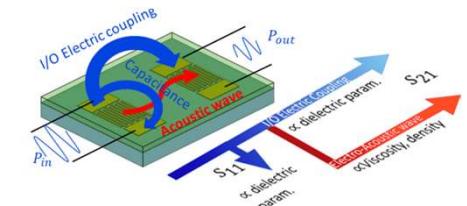
M. RUBE, O. TAMARIN, M. SEBELOUE, I. SADLI, H. HALLIL, L. LINGUET, D. REBIERE, C. DEJOUS. « Unconventional protocol for SAW sensor: multi-physics response enrichment in liquid medium ». *IEEE Sensors Journal*, 02 July 2021, DOI: 10.1109/JSEN.2021.3094299.

M. RUBE, O. TAMARIN, M. SEBELOUE, H. HALLIL, L. LINGUET, D. REBIERE, C. DEJOUS. « A Dual Love wave and Impedance-based Sensor: Response Enrichment. » 2020 IEEE Sensors Virtual Conference | October 25-28, 2020 WTC Rotterdam, pp. 1-4, 3<sup>rd</sup> - Best student paper Award.

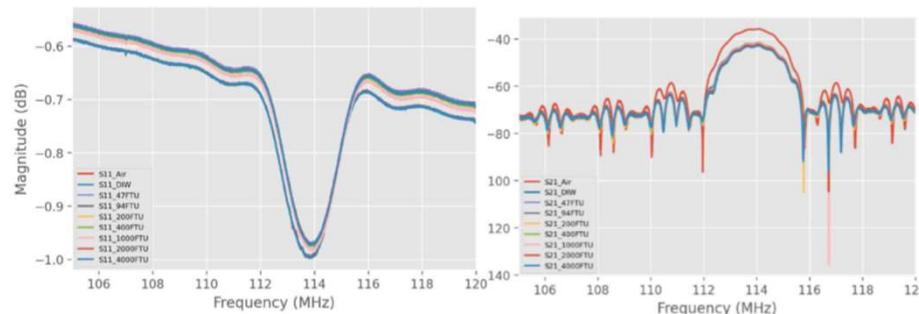
# REONSE DU TRANSDUCTEUR

## Mise en œuvre du capteur en milieu liquide turbide

Réponse du capteur aux solutions de Formazine (-> 4000 FTU) - Thèse A. Choudhari.



Méthode classique

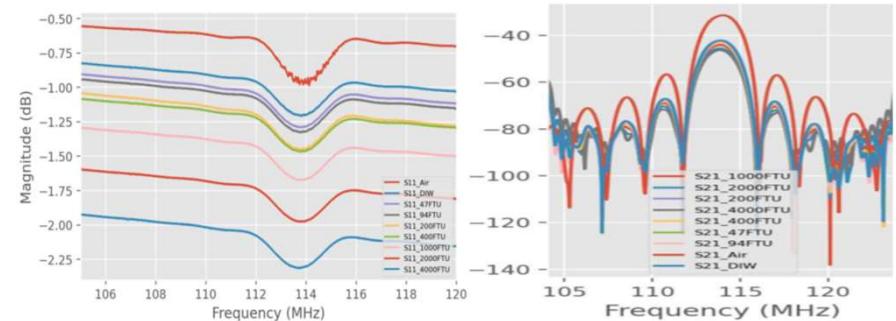


Réponse d'un spectrophotomètre aux solutions de Formazine (Onda V10 Plus)

Samples (FTU)	450 nm		880 nm		940 nm	
	Trans (%)	Abs	Trans (%)	Abs	Trans (%)	Abs
2000	0.1	2.974	0.4	2.421	0.5	2.326
1000	0.4	2.410	1.6	1.800	1.8	1.745
400	3.9	1.411	13.3	0.875	14.8	0.830
280	7.2	1.147	20.2	0.692	22.15	0.655
200	16.0	0.790	33.7	0.474	35.6	0.441
94	48.2	0.318	65.5	0.184	68.2	0.167
47	67.1	0.174	78.7	0.105	79.7	0.099
7	83	0.080	90	0.046	90.5	0.044

→ 16 % du signal émis à 200 FTU

Méthode alternative

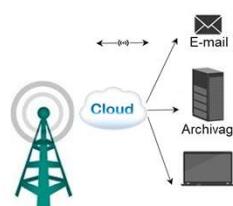
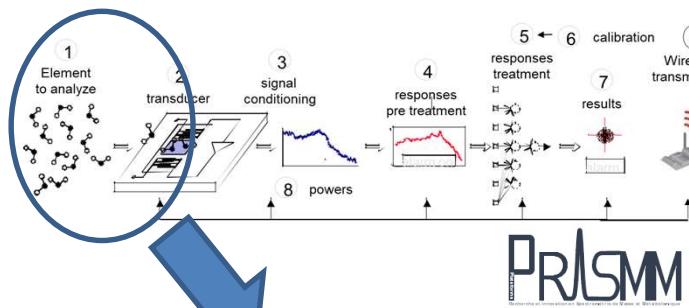


Réponse d'une sonde Hanna (HI 98129) aux solutions de Formazine

Liquid sample (FTU)	EC (pS/cm)	TDS (ppm)
2000	3999 (max limit)	2000 (max limit)
1000	3684	18775
400	1888	965
280	1198	675
200	914	459
94	368	188
47	253	129
7	117	59
DI water	0	0

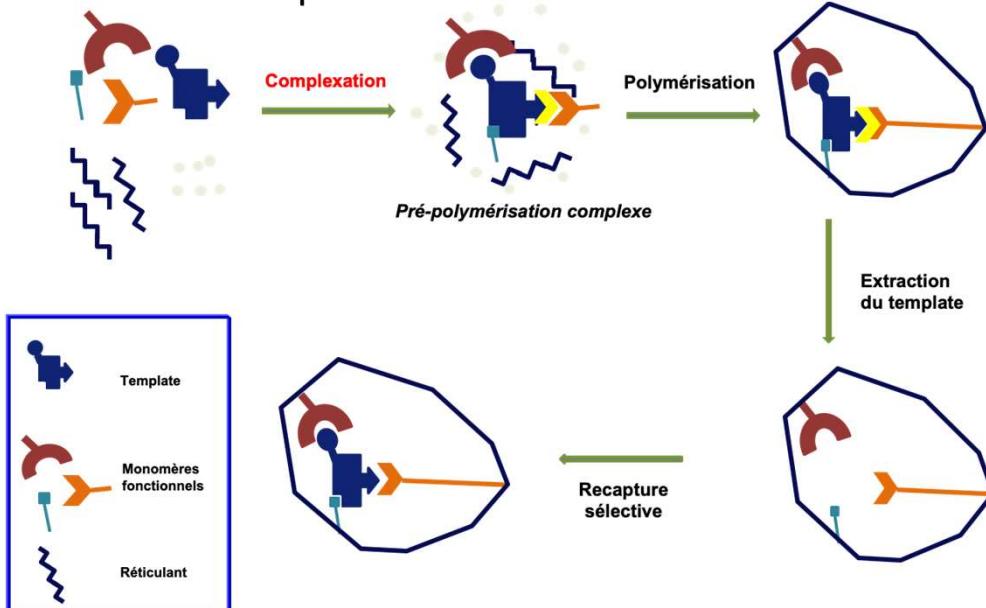
→ Saturation du signal à 2000 FTU

# REALISATION DE LA COUCHE SENSIBLE



## Couche sensible de polymère à empreintes moléculaires (MIP)

### Principe de fonctionnement



### Avantages des MIPs

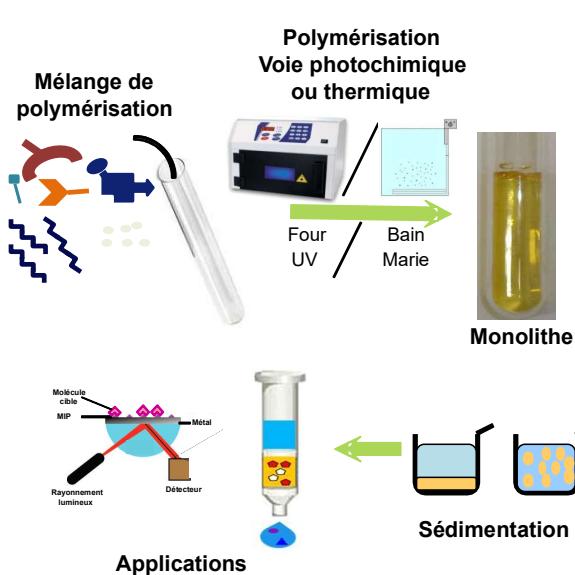
- Grande sélectivité et affinité à la molécule cible
- Relative facilité à mettre en œuvre une couche dédiée
- comparés aux systèmes biologiques :
  - ✓ grande robustesse physique, grande solidité
  - ✓ grande résistance aux températures et pressions élevées
  - ✓ grande inertie vis-à-vis des acides, des bases, des ions métalliques et des solvants organiques
  - ✓ moins coûteux à synthétiser et la durée de conservation des polymères peut être très élevée, (conservation des capacités de reconnaissance pendant plusieurs années à température ambiante)

### Avantages vis-à-vis de la transduction acoustique

- Compatibilité acoustique
- Porosité de la couche sensible

NIP (*non imprinted polymer*) : synthèse identique au MIP mais sans le template

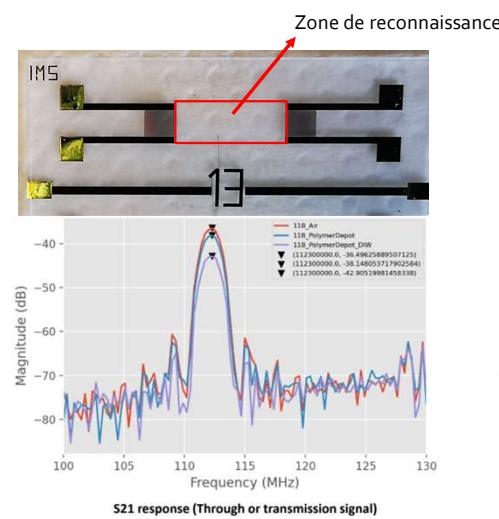
# REALISATION DE LA COUCHE SENSIBLE



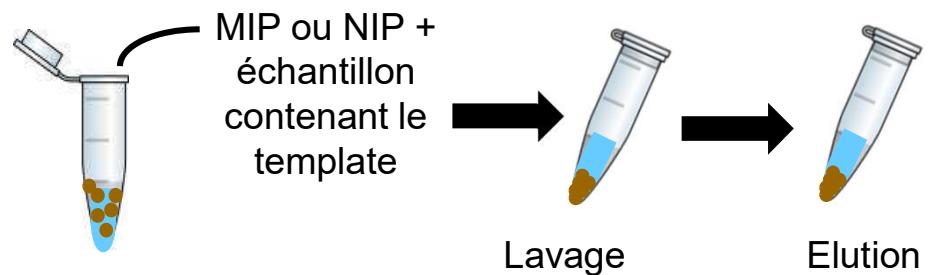
## Etude de miniaturisation



## Essai de dépôt



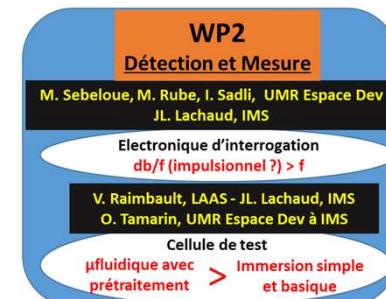
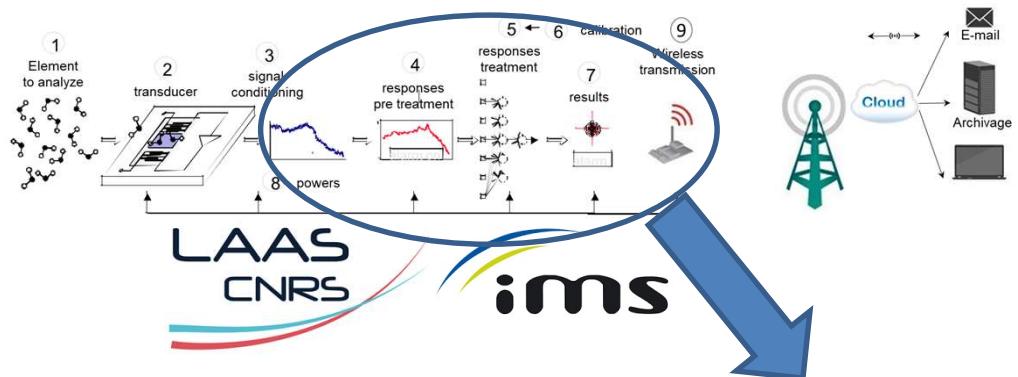
## Tests de recapture



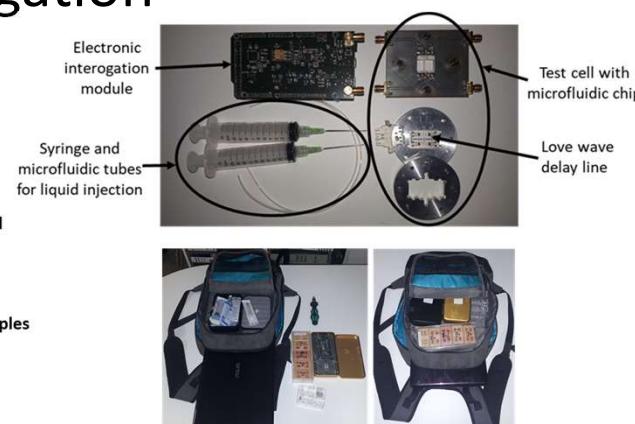
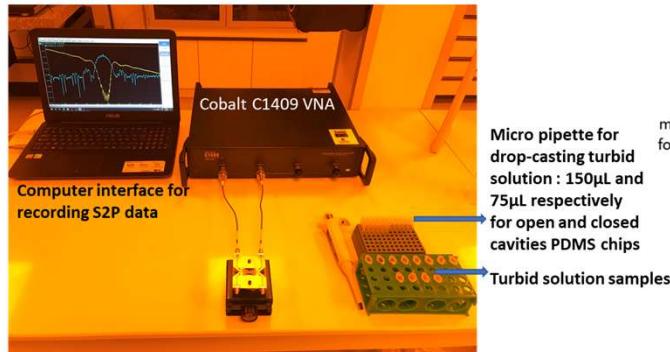
**Spécificité : Facteur d'impression**  $FI = \frac{MIP}{NIP} = 3,6$

Elution

# MISE EN ŒUVRE DE LA PLATEFORME TERRAIN



## Electronique d'interrogation



Des mesures en laboratoire

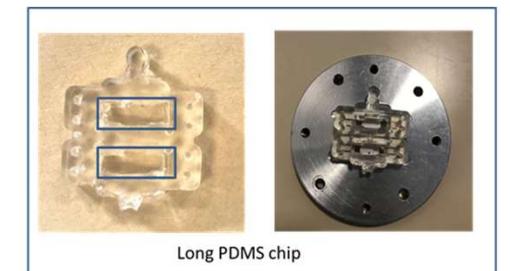
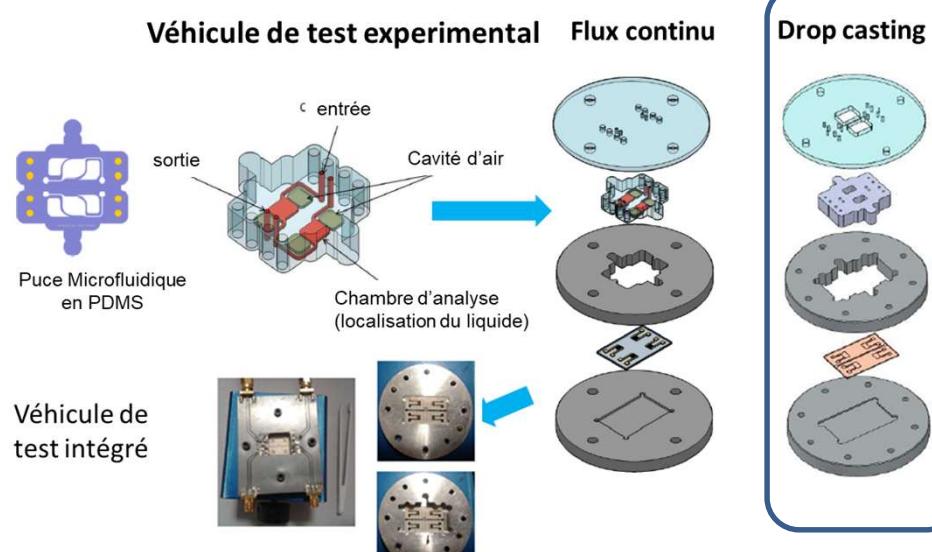


à l'expérimentation terrain (laboratoire mobile)

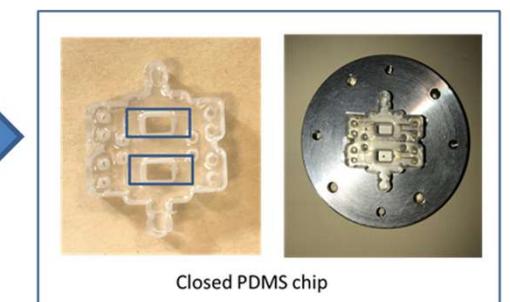
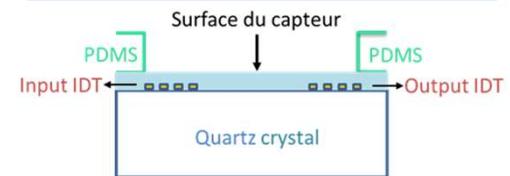
# MISE EN ŒUVRE DE LA PLATEFORME TERRAIN

## Mesure en milieu liquide

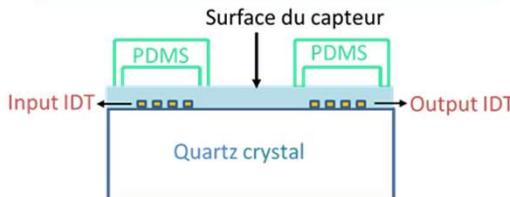
Véhicule de test avec son instrumentation microfluidique



Long PDMS chip



Closed PDMS chip

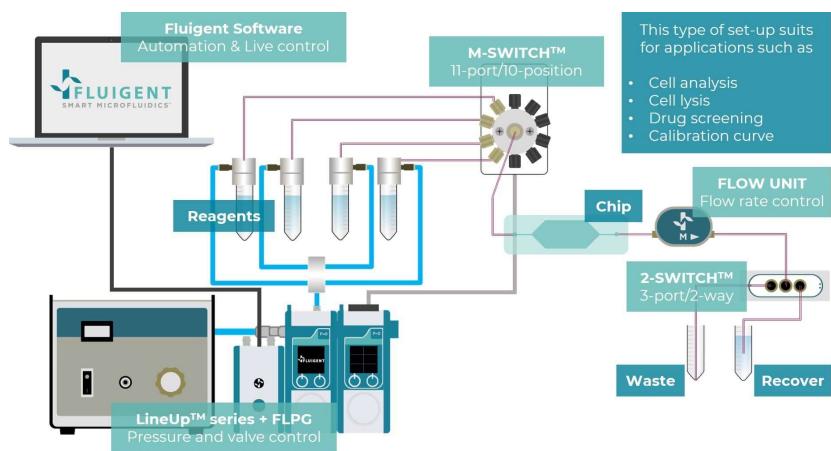


# MISE EN ŒUVRE DE LA PLATEFORME TERRAIN



## Mesure multiplexée en milieu liquide

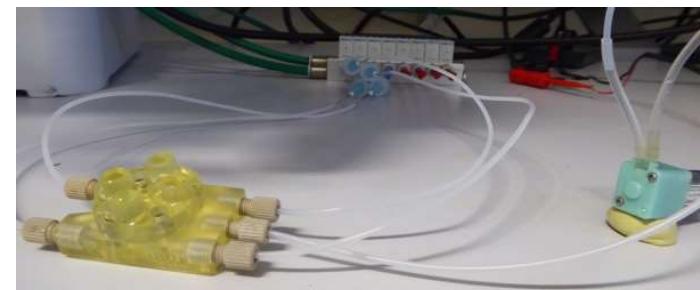
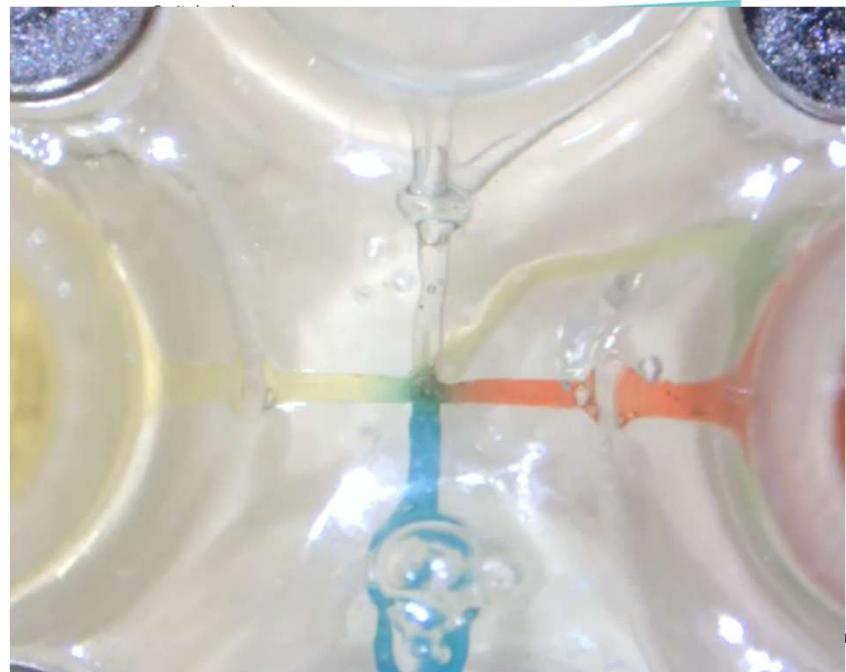
Système utilisable en laboratoire, difficile  
à mettre en œuvre sur le terrain



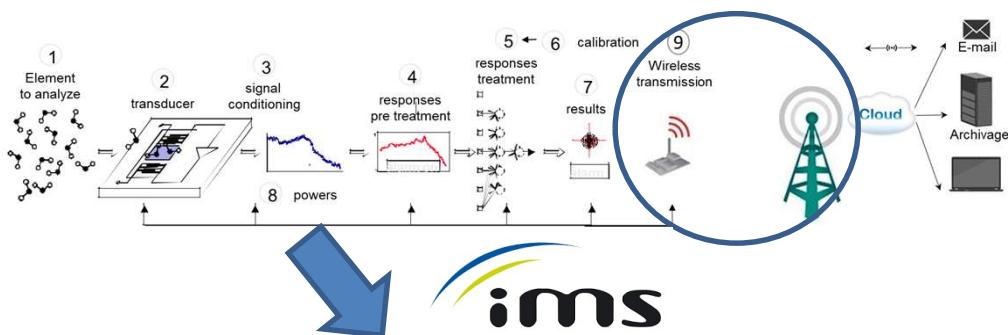
<https://www.fluigent.com/>

Postdoc W. Gonji  
01/11/2021

Système faible coût, 4 vers 1  
utilisable sur le terrain en autonomie

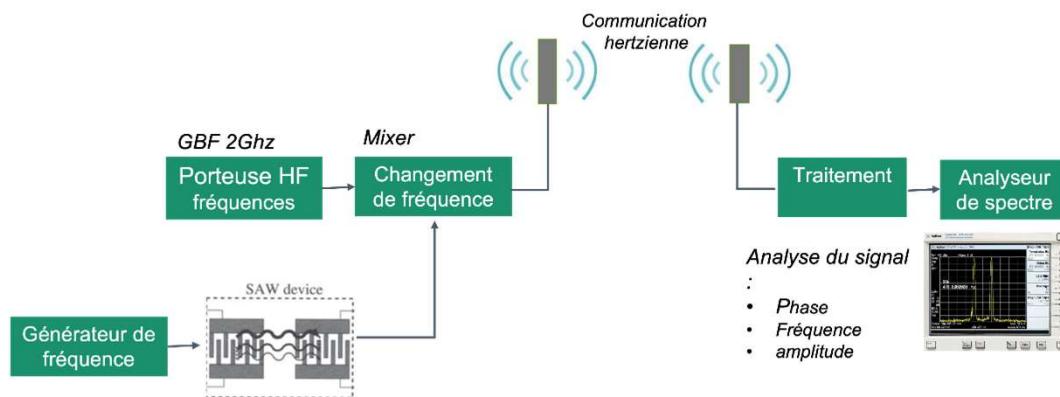


# INTERROGATION A DISTANCE

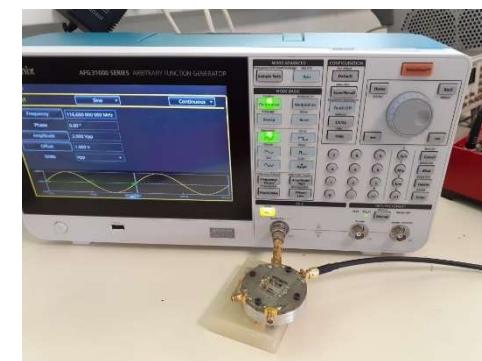
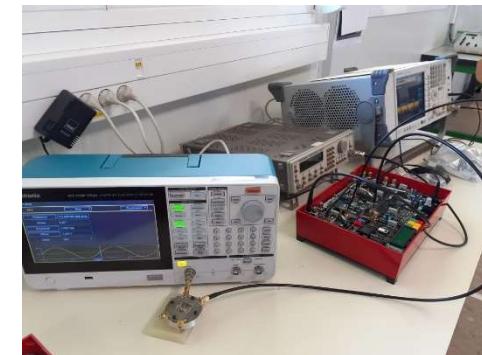


## Interrogation antenne hertzienne

Adressabilité - IoT



## Premier prototype

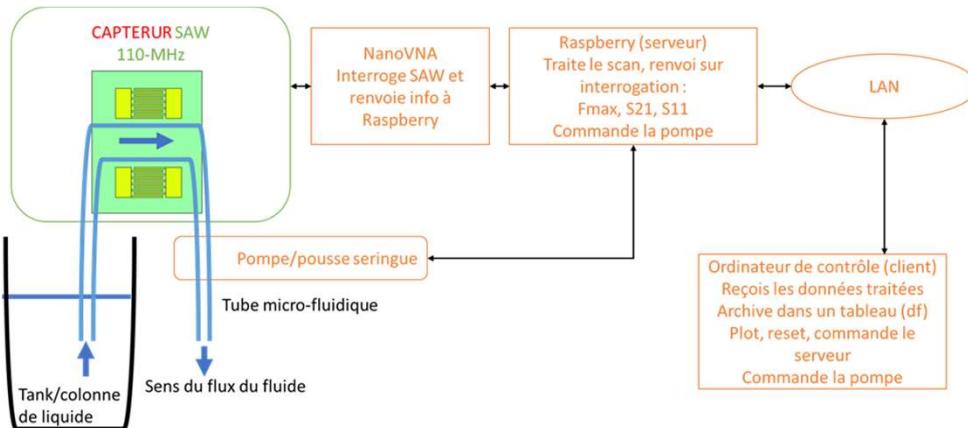


Projet étudiant BUT GEII en cours  
Réalisation des circuits d'interrogation

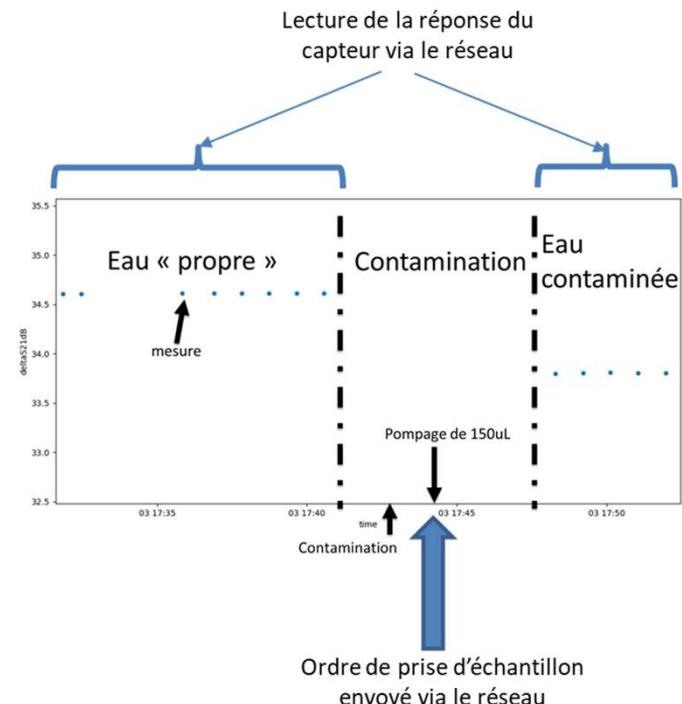
# INTERROGATION A DISTANCE

## Interrogation via réseau LORA

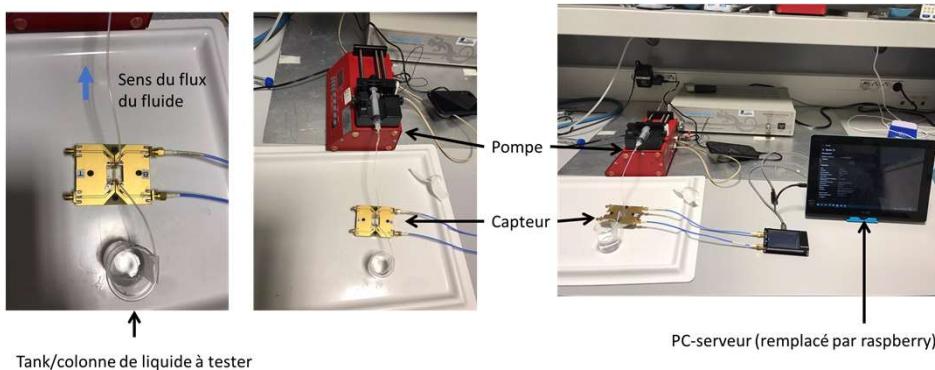
### Principe



### Résultats préliminaires



### Premier prototype



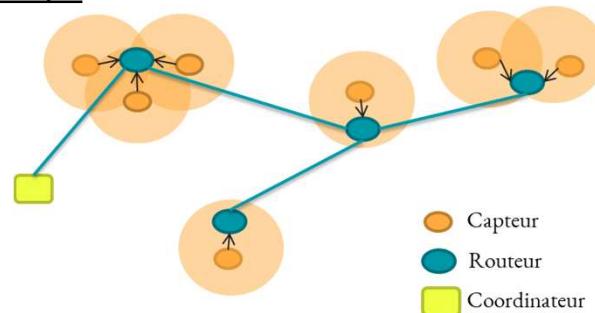
Stage ingénieur début 2022 pour embarquer ce système dans un drone marin

# VERS UN RESEAU DE CAPTEURS

## Mise en œuvre de capteur en nappe

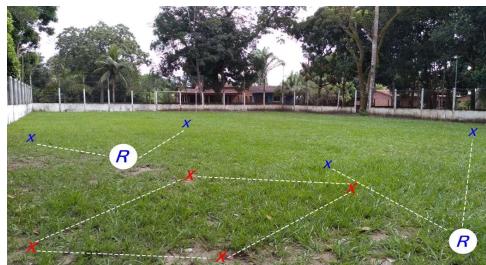
Projet Senscoil (Guyamazon 4)    Partenariat Université Fédérale du Maranhão

### Principe



Réseau de capteur représenté par un graph

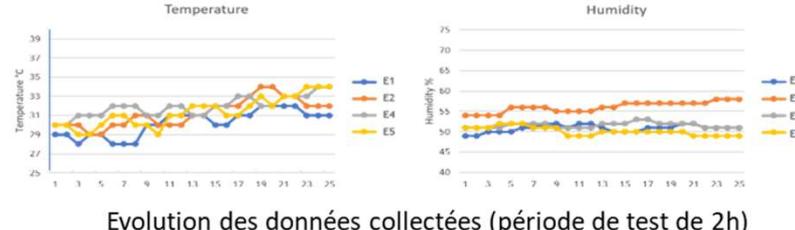
### Premier prototype



Répartition des noeuds sur le terrain (topologie en étoile et en arbre)



### Résultats préliminaires



Evolution des données collectées (période de test de 2h)



Interface Web

R. M. C. Silveira, F. P. R. S. Alves, A. Fontaine, E. E. C. Santana: A Web-Service to Monitor a Wireless Sensor Network. ICWS 2019

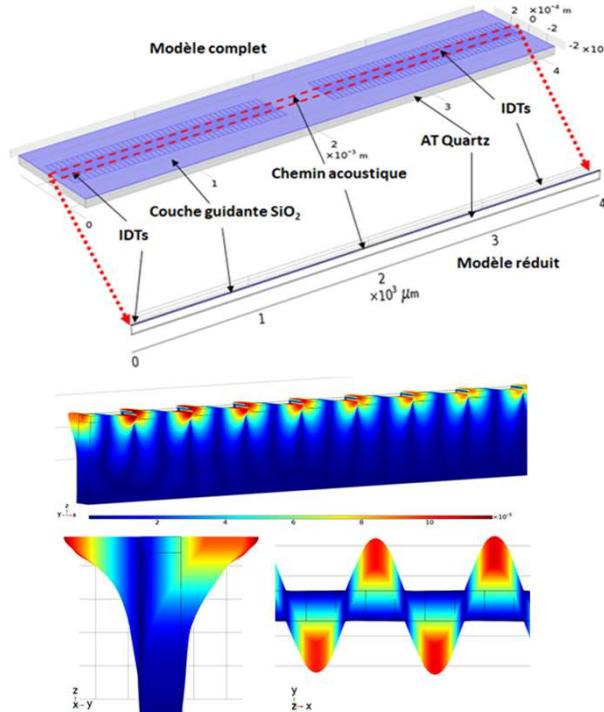
R. M. C. Silveira, T. D. Rocha Dutra, F. P. R. Sampaio Alves, A. Fontaine, T. Desjardins, R. C. S. Freire, A. K. D. Barros, E. E. C. Santana: Monitoring an Environment Using Wireless Sensor Network. INSCI 2019



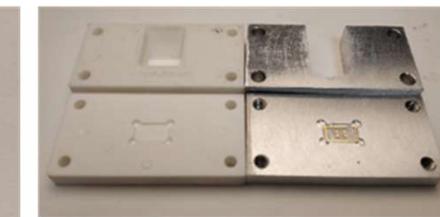
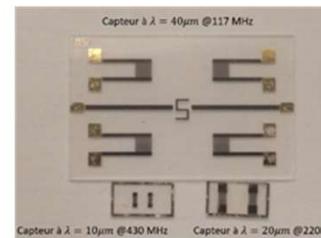
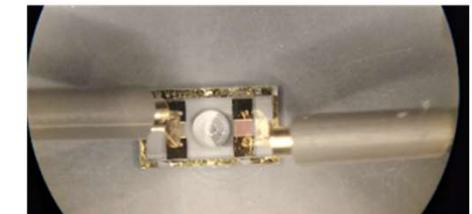
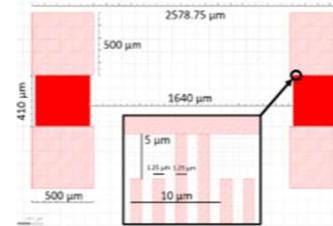
Stage ingénieur début 2022 pour adapter ce système aux capteurs à ondes de Love

# TRAVAUX SUPPLEMENTAIRES CARTEL

Conception de capteurs à ondes de Love « haute fréquence »



Du modèle à la conception et la réalisation du capteur



M. RUBE, O.TAMARIN, J.L. LACHAUD, M. SEBELOUE, L. LINGUET, D. REBIERE, C. DEJOUS, « Optimization and design of a Love Wave sensor device at 433 MHz by Finite Element Modeling. » 2019, 4th International Symposium on Instrumentation Systems, Circuits and Transducers (INSCIT), Sao Paulo, Brazil, 2019, pp. 1-6. DOI: 10.1109/INSCIT.2019.8868676

O. TAMARIN, M. RUBE, C. BOISSIERE, J.L. LACHAUD, H. HALLIL, C. DEJOUS, D. REBIÈRE, « Finite Element Modelling design and optimization of Love Wave mesoporous transducers for biochemical detection in liquid medium. » 2018 3rd International Symposium on Instrumentation Systems, Circuits and Transducers (INSCIT), Bento Goncalves, 2018, pp. 1-6. – Best Paper Award of the Conference. DOI: 10.1109/INSCIT.2018.8546720

# TRAVAUX ANNEXES - CARTEL

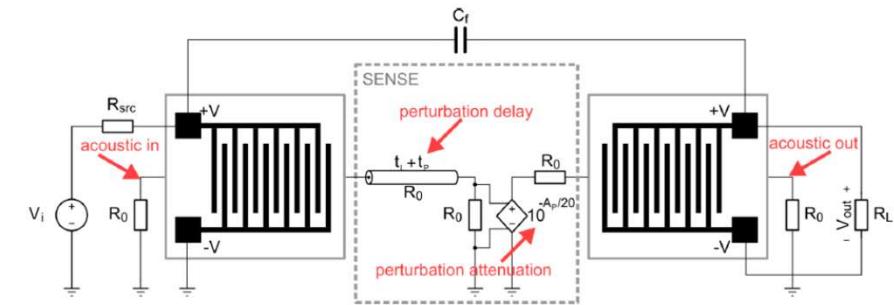
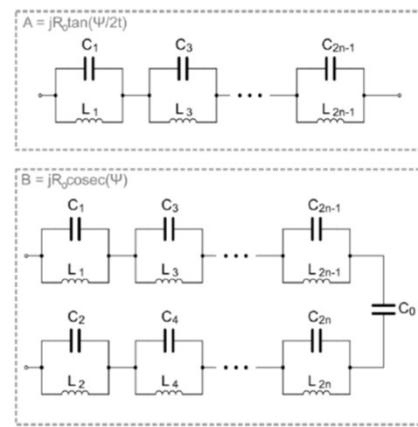
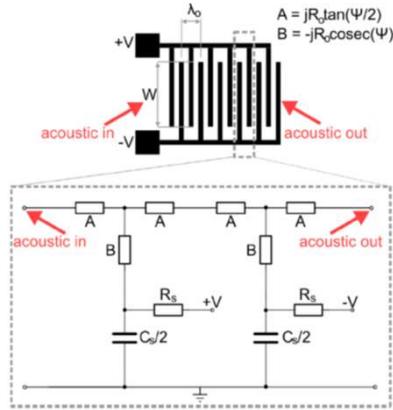
## Mise en œuvre de composants à ondes de Love « virtuels »

Modélisation et simulation de circuits électroniques d'interrogation dédiés

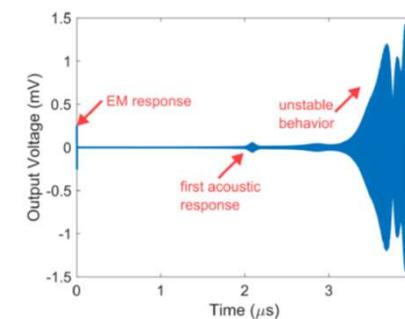
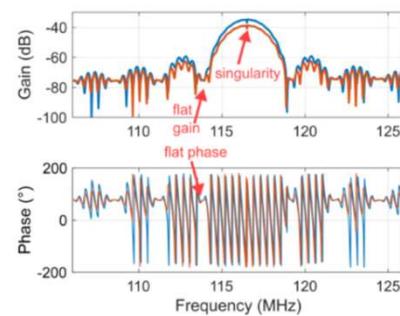


Universidade Federal  
de Campina Grande

Circuit équivalent dans l'environnement Pspice Application du théorème de Foster



Très bons résultats en première approximation dans les domaines temporels et fréquentiels



Partenariat Université Fédérale de Sergipe et Campina Grande (Paraiba)

R. C. O. JESUS, E. A. N. CARVALHO, O. TAMARIN, R. C. S. FREIRE, C. DEJOUX, "Evaluation of an Equivalent Circuit Model for Simulation of Surface Acoustic Wave Sensors," 2021 5th International Symposium on Instrumentation Systems, Circuits and Transducers (INSCIT), 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/INSCIT49950.2021.9557258.

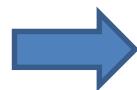
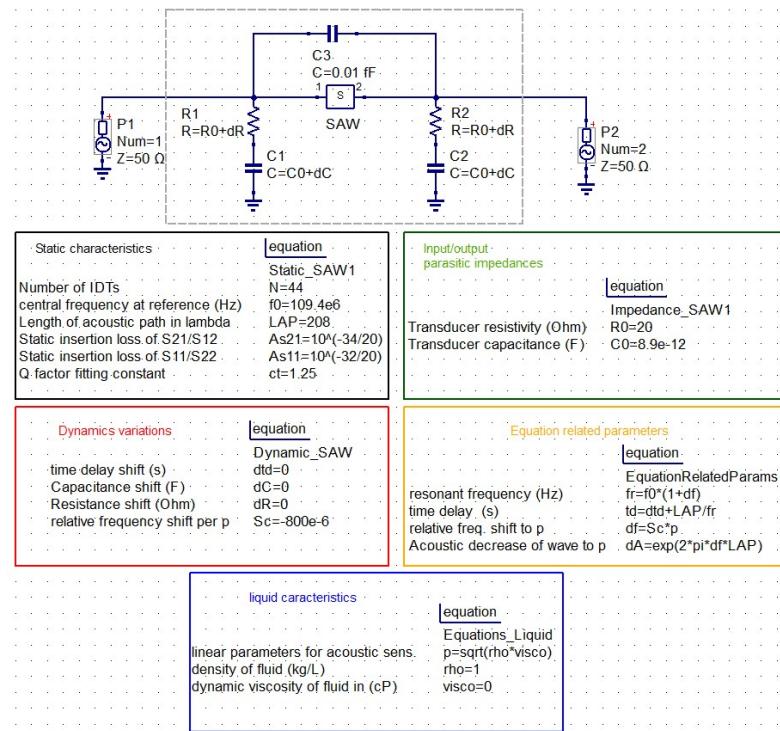
# TRAVAUX ANNEXES - CARTEL

## Mise en œuvre de composants à ondes de Love « virtuels »

Modélisation et simulation de circuits électroniques d'interrogation dédiés

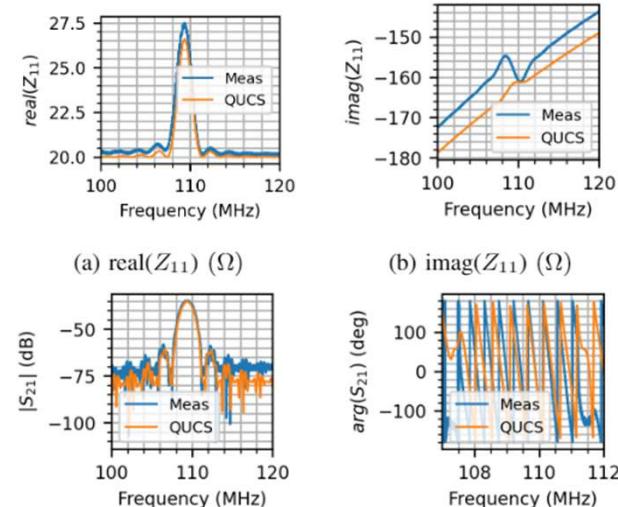


### Circuit équivalent dans l'environnement Qucs



Equation analytique de dispersions + circuit électrique

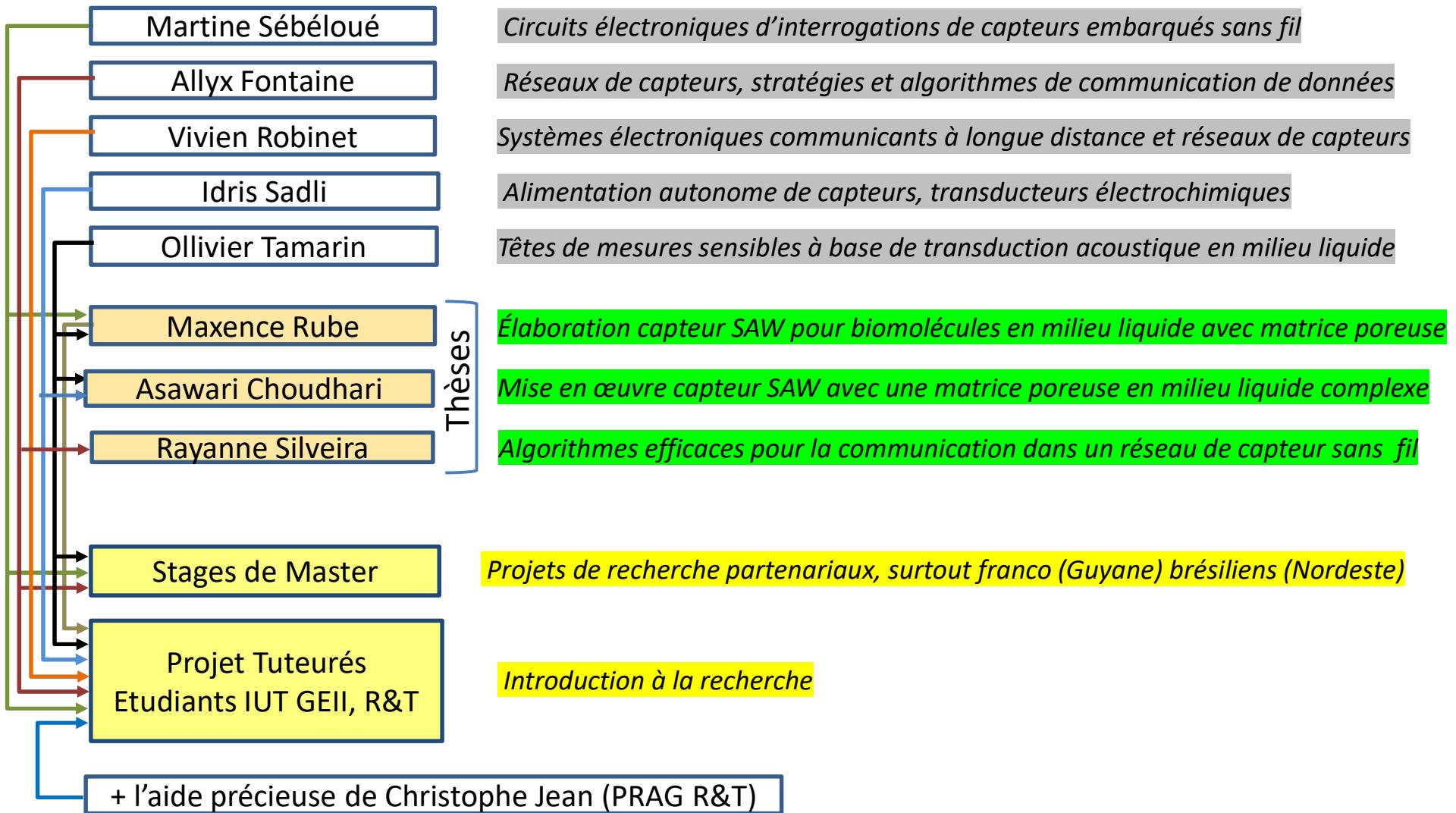
Très bons résultats en transmission et en réflexion dans les domaines fréquentiels



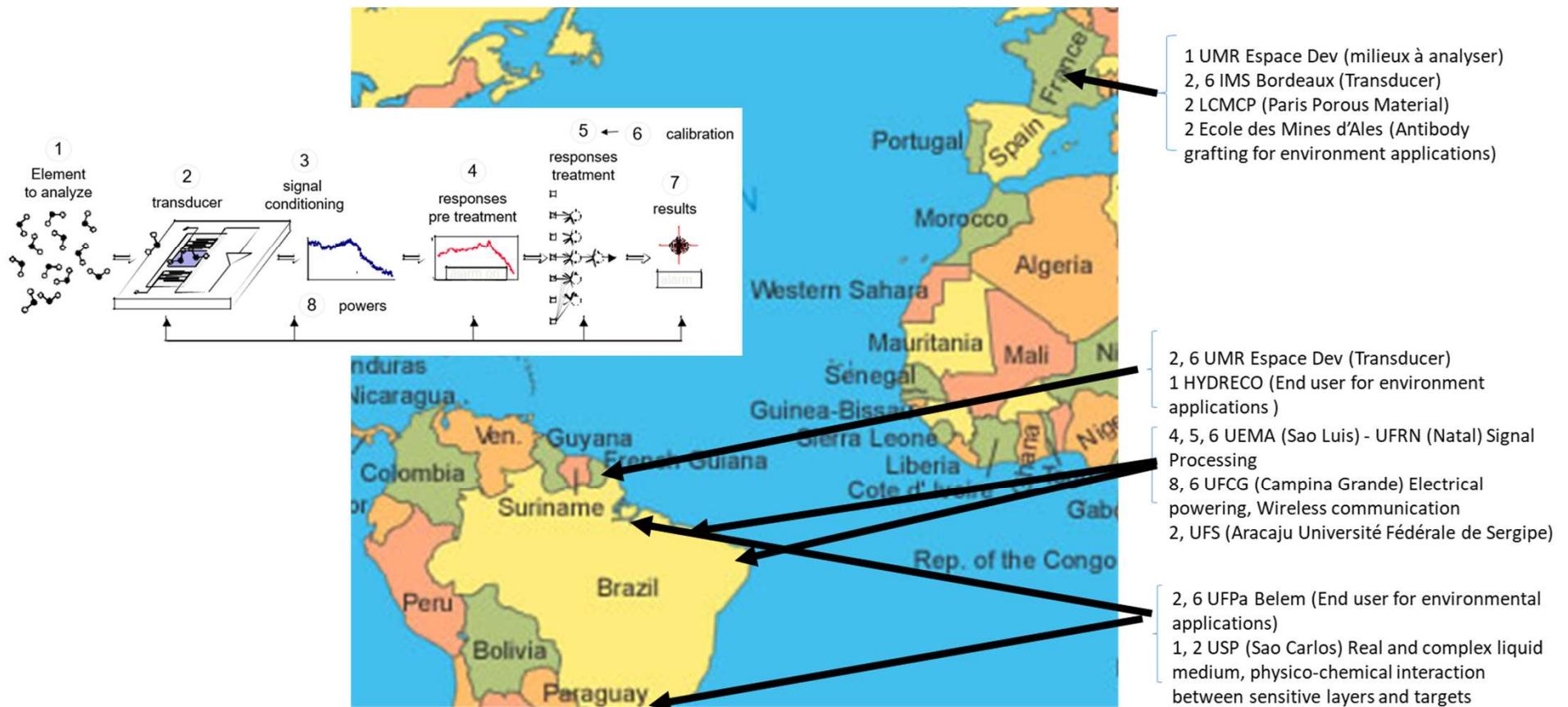
# TRAVAUX A EFFECTUER EN 2022 - CARTEL

- Recrutement d'une post doc à Kourou pour expérimentation terrain (01/11/2021)
- Association finale de la couche sensible « MIP » et du transducteur à ondes de Love
- Expérimentation en laboratoire en eaux turbide pour la détection de toxine
- Expérimentation sur le terrain (laboratoire mobile) pour éprouver le capteur avec son instrumentation électronique et micro fluidique, en milieu liquide complexe
- Expérimentation du système complet dans un drone marin (transmission sans fil)
- Première réalisation de la mise en réseau des capteurs

# L'EQUIPE EN GUYANE



# LES PARTENARIATS



# Semaine Géomatique & Télédétection en Guyane

*L'imagerie spatiale et les nouvelles technologies au service du Territoire*

Projet CARTEL  
Nous vous remercions pour  
votre attention



Cayenne, le jeudi 21 octobre 2021

