



HAL
open science

Point d'avancement sur le contrôle ultrasonore d'un milieu liquide avec gradients de température et de vitesse d'écoulement et prise en compte du caractère diphasique du milieu

J. Moysan, Matthieu Cavaro, M.A. Ploix, C Payan

► To cite this version:

J. Moysan, Matthieu Cavaro, M.A. Ploix, C Payan. Point d'avancement sur le contrôle ultrasonore d'un milieu liquide avec gradients de température et de vitesse d'écoulement et prise en compte du caractère diphasique du milieu. Journées COFREND 2023, Jun 2023, Marseille, France. hal-04204565

HAL Id: hal-04204565

<https://hal.science/hal-04204565>

Submitted on 12 Apr 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

JE2C-3

Point d'avancement sur le contrôle ultrasonore d'un milieu liquide avec gradients de température et de vitesse d'écoulement et prise en compte du caractère diphasique du milieu

Joseph MOYSAN¹ - Matthieu CAVARO² – Marie-Aude PLOIX¹ – Cédric PAYAN¹

LMA UMR CNRS 7031¹ – CEA CADARACHE²

Sommaire

- ❖ 1. Le Labcom MISTRAL (2019)
- ❖ 2. Milieux à gradients de température
 - ➔ le banc IKHAR
 - ➔ simulation HPC
- ❖ 3. Milieux diphasiques
 - ➔ le banc ACWABUL
- ❖ 4. Conclusion - Perspectives

Modeling, Inspection and characterization of materials and STRuctures for Advanced Low carbon energies



Recherche amont

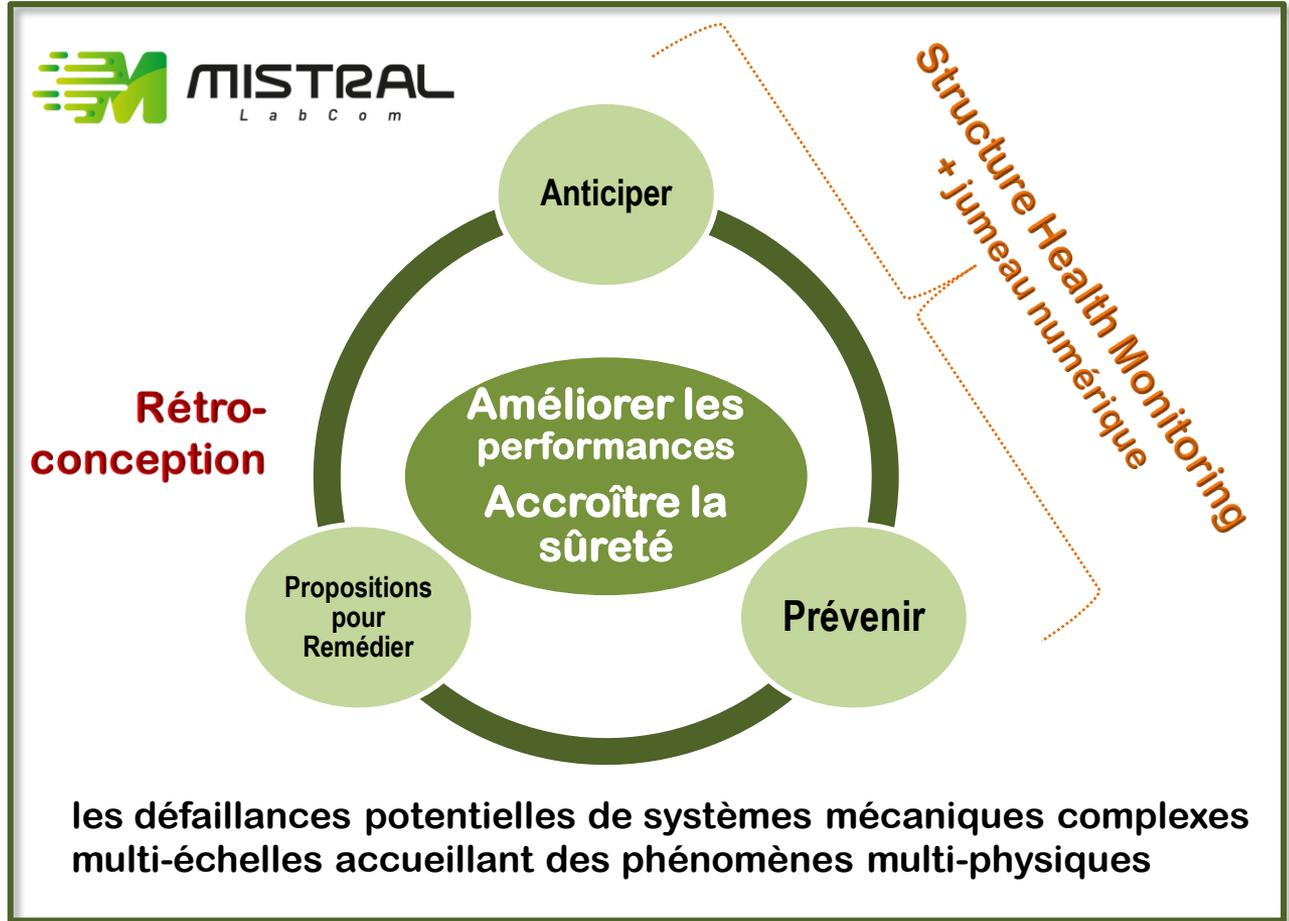
- Mécanique des solides : *changements d'échelles & micromécanique, interfaces, contact & frottement, couplages multiphysiques, structures, dynamique non linéaire ...*
- Acoustique : *ondes dans les matériaux fluides et solides, vibrations, émission acoustique, contrôle non destructif, imagerie & inversion ...*



R&D applicative

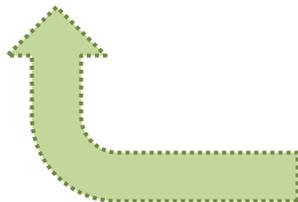
- Réacteurs nucléaires civils et cycle du combustible associé : *optimisation des technologies actuelles, développement de la génération future, démantèlement*
- Energies renouvelables (*dont batteries pour véhicules électriques*)

Rétro-conception



Structure Health Monitoring
+ jumeau numérique

les défaillances potentielles de systèmes mécaniques complexes multi-échelles accueillant des phénomènes multi-physiques



Amélioration des connaissances théoriques et de leurs applications
TRL ≤ 3 - thèses, publications

R&D plus appliqués

Champs d'applications diversifiés : énergie bas carbone (dont nucléaire), aéronautique, spatial ...

V1. Comment modéliser de façon précise les phénomènes multi-physiques?

V2. Comment modéliser les phénomènes mécaniques en passant les échelles d'espace (y compris les zones de contact) de façon automatique et en maîtrisant les erreurs (de discrétisation et de résolution) par rapport à la solution exacte (mais inconnue)?

Anticiper

Comprendre & modéliser le comportement des éléments et/ou des syst. d'éléments

V3. Homogénéisation des comportements des matériaux & structures?

V6. Comment caractériser et surveiller un milieu hétérogène?

**Performances
Sûreté**

Propositions pour Remédier

Surveiller de manière optimale les syst. Déterminer les critères d'alerte

Prévenir

V4. Comportement d'un assemblage de structures en présence d'un écoulement fluide et de non-linéarités sous sollicitations mécaniques externes?

V5. Quels paramètres mesurables pertinents pour détecter & caractériser *in situ* les « anomalies » dans l'évolution du comportement des structures?

Comment identifier les causes?

Caractérisation et surveillance d'un milieu hétérogène

Elaborer des **techniques de CND (acoustique et électrique)** pour la surveillance ***in situ*** dans des conditions de mesures difficiles (*exigüité, opacité, inhomogénéité du milieu ...*)

Milieus hétérogènes : des milieux variés :
liquides opaques ou turbulents, matériaux **solides** complexes comme les soudures

Des dispositifs expérimentaux et des modélisations

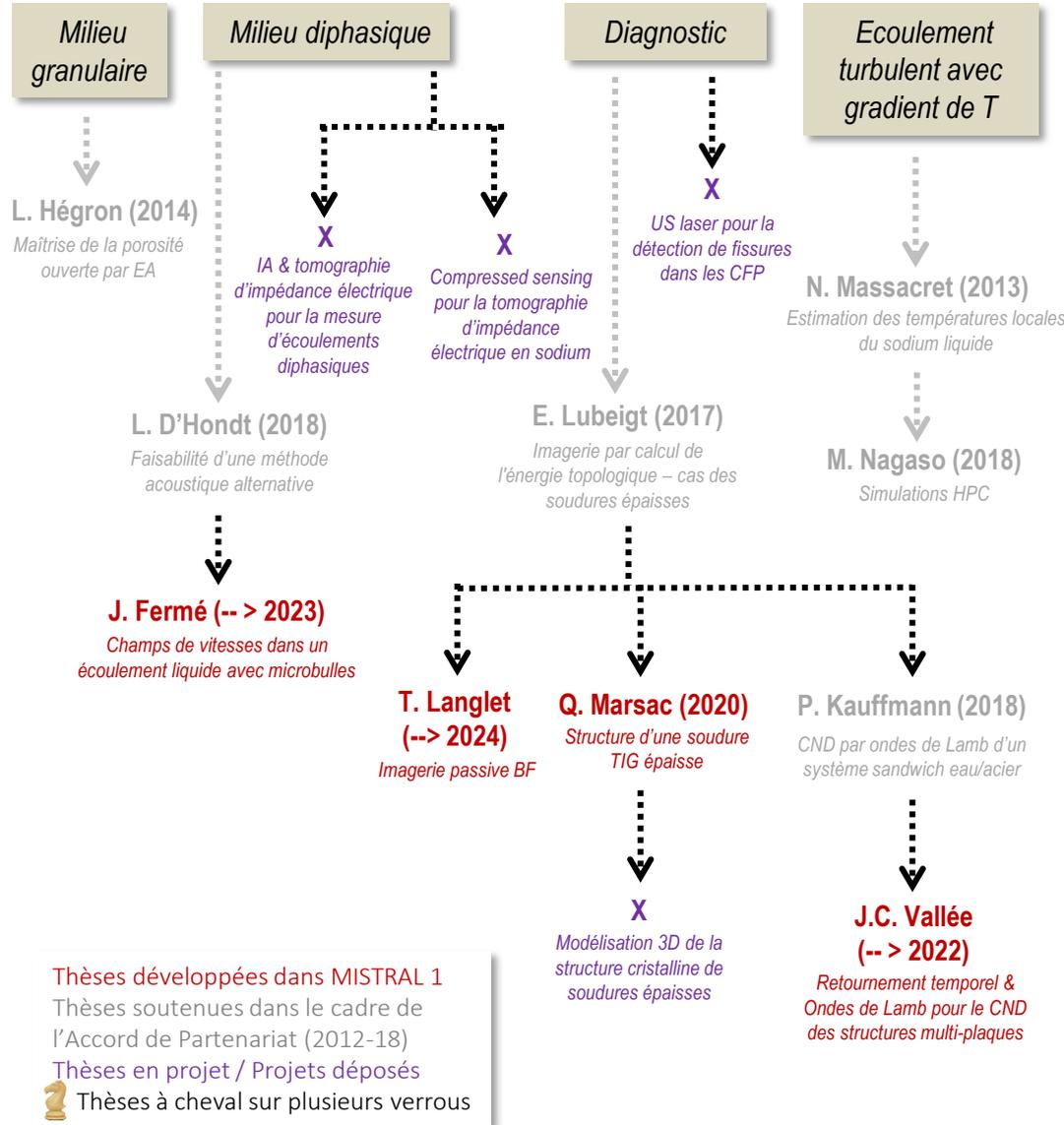
- études en conditions réelles ou simulées du comportement des modalités d'auscultations à travers des matériaux hétérogènes ou à l'interface de deux matériaux.
- modélisation des milieux complexes : enjeu majeur de la levée des verrous : par des modèles 2D puis 3D développés pour représenter les milieux de propagations et le comportement des ondes



Besoin de caractériser la réponse du milieu pour la technique de surveillance définie

<https://mistral-lab.fr/>

V6. Comment caractériser et surveiller un milieu hétérogène?



1^{ère} simulation HPC 4D de la propagation ultrasonore dans des écoulements en métal liquide (*Ultrasonics 2021, thèse Nagaso*)

1^{ère} modélisation de la propagation des ondes US dans une soudure TIG à partir d'un modèle matériau MINA-TIG (*Thèse Marsac*)

Imagerie topologique expérimentale de nuages de bulles

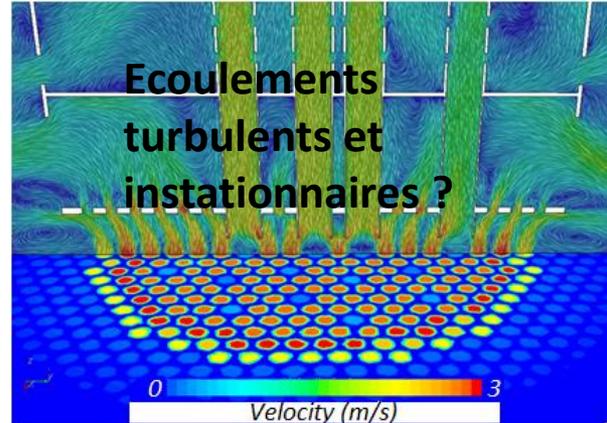
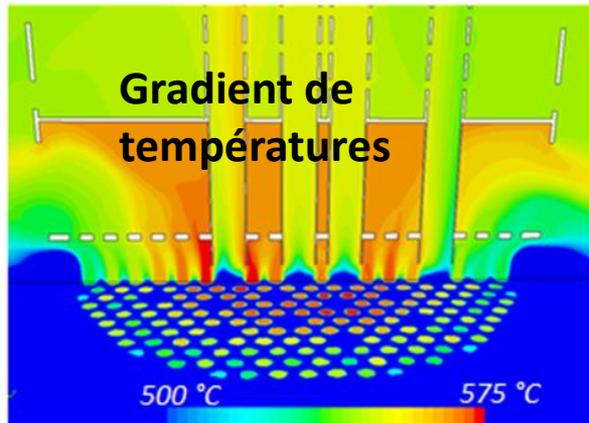
Thèses développées dans MISTRAL 1
Thèses soutenues dans le cadre de l'Accord de Partenariat (2012-18)
Thèses en projet / Projets déposés
Thèses à cheval sur plusieurs verrous



2. Milieux à gradients de température

- Télémétrie acoustique
- Thermométrie acoustique
- Par méthodes ultrasonores ?

Données ? Ex. température et vitesses des écoulements en sortie de cœur (CFD)



Vitesse de sortie : 3-4 m.s⁻¹.

Nombre Mach = $\frac{V_{\text{écoulement}}}{c_{us}} \ll 1$

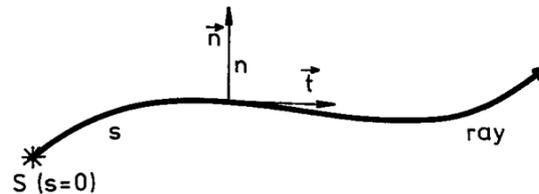
Circulations dans les inter-assemblages

Forts gradients entre assemblage et inter-assemblage.

Code AcRaLiS (Acoustic Rays in Liquid Sodium), thèse N. Massacret 2013

Ray tracing equations

[Cerveny and al. 1982]

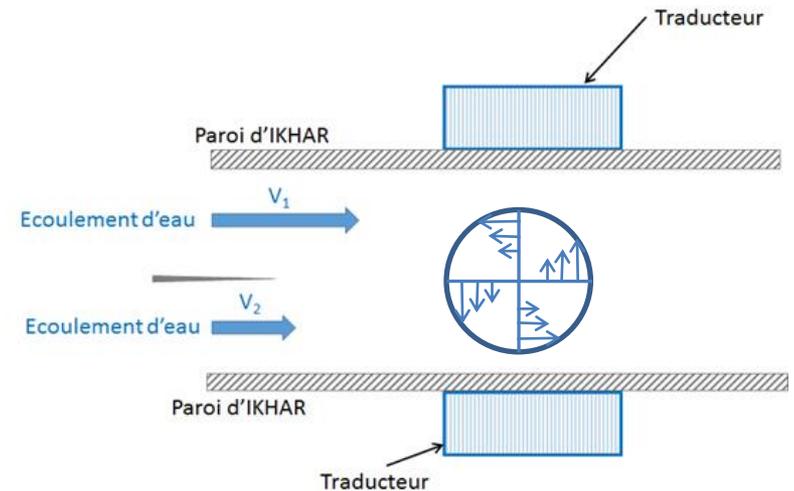
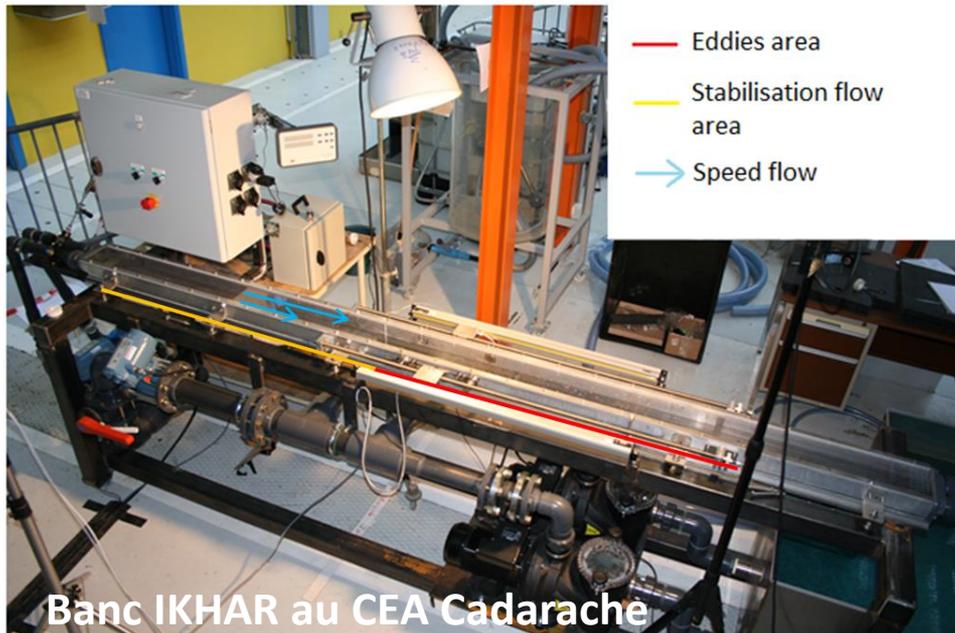


Déviation et diffusion des US ?
Hypothèse du fluide gelé ?

$$\begin{cases} \frac{d\vec{x}_p}{dt} = \vec{v}(\vec{x}_p, t) + c(\vec{x}_p, t) \frac{c(\vec{x}_p, t)}{\Omega} \vec{s} & \vec{v} \text{ fluid velocity } \vec{N} \text{ ray direction} \\ \frac{d\vec{s}(\vec{x}_p)}{dt} = -\frac{\Omega}{c} \vec{\nabla} c - \vec{s} \wedge (\vec{\nabla} \wedge \vec{v}) - (\vec{s} \cdot \vec{\nabla}) \vec{v} & \vec{s} \text{ slowness vector } \vec{s} = \frac{\vec{N}}{c + \vec{v} \cdot \vec{N}}, \text{ et } \Omega = 1 - \vec{v} \cdot \vec{s}. \end{cases}$$

2.1 Banc IKHAR Instabilities of Kelvin Helmholtz for Acoustic Research

Objectif : obtenir des tourbillons les plus reproductibles possibles pour tester la sensibilité des mesures ultrasonores aux faibles perturbations du milieu

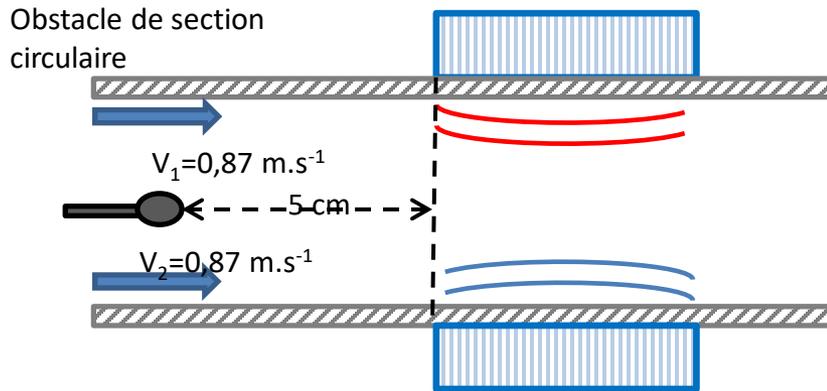


(thèse Nicolas Massacret)

Caractéristiques des instabilités

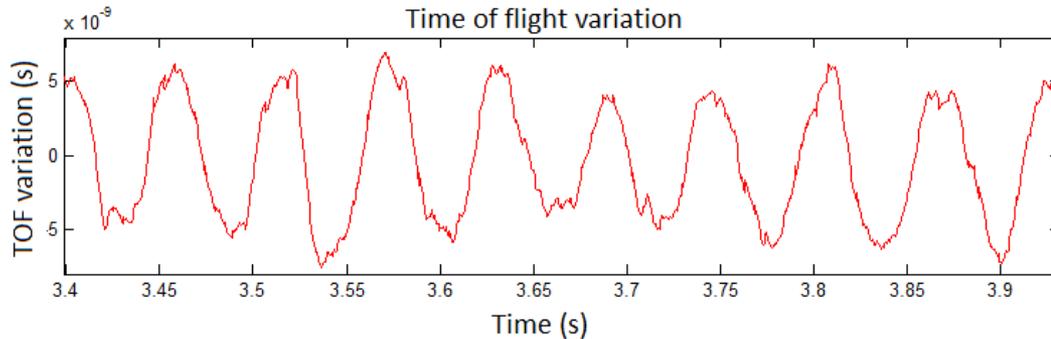
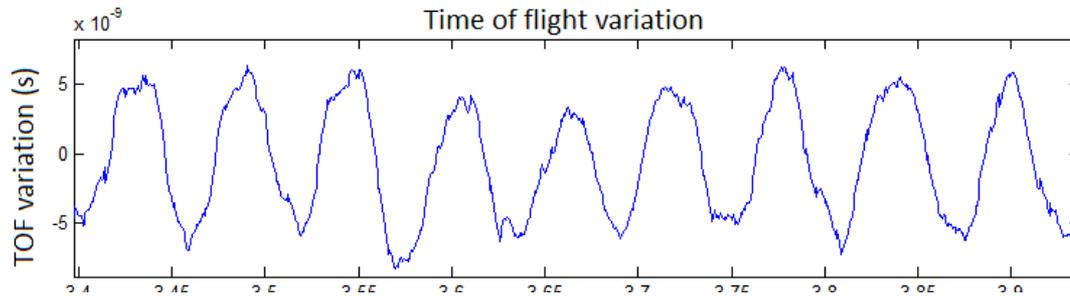
- Apparition périodique , Fréquence d'apparition dépend des vitesses des deux écoulements

Modification du banc : instabilités de type Von Karman



Paramètres :

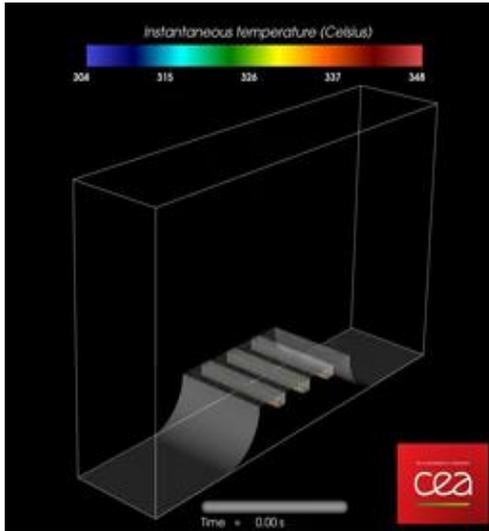
- Vitesse moyenne = $0,87 \text{ m.s}^{-1}$
- Fréquence de mesure : 182 Hz
- Nombre de mesures : 1832



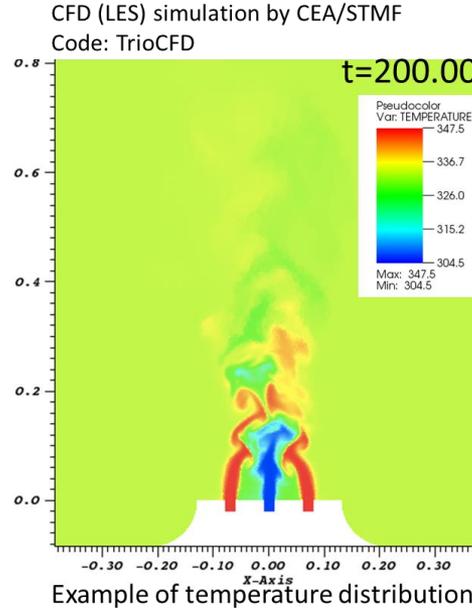
Tourbillons

- * Plus stables
- * Fréquence d'apparition : 16,4 Hz
- * **Variations de temps : 11,5 ns.**

2.2 Propagation en milieu turbulent et à gradient de température



Fluctuating temperature field.



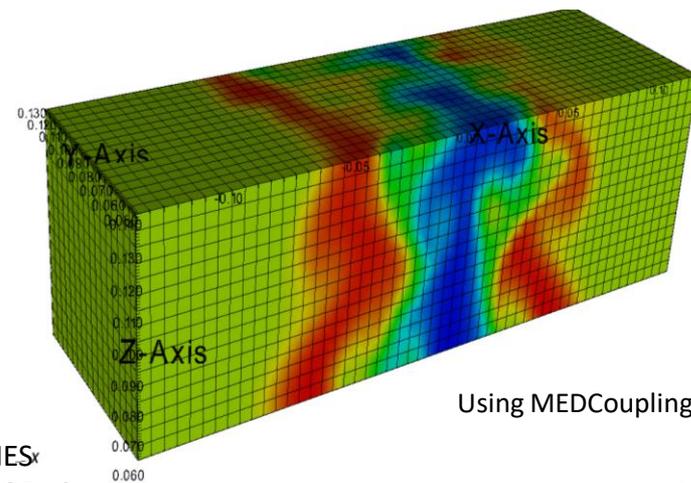
Développement de codes
et expériences numériques :
logiciel SPECFEM 3D

Calculateurs HPC

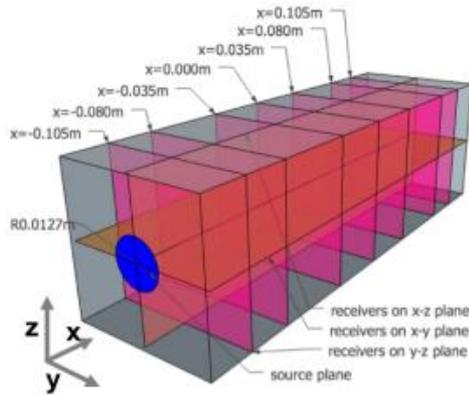
(thèse Masaru Nagaso)

Simulation 4D

Extracting a region for acoustic simulation
Interpolation of the temperature field
Tetra (TrioCFD) -> Hexa (SPECFEM)



This study was granted access to the French HPC resources of TGCC/CINES under allocations 2016107626, 2016047165 and 2016047748 made by GENCI



Propositions de mesures ultrasonores en transmission pour l'étude des fluctuations de températures du mélange de jets

- TFI: Temperature Fluctuation Intensity (Standard deviation)

$$TFI(\mathbf{r}) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T(i, \mathbf{r}) - \bar{T}(\mathbf{r}))^2}$$

$$\bar{T}(\mathbf{r}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T(i, \mathbf{r})$$

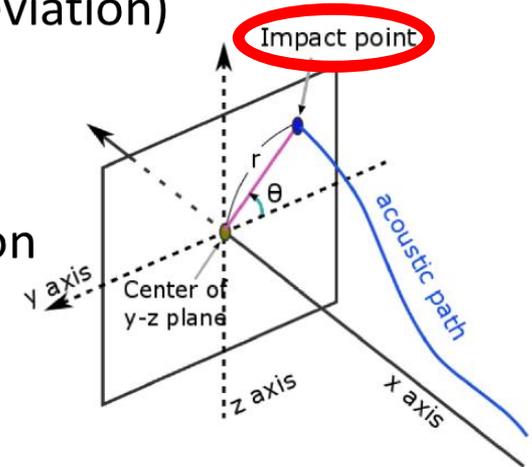
- CTFI: Cumulated TFI to link with acoustic propagation

$$CTFI(x_p, z_{alt}) = \int_{x_s}^{x_p} \int_0^R \int_0^{2\pi} TFI(x, r, \theta) w(r) d\theta dr dx$$

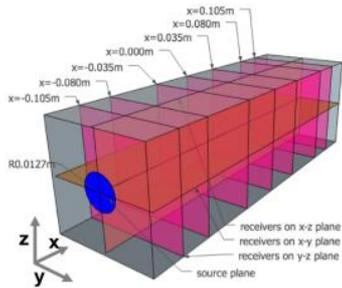
TFI value

weight function

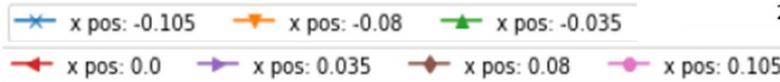
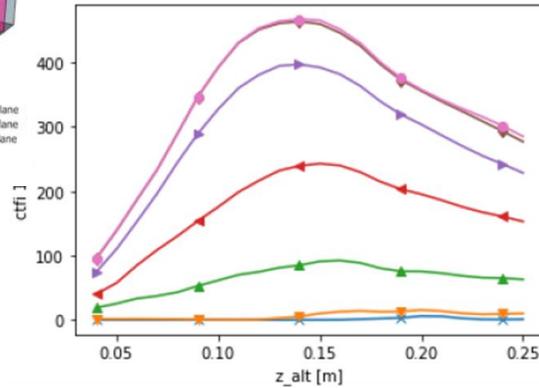
depending on the distance from the central axis



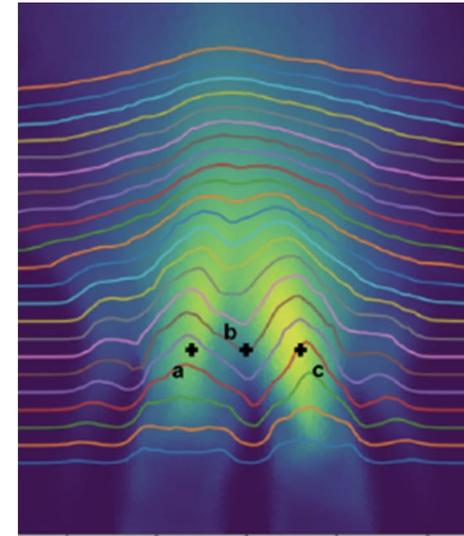
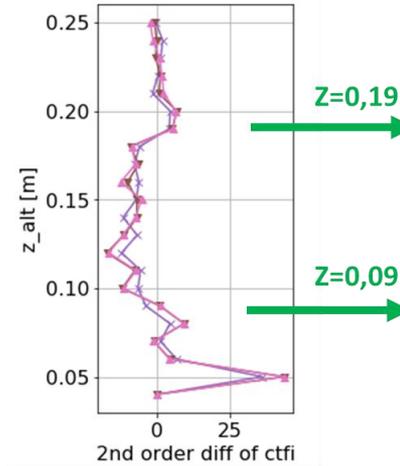
2. Milieux à gradients de température



CFTI curves on the x axis at $y = 0.09$ m



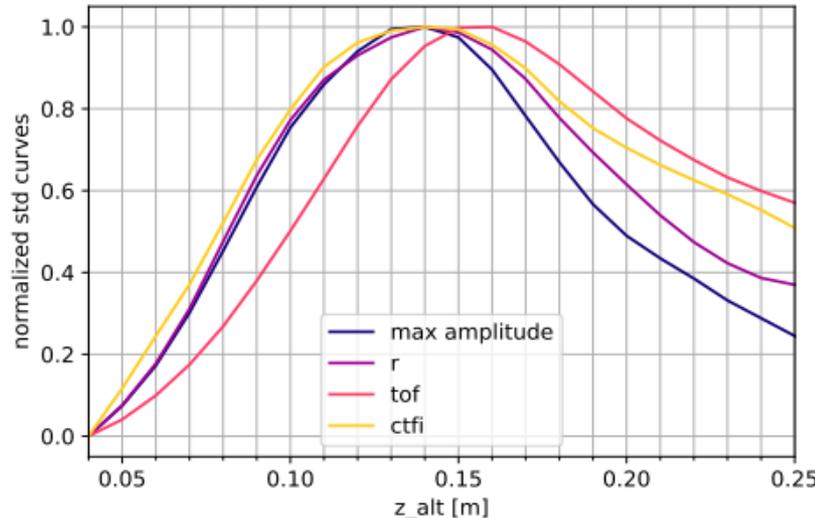
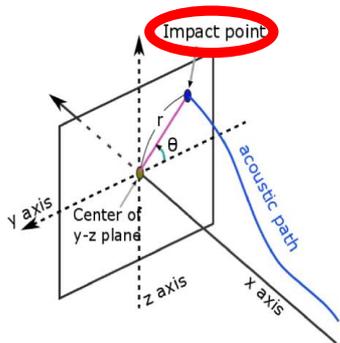
2nd-order differentiation



Will be used to define merging/combined points.

30

Inflection points around $z = 0.09$ and 0.19 m

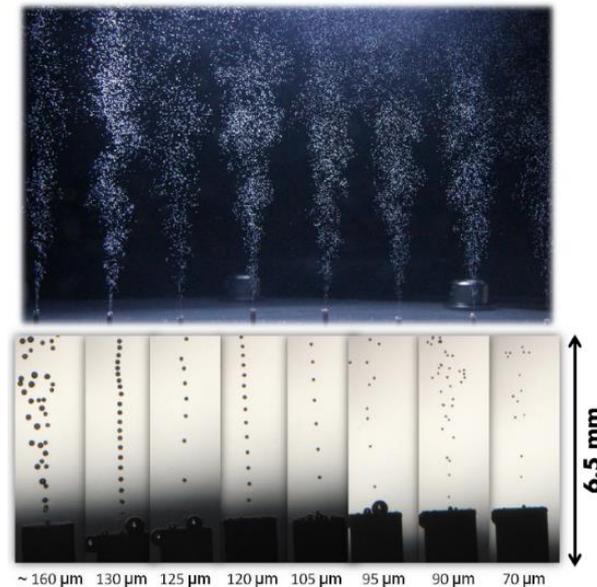
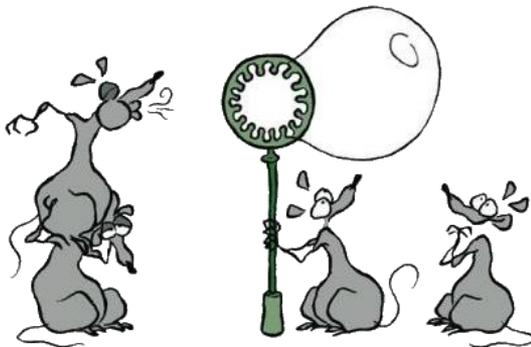


- CFTI
- Amplitude maximale
- Position du maximum
- Temps de vol

Caractérisation acoustique des milieux diphasiques à microbulles – 2007=>2019

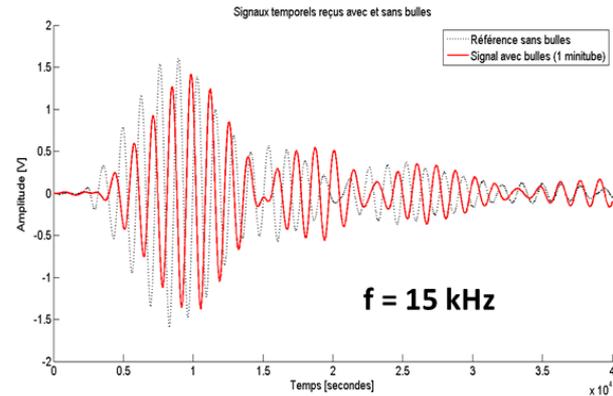
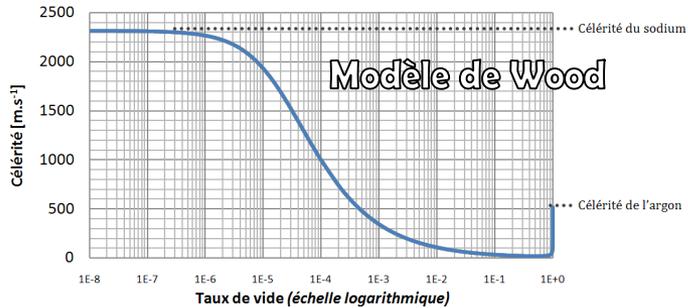
- Mesure de la fraction volumique de gaz (taux de vide)
- Mesure des histogrammes des rayons des microbulles

Thèses M. Cavaro (2010), L. D'Hondt (2018)



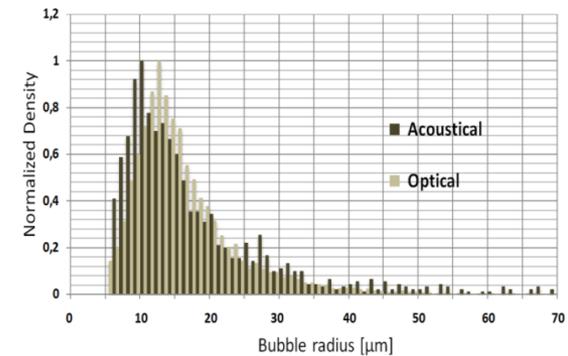
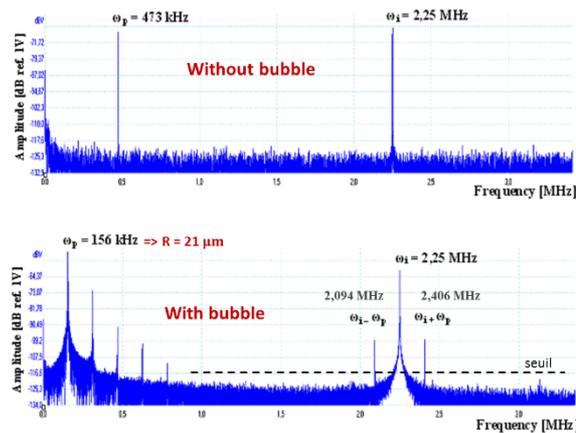
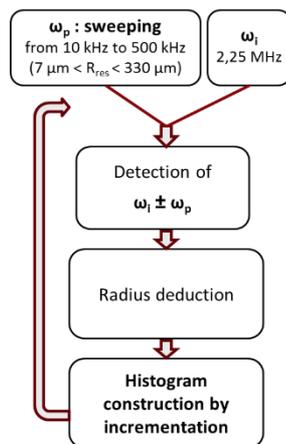
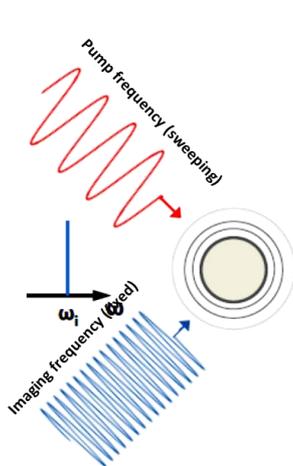
CELERIMETRIE ACOUSTIQUE BASSE FREQUENCE (Vitesse de WOOD)

TAUX DE VIDE



MIXAGE NON LINEAIRE DE 2 HAUTES FREQUENCES

HISTOGRAMMES

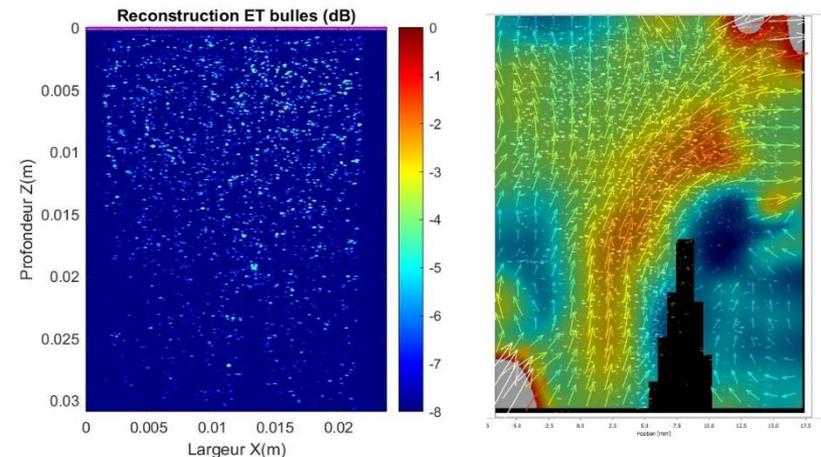
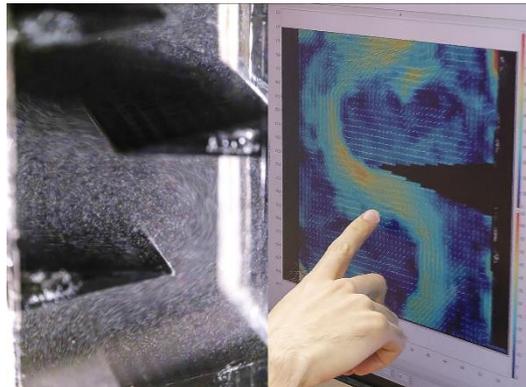


Caractérisation acoustique du champ de vitesse dans un écoulement liquide avec microbulles

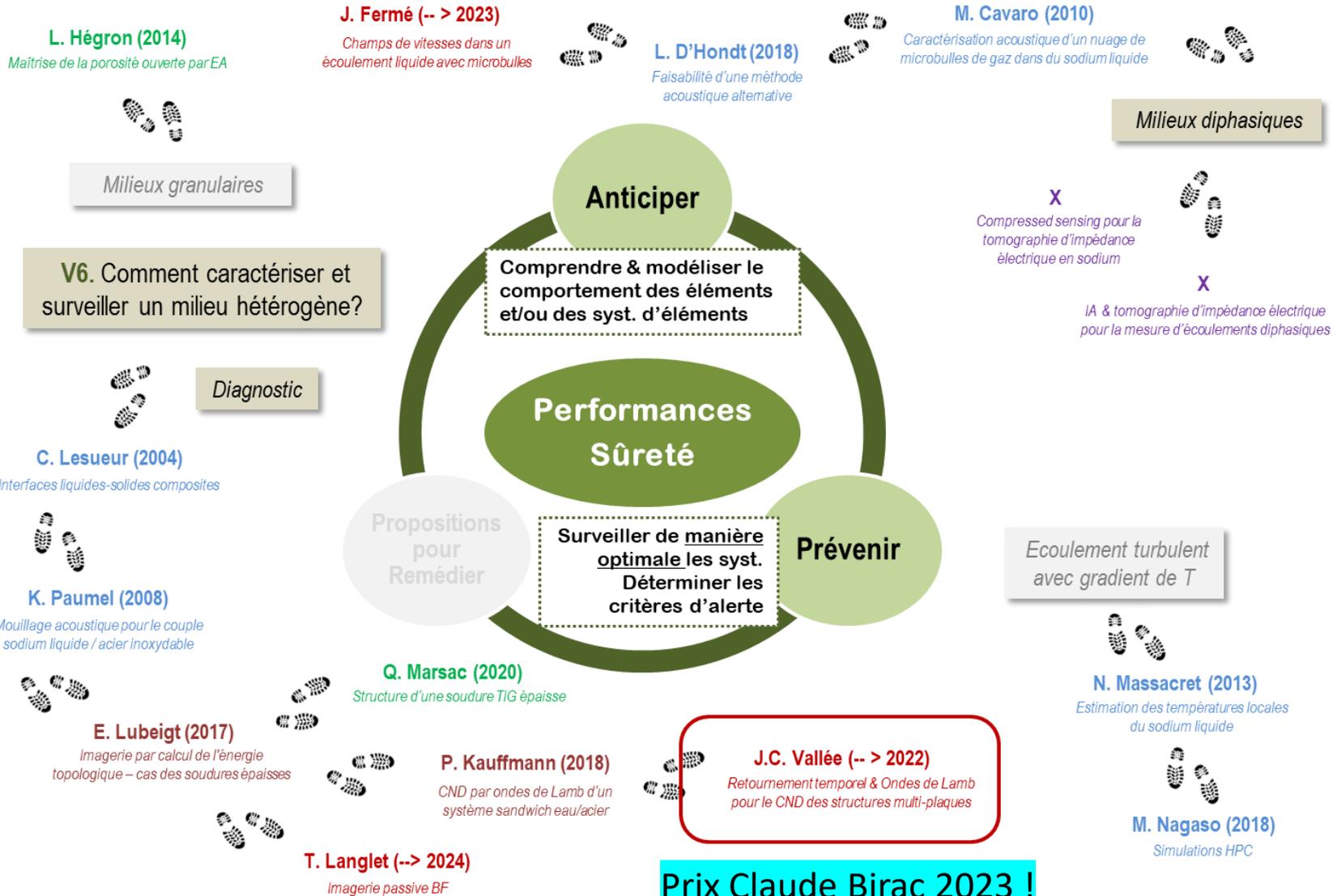
Qualifier une technique acoustique apte à mesurer des champs de vitesse dans un liquide micro-engazé inaccessible optiquement (*liquide ou contenant opaque*)

=> PIV ACOUSTIQUE

- Développement de simulations numériques
- Mesures expérimentales sur un nuage de bulles depuis l'extérieur d'une conduite
- Mesures comparatives PIV optique/Echo-PIV topologique
- Analyse des limites de la méthode
- Passage de la méthode d'imagerie en fréquentiel (FTIM)
- Développement d'un formalisme de la méthode d'énergie topologique prenant en compte le déplacement du milieu de propagation



4. Conclusion – Perspectives :



Prix Claude Birac 2023 !



Continuum multiphysique et apport du TS/TI