

■ Localisation d'ondes acoustiques en milieu granulaire bi-dimensionnel

TP en laboratoire

16/04/2024

Supervisé par : Osvanny Ramos, Adèle Douin

Constantin Deumier – Romain Ratajczyk
L3 Département de Sciences de la Matière

■ Localisation d'ondes acoustiques en milieu granulaire bi-dimensionnel

- I. État de l'Art
 - II. Localisation acoustique : principe résultats
 - III. Localisation avec caméra ultra-rapide
-

I. État de l'Art

Projet “LabQuakes”

But : reproduire la dynamique des failles tectoniques à l'aide d'un milieu granulaire modèle.

I. État de l'Art

Dispositif expérimental

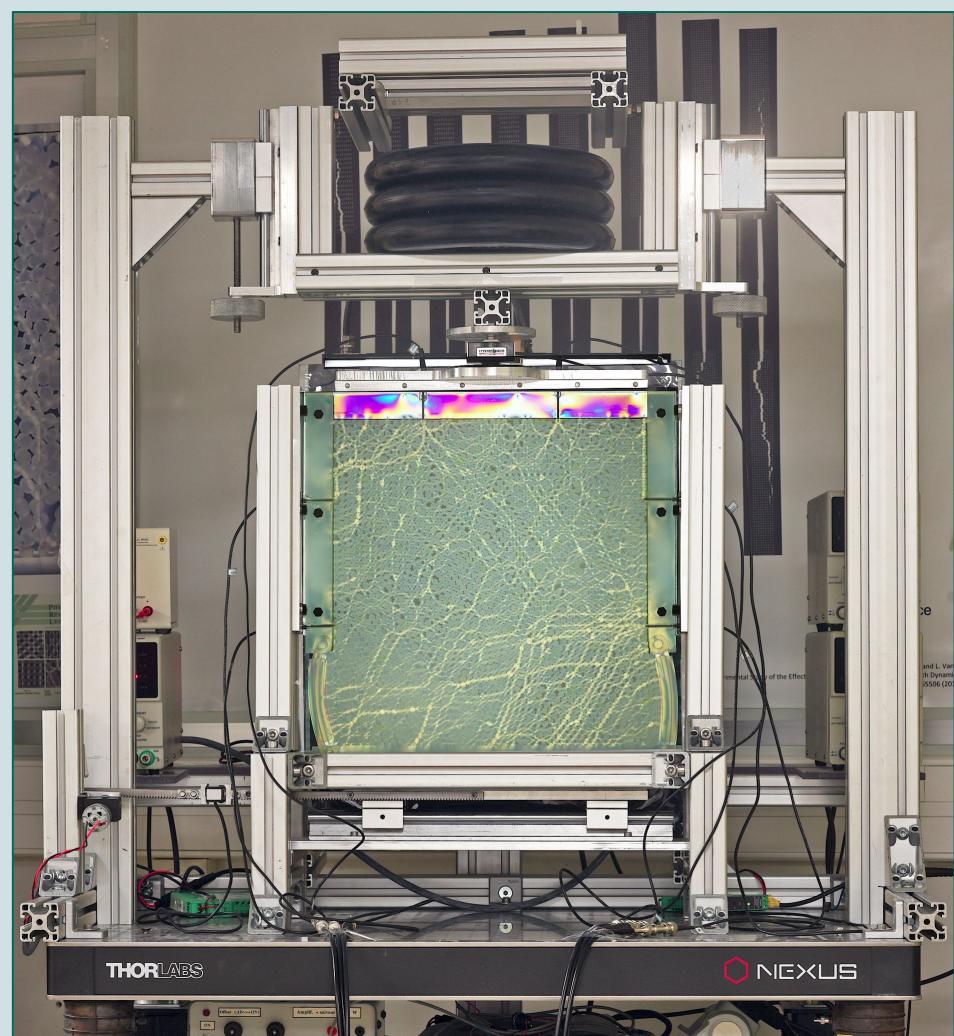
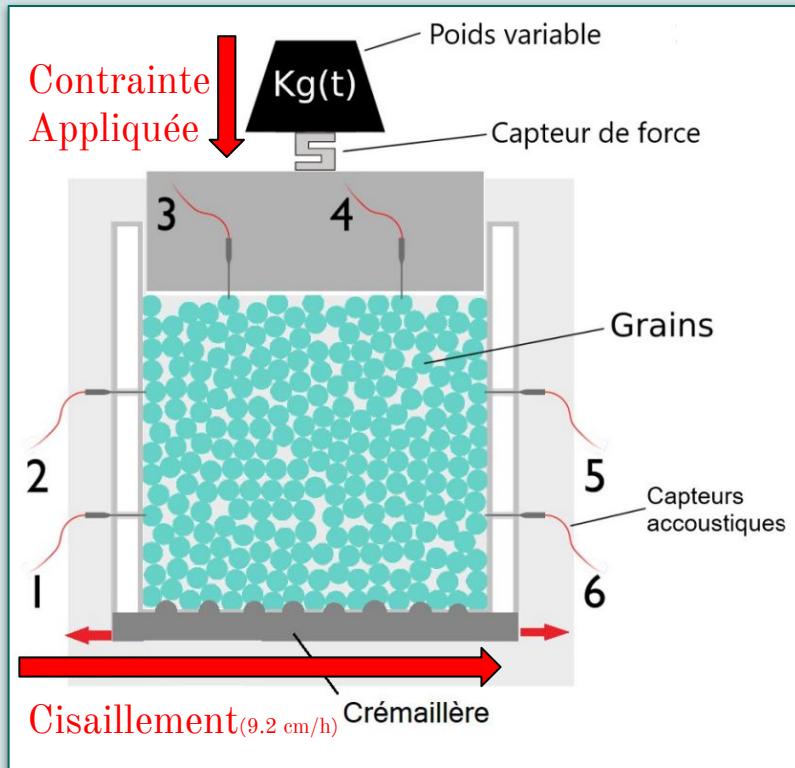


Schéma du dispositif expérimental : *Avalanche dynamics of a model granular fault*,
Victor Levy dit Vehel

I. État de l'Art

La physique du dispositif.

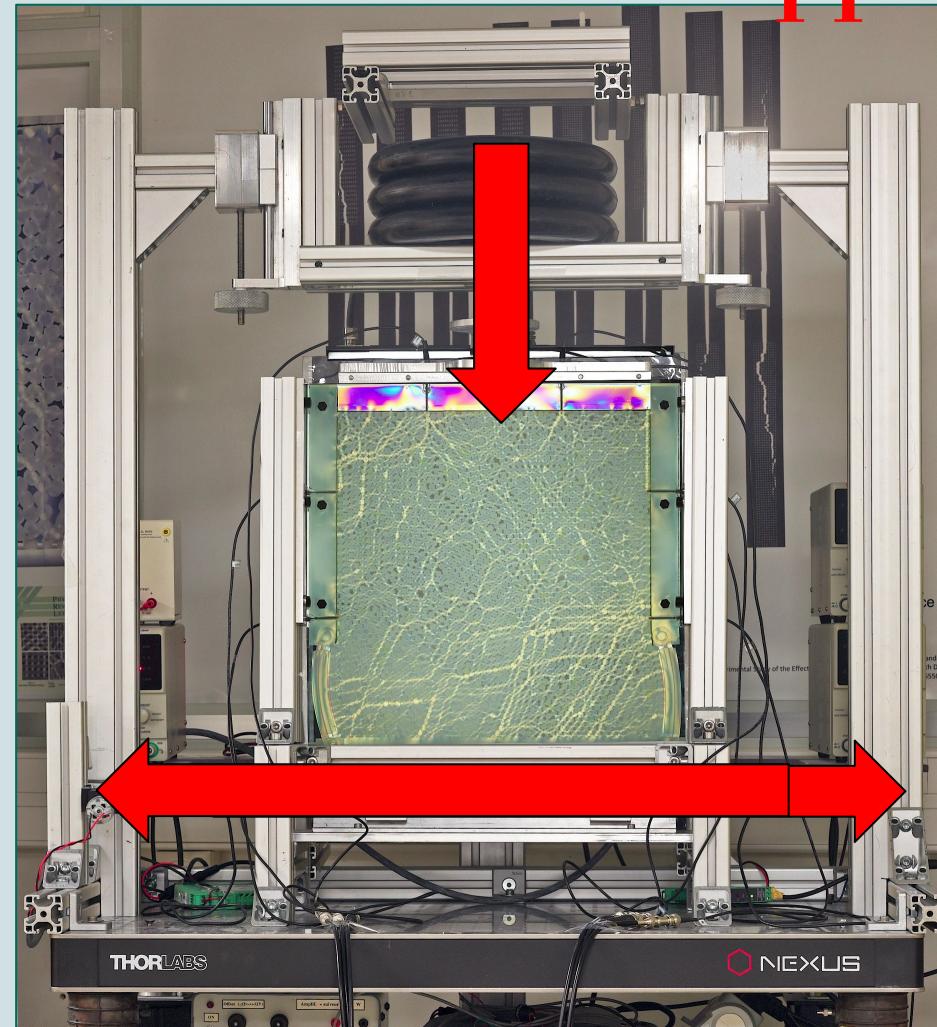
Accumulation lente d'énergie



Libération brutale :
réorganisation structurelle et
émission d'une onde
acoustique

Cisaillement

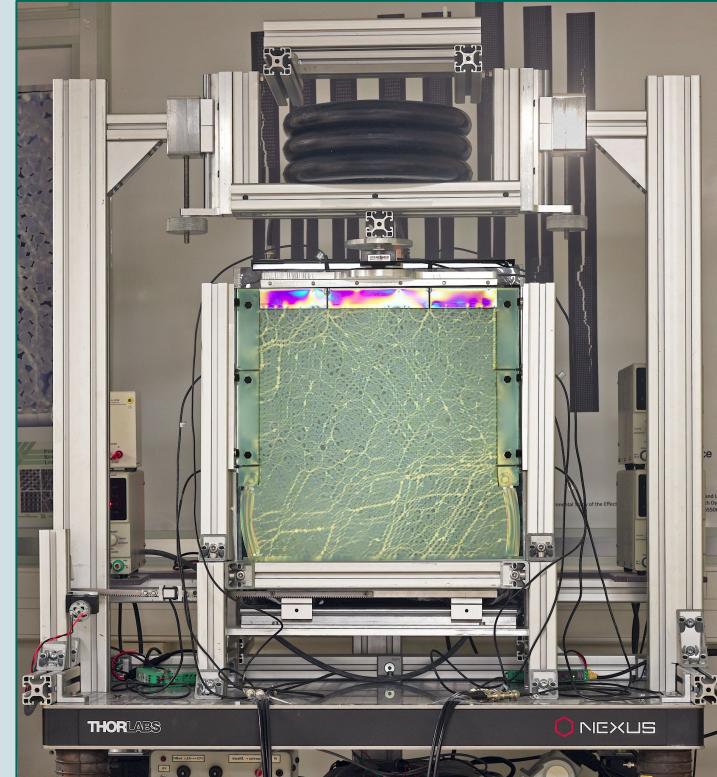
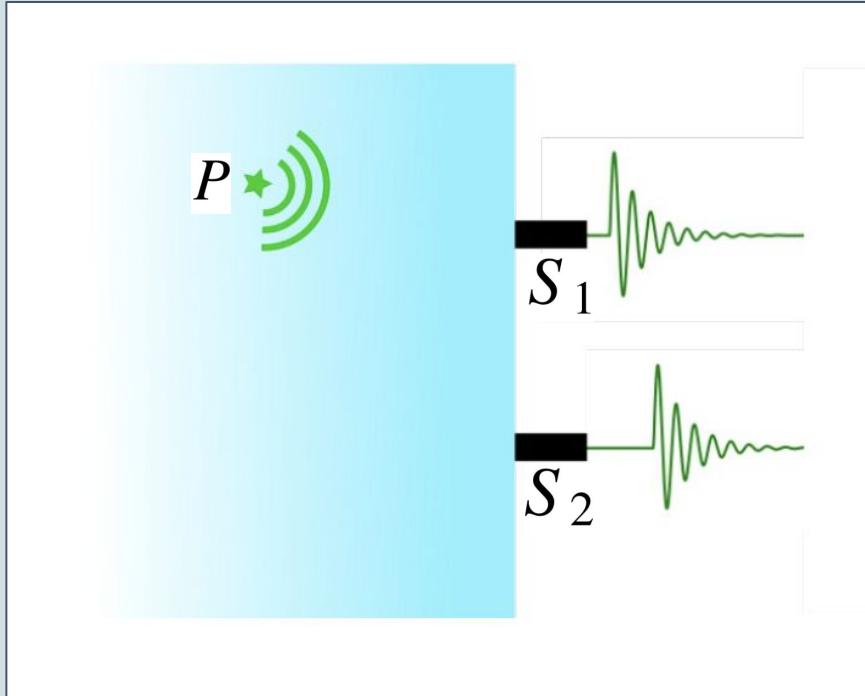
Contrainte appliquée



II. Localisation acoustique

6 capteurs acoustiques

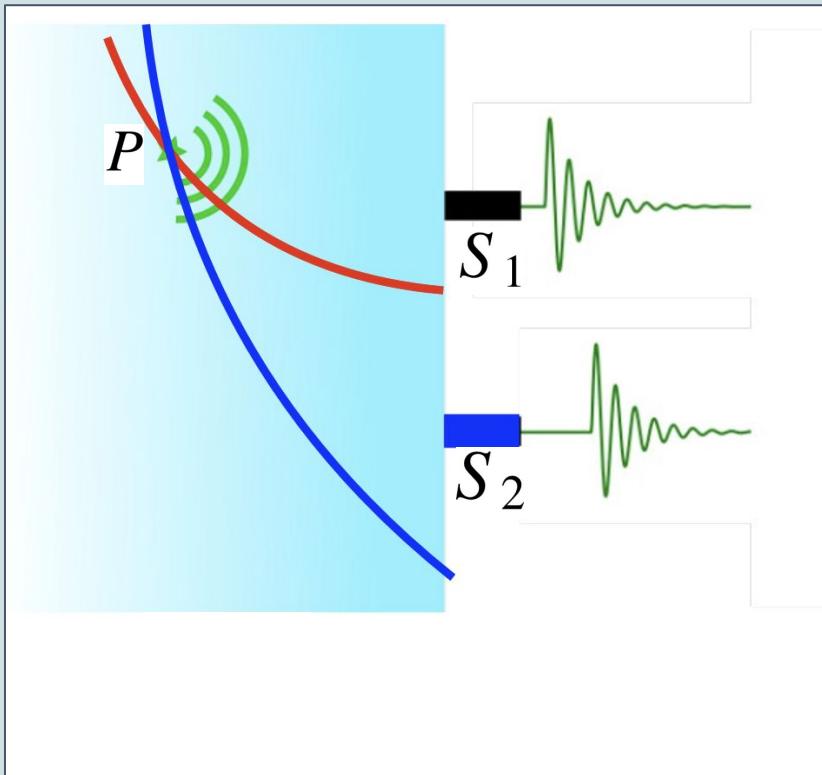
Principe



Eliot Herry et Moreau--Lalaux Lucas, ENS de Lyon / ILM

II. Localisation acoustique

Méthode des hyperboles



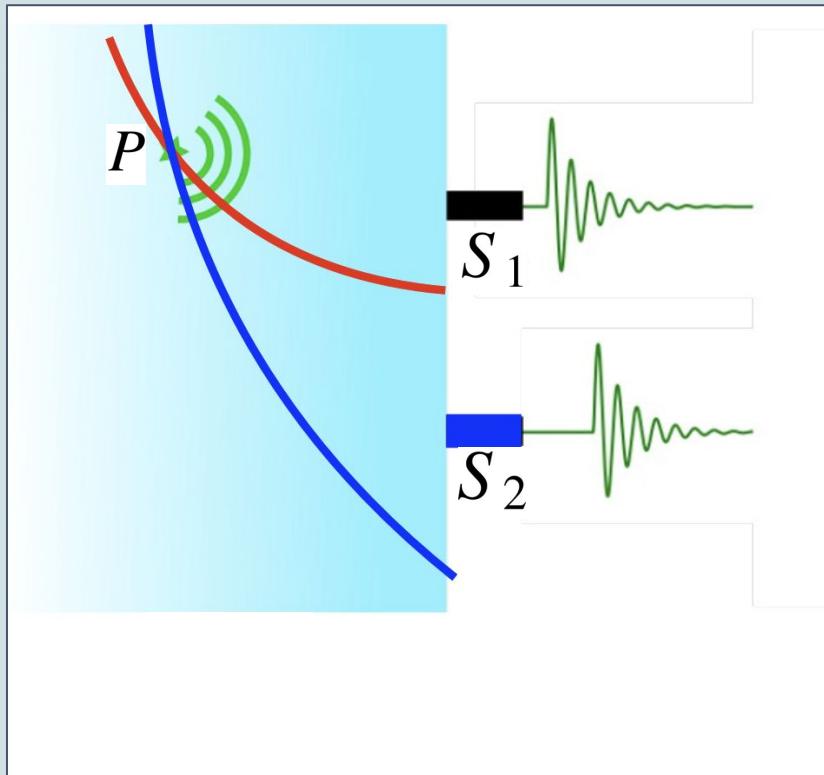
Δt mesuré

$$|t_2 - t_1| = \frac{1}{c} ||PS_2| - |PS_1||$$

$\Rightarrow P$, source de l'émission, doit être sur une hyperbole

II. Localisation acoustique

Méthode des hyperboles



Une hyperbole par paire de capteurs

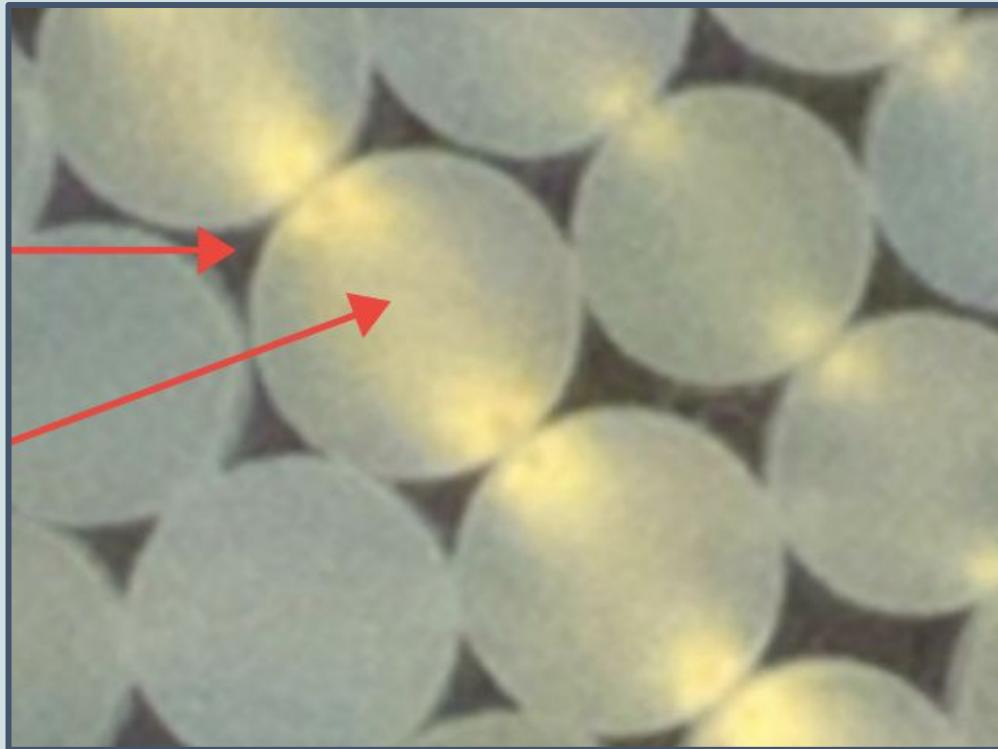


Origine de
l'événement localisé
à l'intersection des
hyperboles

II. Localisation acoustique

Problème : la **célérité de l'onde** n'est pas constante !

Trous
Inhomogénéité des
contraintes



II. Localisation acoustique

Solution : la **photoélasticité**.

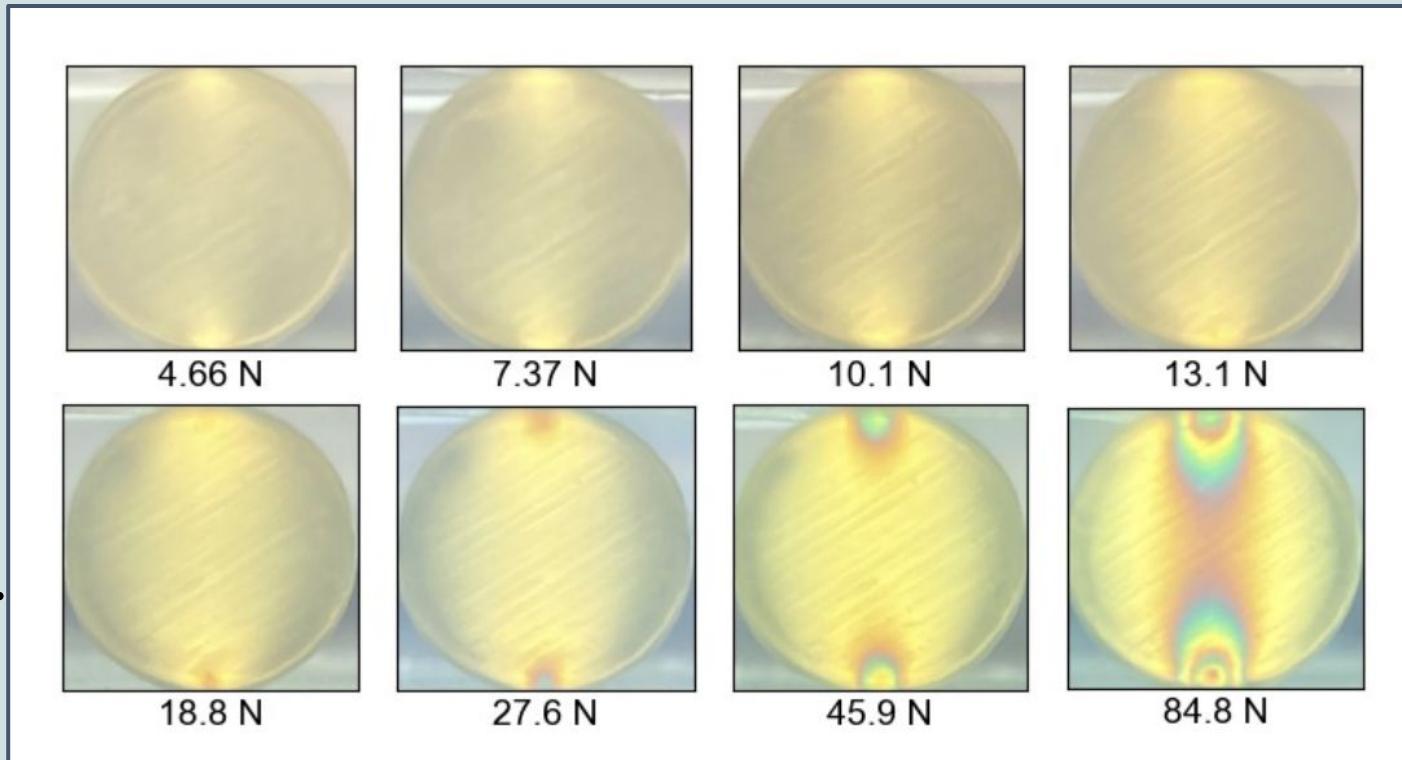
Photoélasticité : un matériau photoélastique devient biréfringent sous l'effet d'une contrainte.

II. Localisation acoustique

Problème : la **célérité de l'onde** n'est pas constante !

Solution : la **photoélasticité**.

Grain en lumière polarisée sous différentes contraintes.



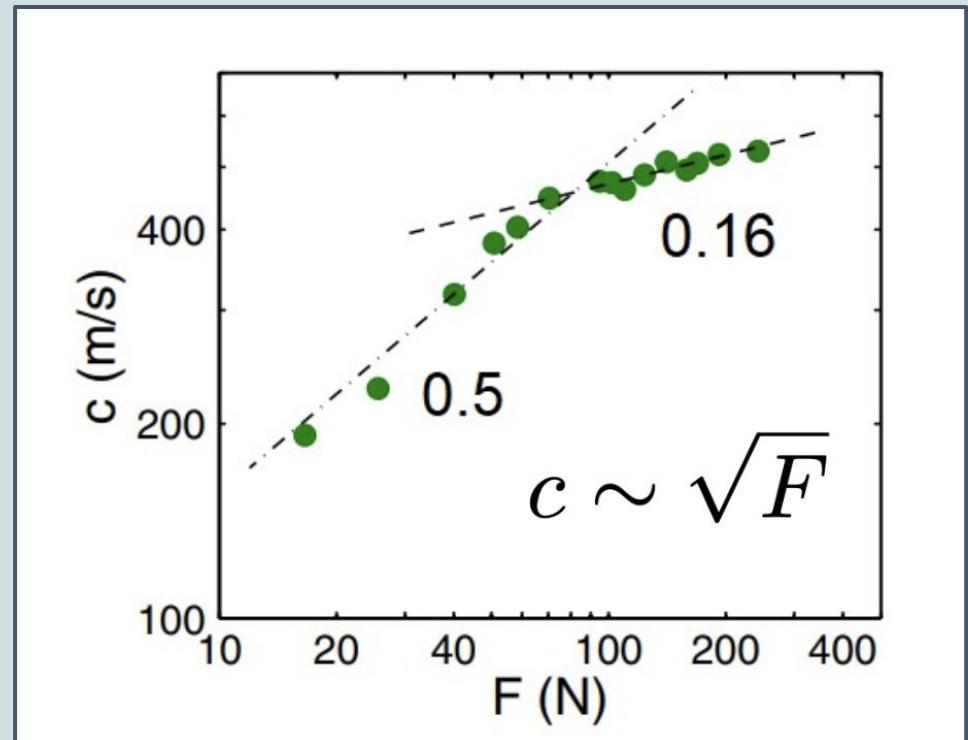
Eliot Herry et Moreau--Lalaux Lucas, ENS de Lyon / ILM

II. Localisation acoustique

Problème : la **célérité de l'onde** n'est pas constante !

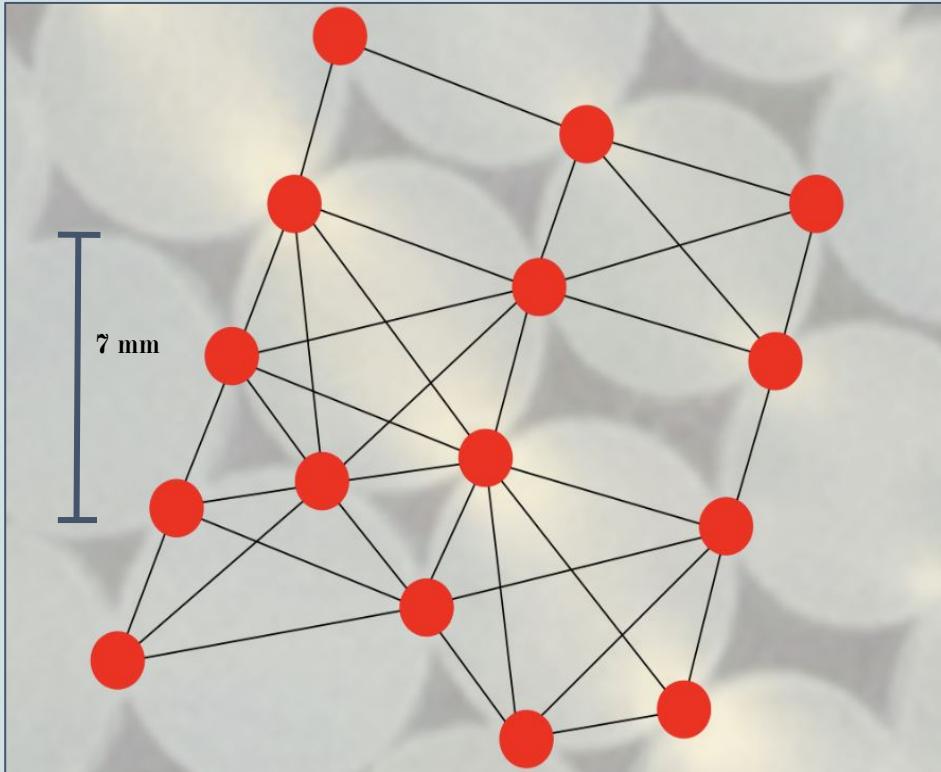
Solution : la **photoélasticité**.

Célérité en fonction de la contrainte, échelle semi-logarithmique.



II. Localisation acoustique

Noeuds

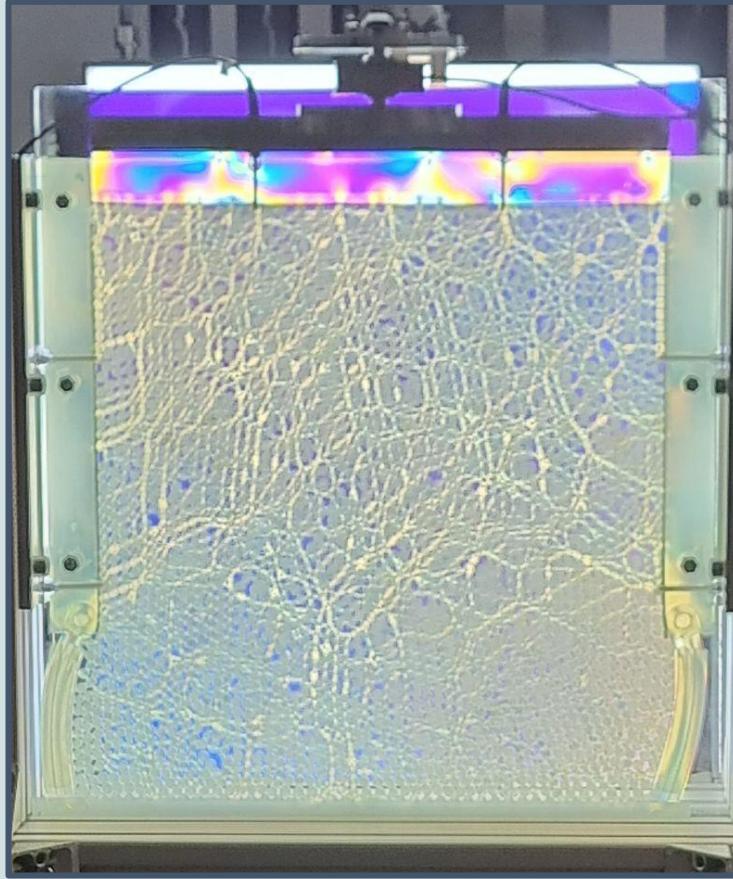


Calcul des plus courts chemins
(algorithme de Dijkstra) et de leurs
temps de parcours en tout point et pour
chaque capteur

Acoustic localisation in a two-dimensional granular medium
Victor Levy, Ange Haddjeri, Osvanny Ramos

II. Localisation acoustique

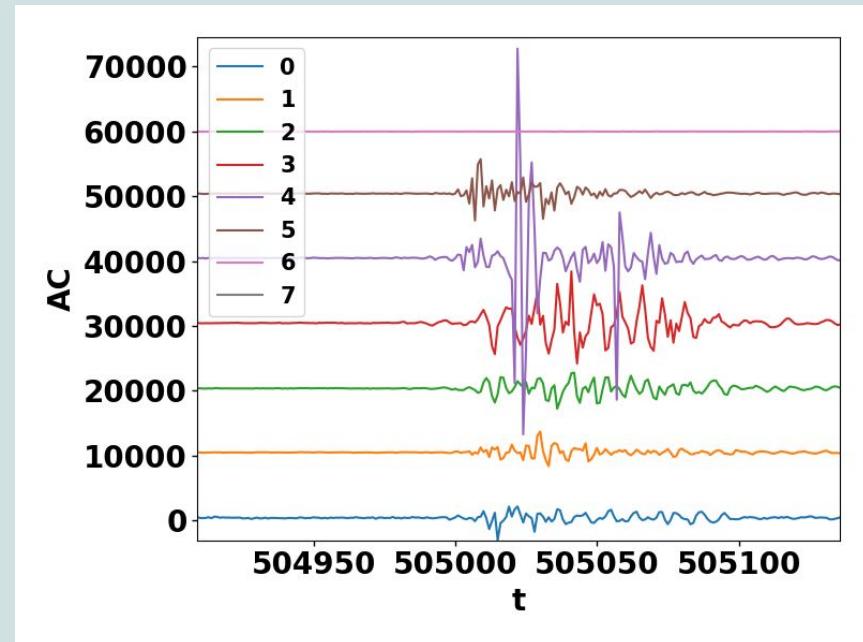
Chaînes de forces



Synchronisation temporelle

Mesure de la réponse des capteurs à l'événement

- le capteur 7 correspond a un signal créneaux envoyé lors de la détection d'un événement
- le capteur 6 est un témoin (non relié au système)
- les autres entourent le système

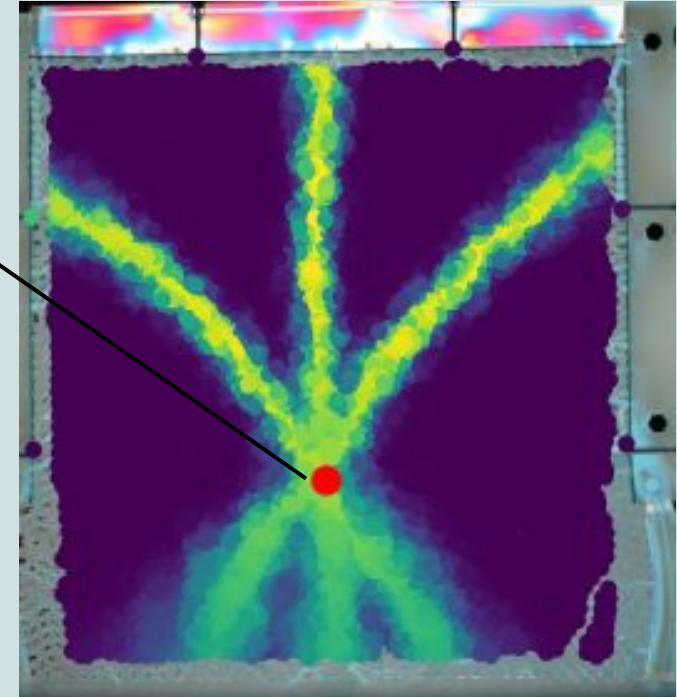


Réponse temporelle des capteurs à un événement

II. Résultats de la localisation acoustique

Source de l'événement

Pour vérifier le résultat, une deuxième étude est nécessaire à l'aide d'une caméra ultra rapide



Résultats expérimentaux

III. Localisation avec caméra ultra-rapide

Caméra qui capture à une fréquence de 50 000 Hz

Caméra ultra-rapide

Appareil photo

Enjeu : observer la propagation de l'événement dans le milieu



III. Localisation avec caméra ultra-rapide : principe

La caméra enregistre 50 000 images par seconde. Pour traiter le minimum d'images, il est nécessaire de n'enregistrer les images qu'au voisinage de l'évènement.

On se limite à l'étude de 2000 images (1000 avant et 1000 après l'événement)



III. Traitement d'images : principe

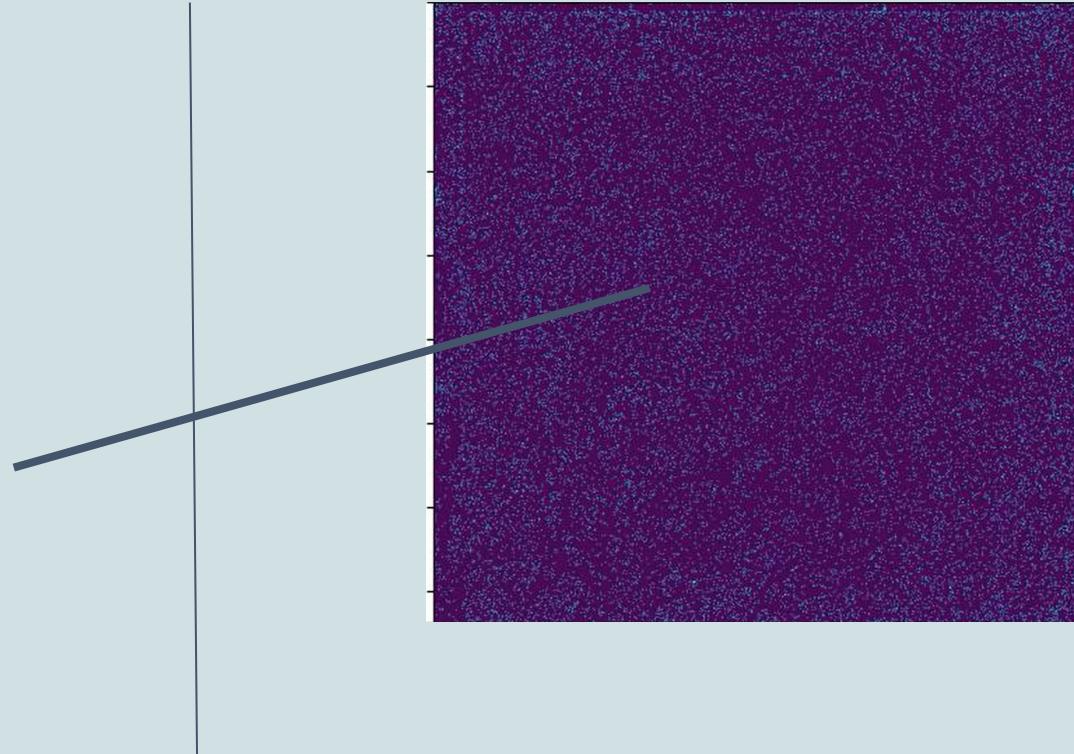
Première méthode : méthode différentielle

Pour la t -ième image :

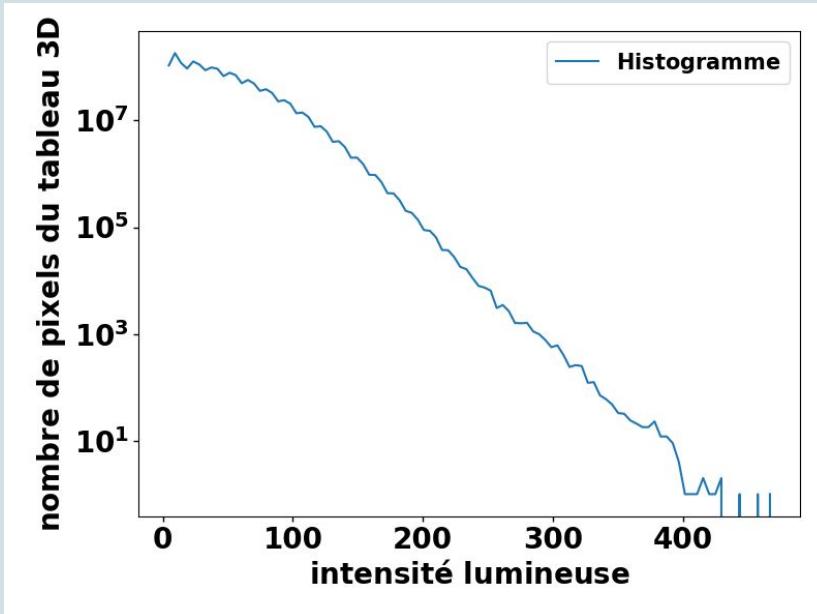
- $a = \text{img}(t, :, :, :)$
- $b = \text{img}(t+1, :, :, :)$
- on renvoie $b-a$

Le bruit forme des clusters :

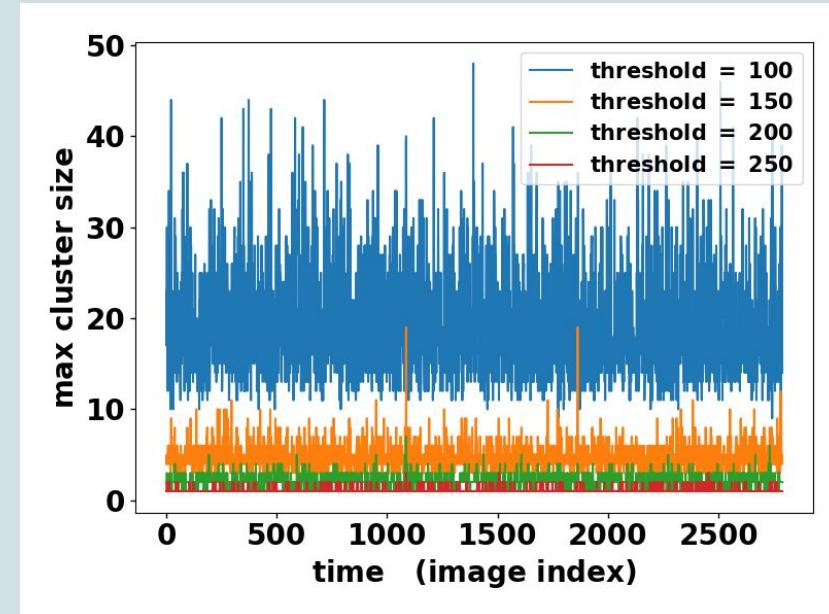
- seuillage
- lissage



III. Identification de l'événement : Seuillage



Nombre de pixels en fonction de l'intensité lumineuse



Taille moyenne d'un cluster en fonction du seuil

La première figure donne un ordre de grandeur du seuil en intensité.

La deuxième permet d'en choisir un plus précisément

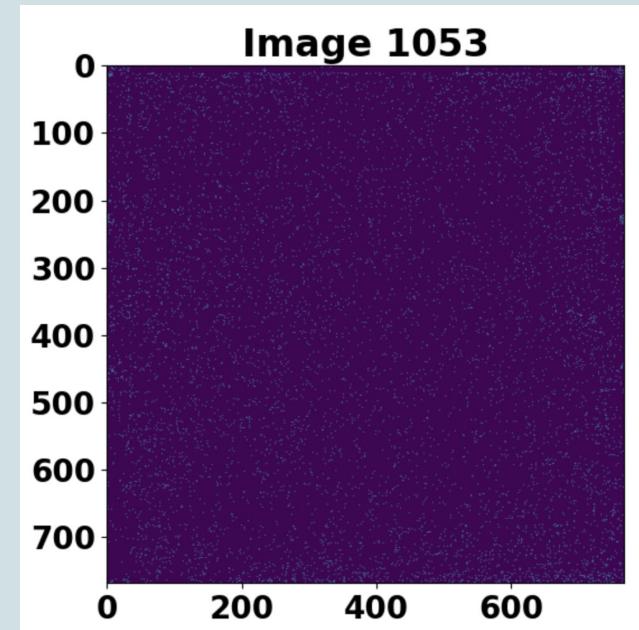
III.Traitement d'images : lissage

Objectif : mettre en évidence la propagation de l'évènement dans le milieu

Pour la t -ième image, en prenant n_i , n_f et Δt :

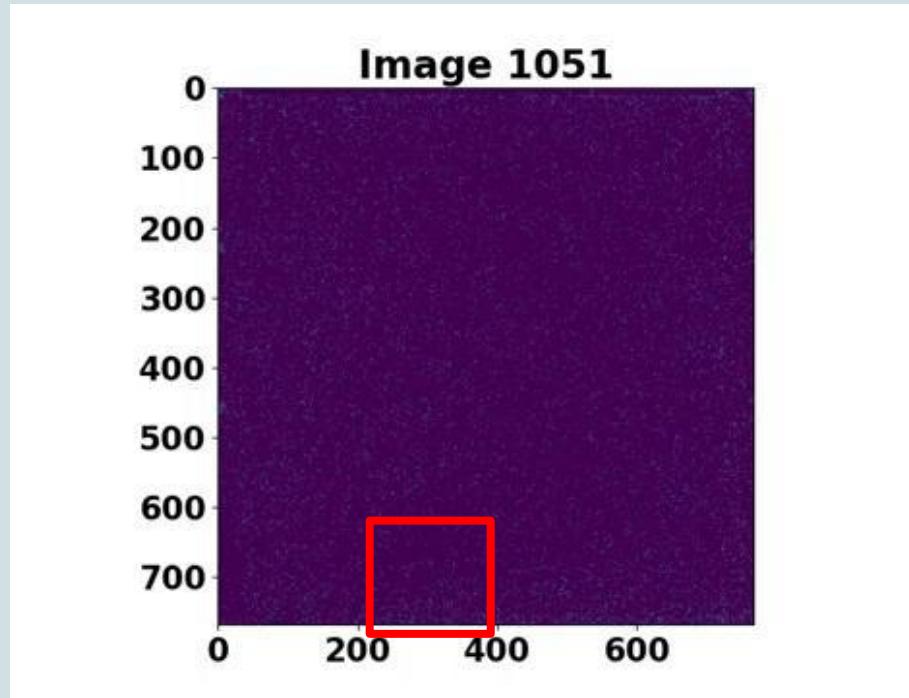
- $a = \langle \text{img}(t-n_i:t,:,:,:) \rangle$
- $b = \langle \text{img}(t+n_f:t+n_f+\Delta t,:,:,:) \rangle$
- on renvoie $b-a$

Moyenne sur le
premier
paramètre



Exemple d'une image obtenue par
cette méthode

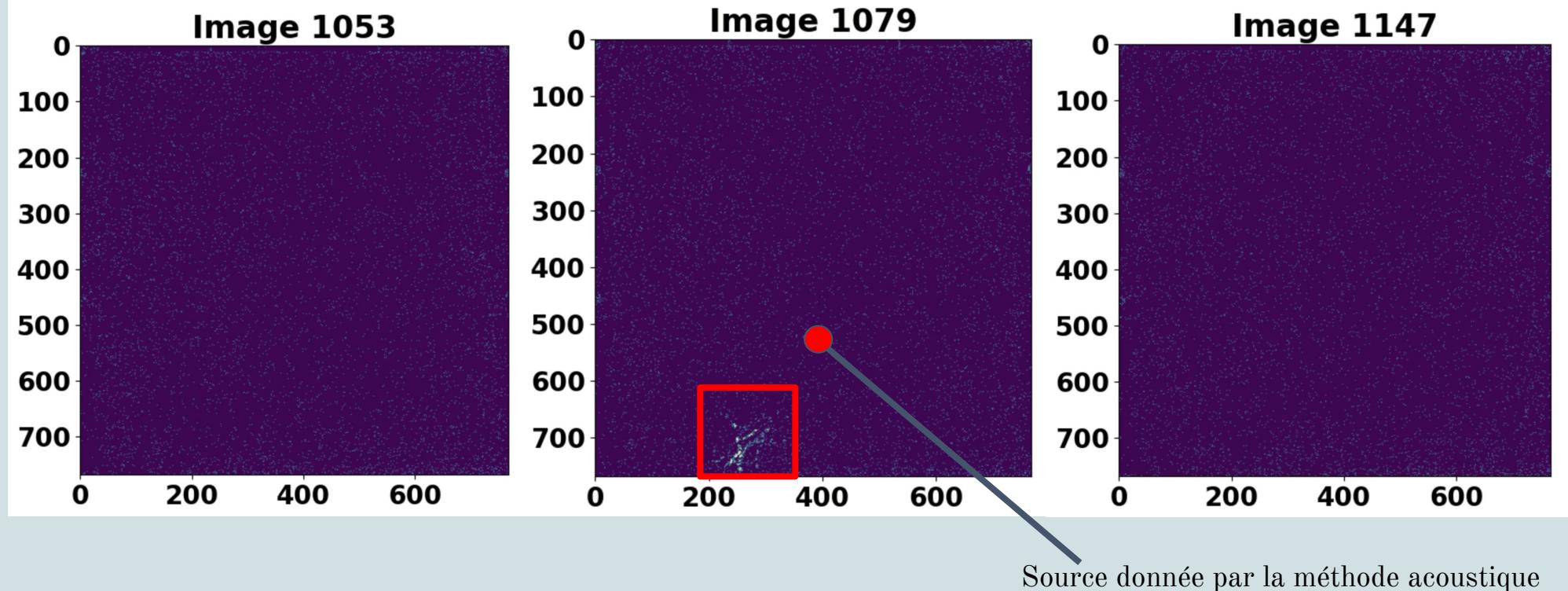
III. Résultat : Le cluster en vidéo



Vidéo post-traitement

Cluster de points

III. Localisation par caméra ultra-rapide



On doit confronter ces résultats au programme qui localise l'onde acoustique.

Conclusion

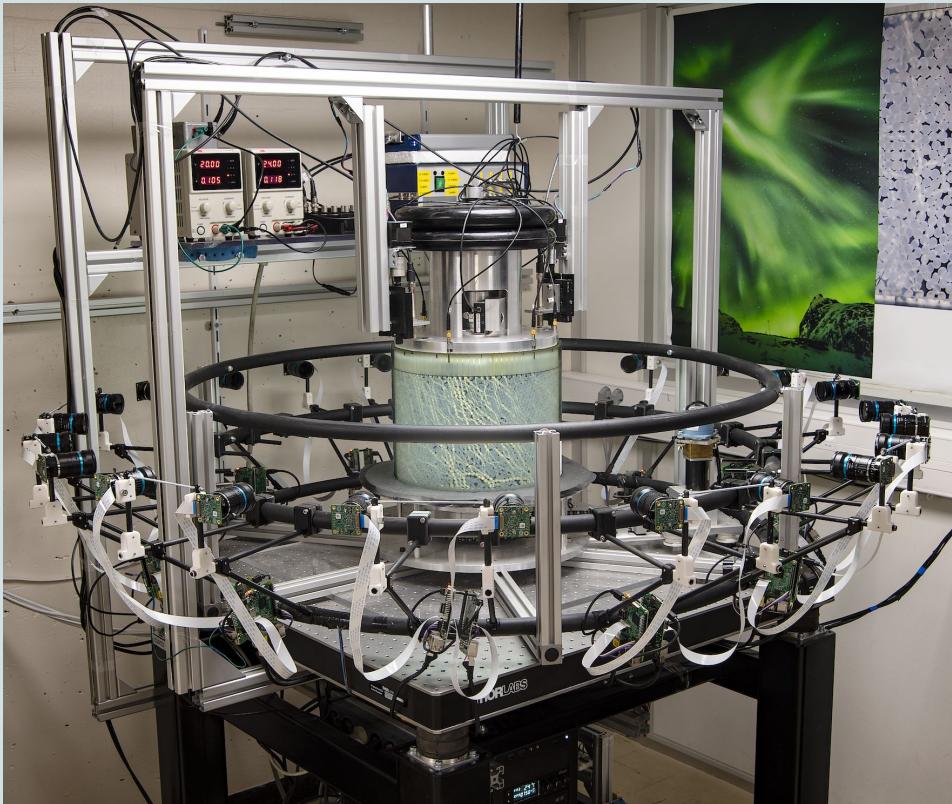
La localisation de l'onde acoustique est un succès.

Les analyses des images de la caméra ultrarapide ont permis de mettre en lumière les clusters

Ces analyses sont en accord avec la localisation acoustique.

On a un moyen de détecter l'origine des LabQuakes !

Annexe : modèle cylindrique



Modèle cylindrique.

- 24 caméras montées avec polariseurs.
- 1 photo toutes les 4s
- période de 18,3 h.
- 4,9cm/h

Annexe :

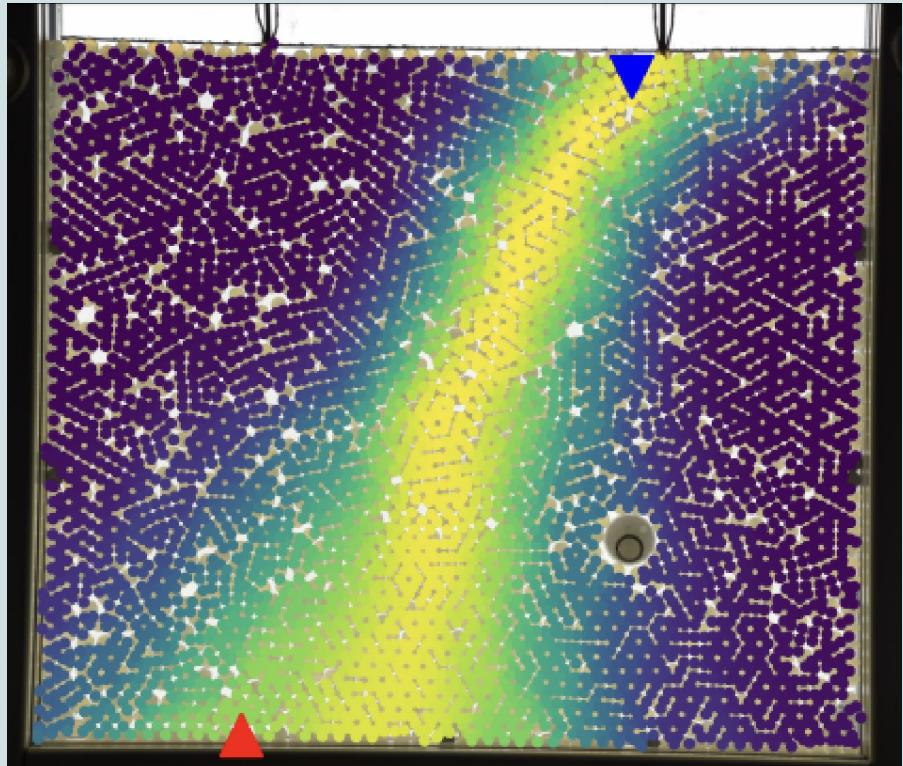
Photoélasticité

Photoélasticité : le matériau devient biréfringent sous la contrainte

$$\phi = 2\pi \frac{h C(\sigma_2 - \sigma_1)}{\lambda}$$

Module d'Young Y = 100 MPa

Annexe : Méthode statistique



Probabilité sur une seule branche qu'un point A_k soit émetteur (donc pour 1 paire de capteurs (i,j))

$$T \sim \mathcal{N}(\bar{T}, \sigma^2)$$

$$\text{où } T = |\Delta t_{\text{mesuré}} - \Delta t_{\text{théorique}}|$$

$\Delta t_{\text{théorique}}$ obtenu par la mesure de $c \propto \sqrt{F}$

