

# Caractérisation et surveillance des structures souterraines naturelles et anthropisées

**Laurent Longuevergne**

**Olivier Bour**

**Nataline Simon**

**Maria Klepikova**

**Géosciences  
Rennes,  
Université  
Rennes 1**

**Aghiad Khadour**

**Université  
Gustave Eiffel**

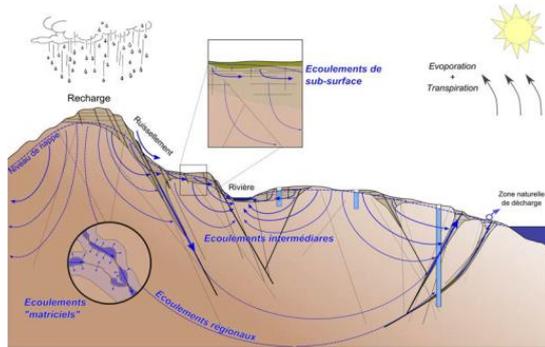
**Nicolas le Dantec**

**Emmanuel Augereau**

**Pauline LeTortu**

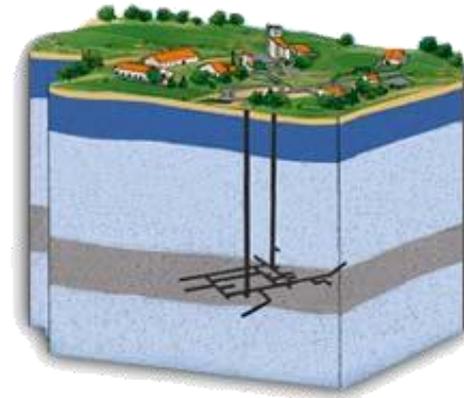
**Laboratoire  
Géosciences  
Océan**

# Rôle des structures perméables



## Cycle hydrologique

Les flux d'eau sont définis par les structures perméables

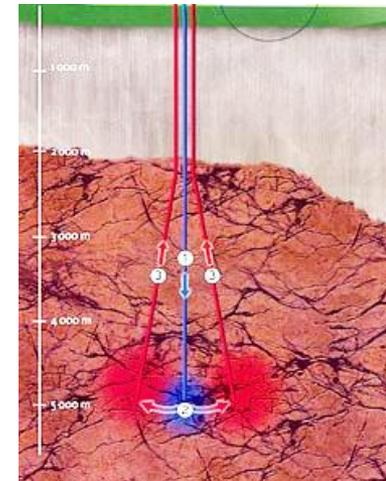


## Stockage souterrain

Les structures perméables peuvent être un risque

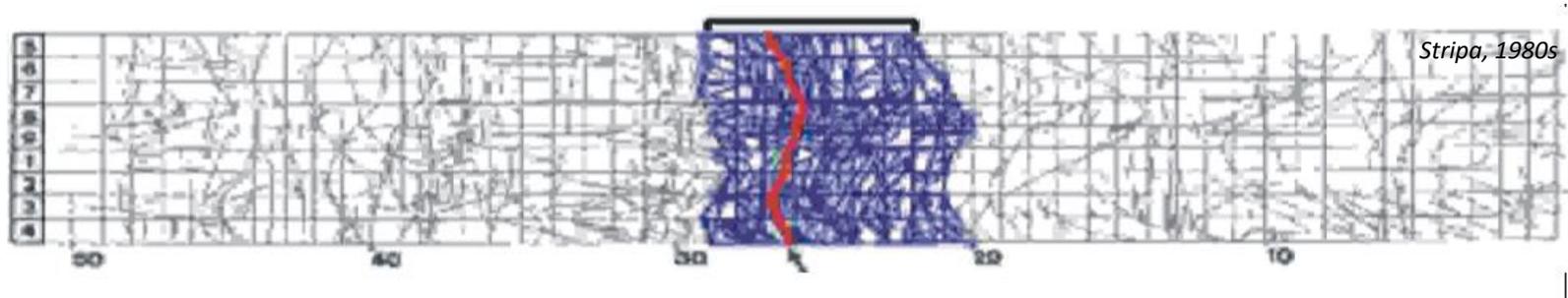
## Exploitation des ressources

Les structures perméables sont une opportunité



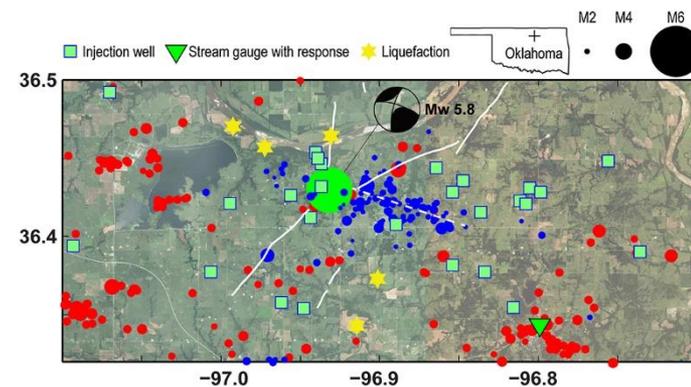
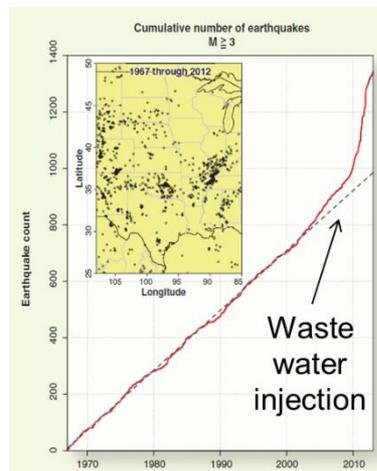
# Défis scientifiques

## 1. Définir les structures actives et leurs propriétés



100 % des flux sur 20% of surface  
1 fracture concentre 80% des flux

## 2. Contrôler le comportement et la stabilité des structures

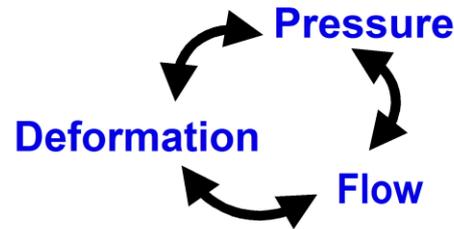
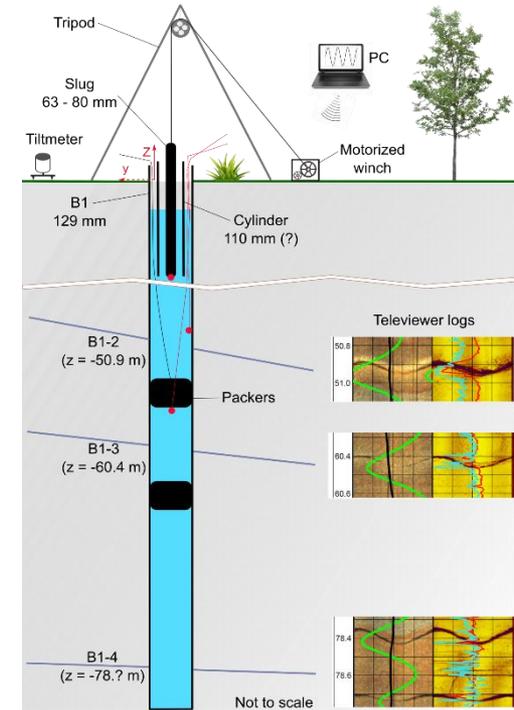
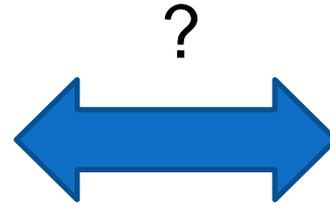


# Vers des tests hydro-mécaniques *in-situ*



Laboratoire  
~10 cm

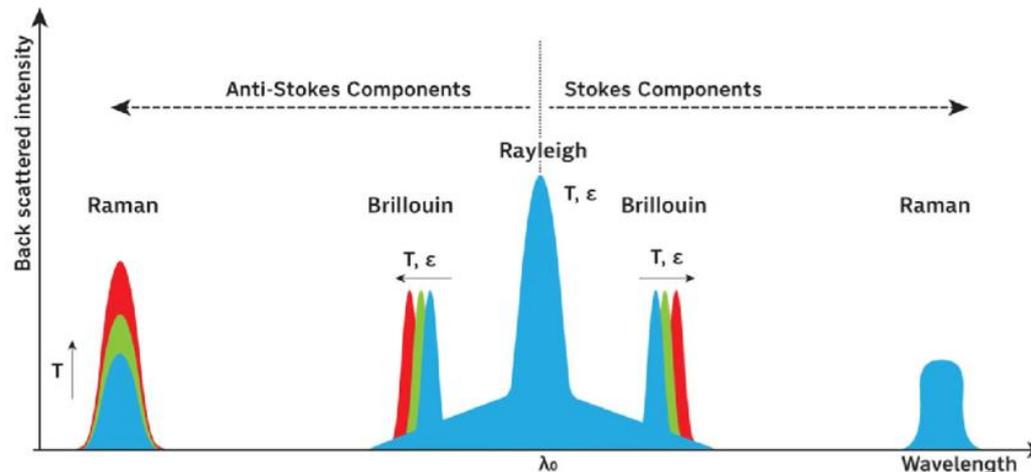
In-situ  
~100 m



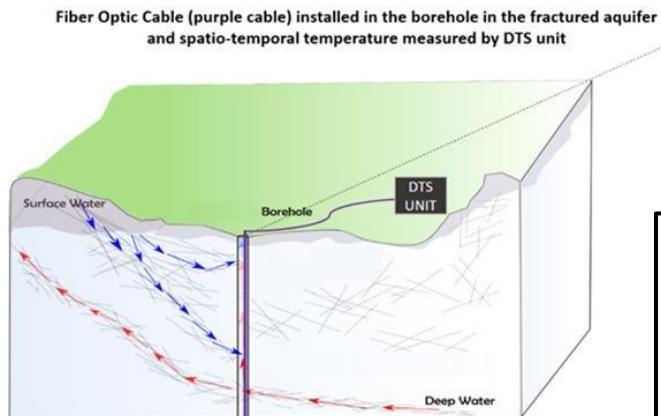
# Défis et solutions techniques

Connaissance préalable limitée -> domaine important à explorer  
Signaux de faible amplitude -> outil stable et précis  
Mélange de différentes sources -> décorrélation des sources

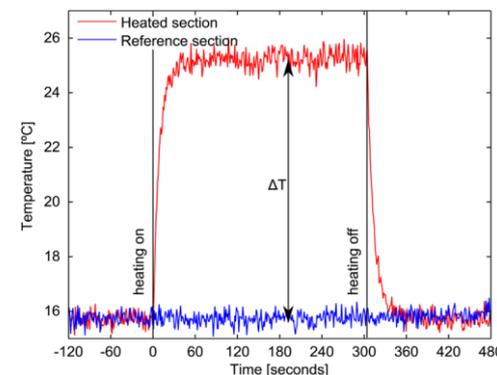
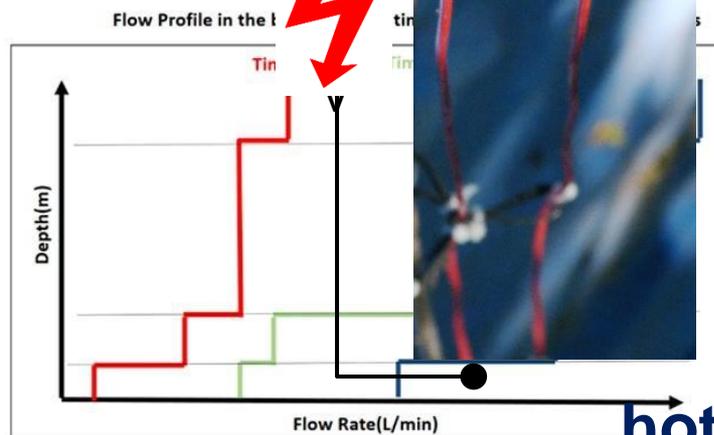
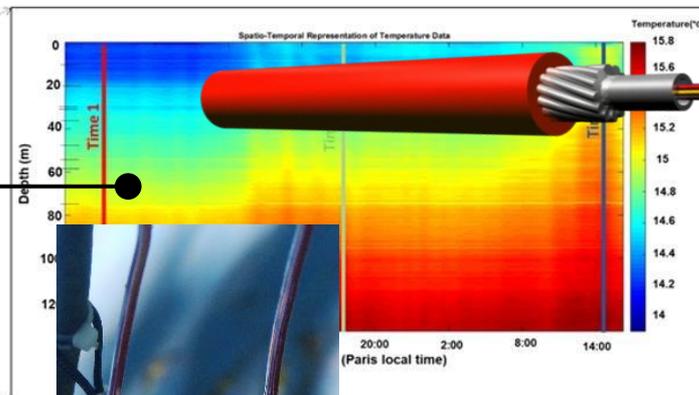
1. Développer des approches expérimentales pour « contrôler » les flux
2. Adapter des solutions techniques existantes – fibre optique



# Mesure des flux par fibre optique



DTS data acquired in the borehole with time



hot-wire anemometer



Journal of Hydrology  
Volume 598, July 2021, 126450

Research papers  
Modelling borehole flows from Distributed Temperature Sensing data to monitor groundwater dynamics in fractured media

Behzad Pouladi, Olivier Bour, Laurent Longuevergne, Jérôme de La Bernardie, Nataline Simon

Water Resources Research

RESEARCH ARTICLE  
10.1002/2014WR015273

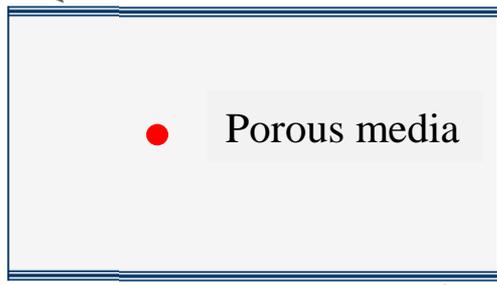
Key Points:  
• A prototype system monitored with

Active-Distributed Temperature Sensing to continuously quantify vertical flow in boreholes

T. Read<sup>1</sup>, O. Bour<sup>2</sup>, J. S. Selker<sup>3</sup>, V. F. Bense<sup>1</sup>, T. Le Borgne<sup>2</sup>, R. Hochreutener<sup>2,3</sup>, and N. Lavenant<sup>2</sup>

# Mesure des flux par fibre optique

COMSOL Multiphysics®



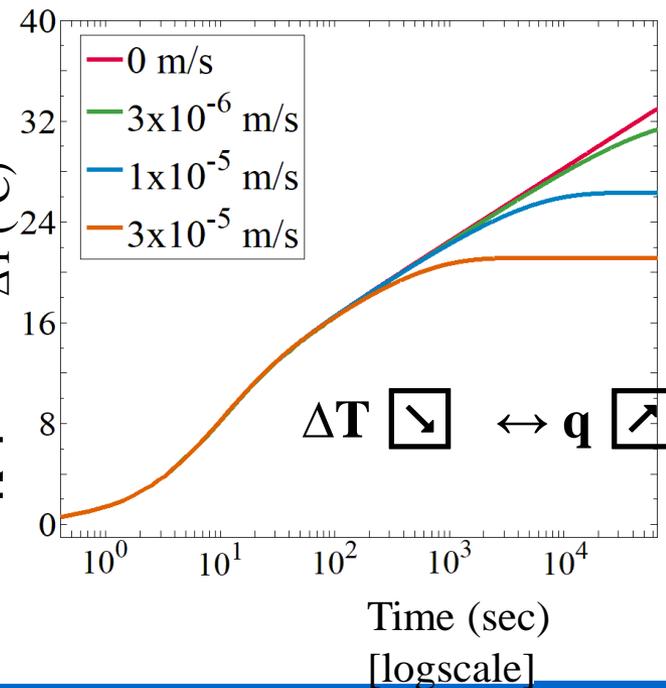
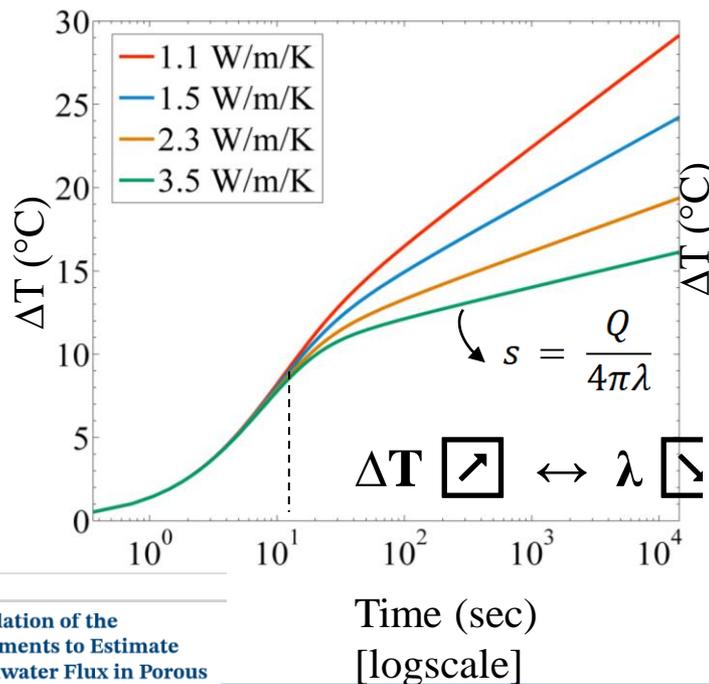
Thermal conduction  
+  
Heat advection



Only conduction



conduction + advection



## Water Resources Research

RESEARCH ARTICLE  
10.1029/2020WR028078

### Key Points:

- Numerical and experimental validation of two methods to interpret active-Distributed Temperature Sensing (DTS) experiments in sediments
- Determination of thermal

**Numerical and Experimental Validation of the Applicability of Active-DTS Experiments to Estimate Thermal Conductivity and Groundwater Flux in Porous Media**

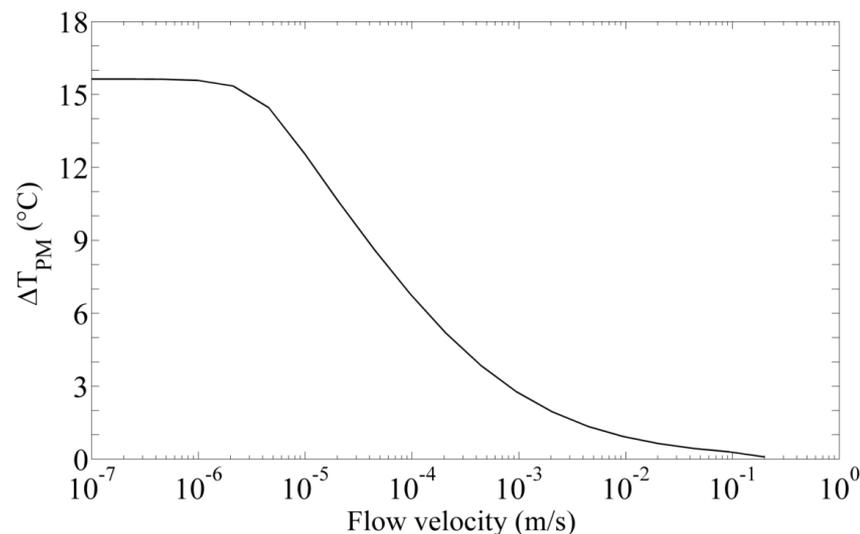
N. Simon<sup>1</sup>, O. r<sup>1</sup>, N. Lavenant<sup>1</sup>, G. Porel<sup>1</sup>, B. Nauleau<sup>1</sup>, B. Pouladi<sup>1</sup>, L. Longuevergne<sup>1</sup>, and A. Crave<sup>1</sup>

# Mesure des flux par fibre optique

## Élévation de T attendue en fonction du flux

Apport considérable des mesures actives

Estimation des flux d'eau sur une large gamme  
10<sup>-5</sup> à 10<sup>-2</sup> m/s (chauffe 4h)  
10<sup>-6</sup> à 10<sup>-5</sup> m/s (chauffe 24h)



Un exemple d'application sur les interactions nappe-rivière !

**Combining passive- and active-DTS measurements to locate and quantify groundwater discharge into streams**

Nataline Simon<sup>1</sup>, Olivier Bour<sup>1</sup>, Mikael Fauchoux<sup>2</sup>, Nicolas Lavenant<sup>1</sup>, Hugo Le Lay<sup>2</sup>, Ophélie Fovet<sup>2</sup>, Zahra Thomas<sup>2</sup> and Laurent Longuevergne<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univ Rennes, CNRS, Géosciences Rennes, UMR 6118, 35000 Rennes, France

<sup>2</sup>UMR SAS, INRAE, Institut Agro, Rennes, France

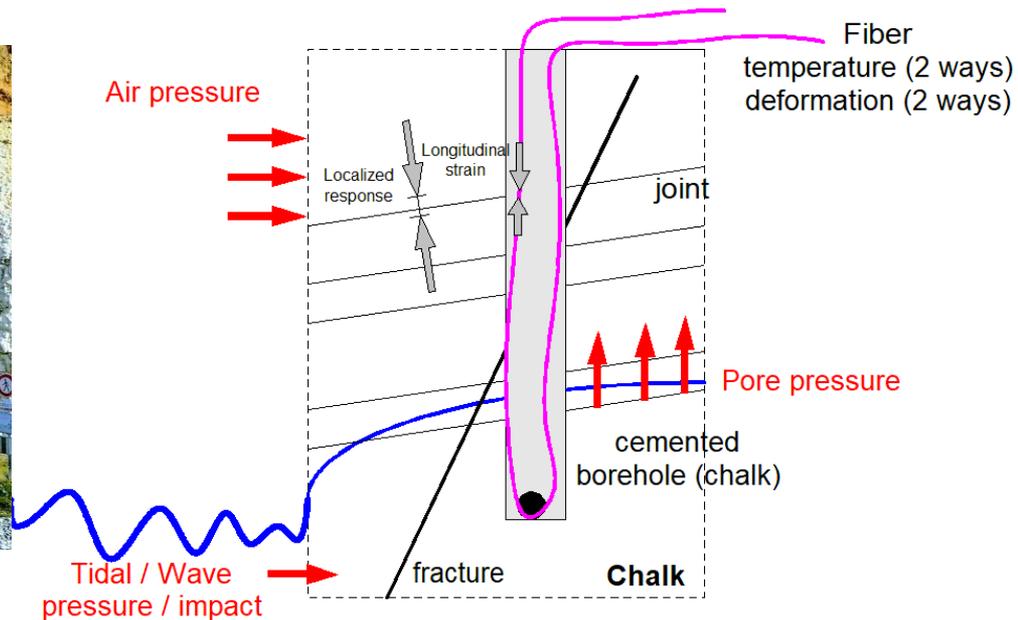
# Déformations par fibre optique

- Question de la résolution spatiale ( $\sim 1$  cm)
  - > Reflectomètre optique à rétrodiffusion (Rayleigh)
- Question du couplage avec le milieu
  - > cimentation, solution non permanente ?



# Déformations par fibre optique

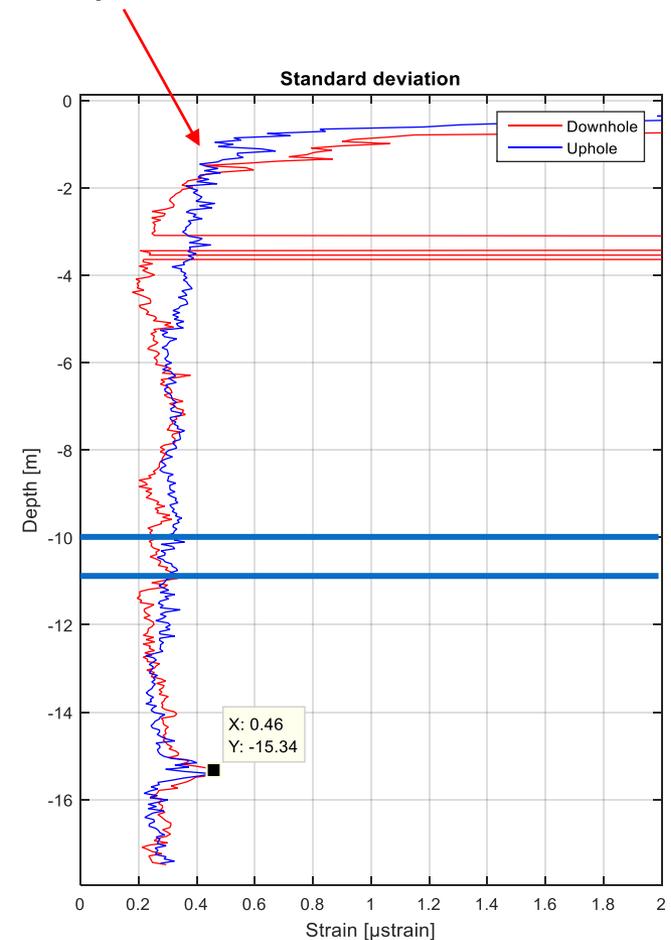
- Réponse mécanique aux forçages environnementaux (atmosphère vagues, infra, marée, ...)
- Identifier d'éventuelles structures de concentration / sensibilité à la fatigue



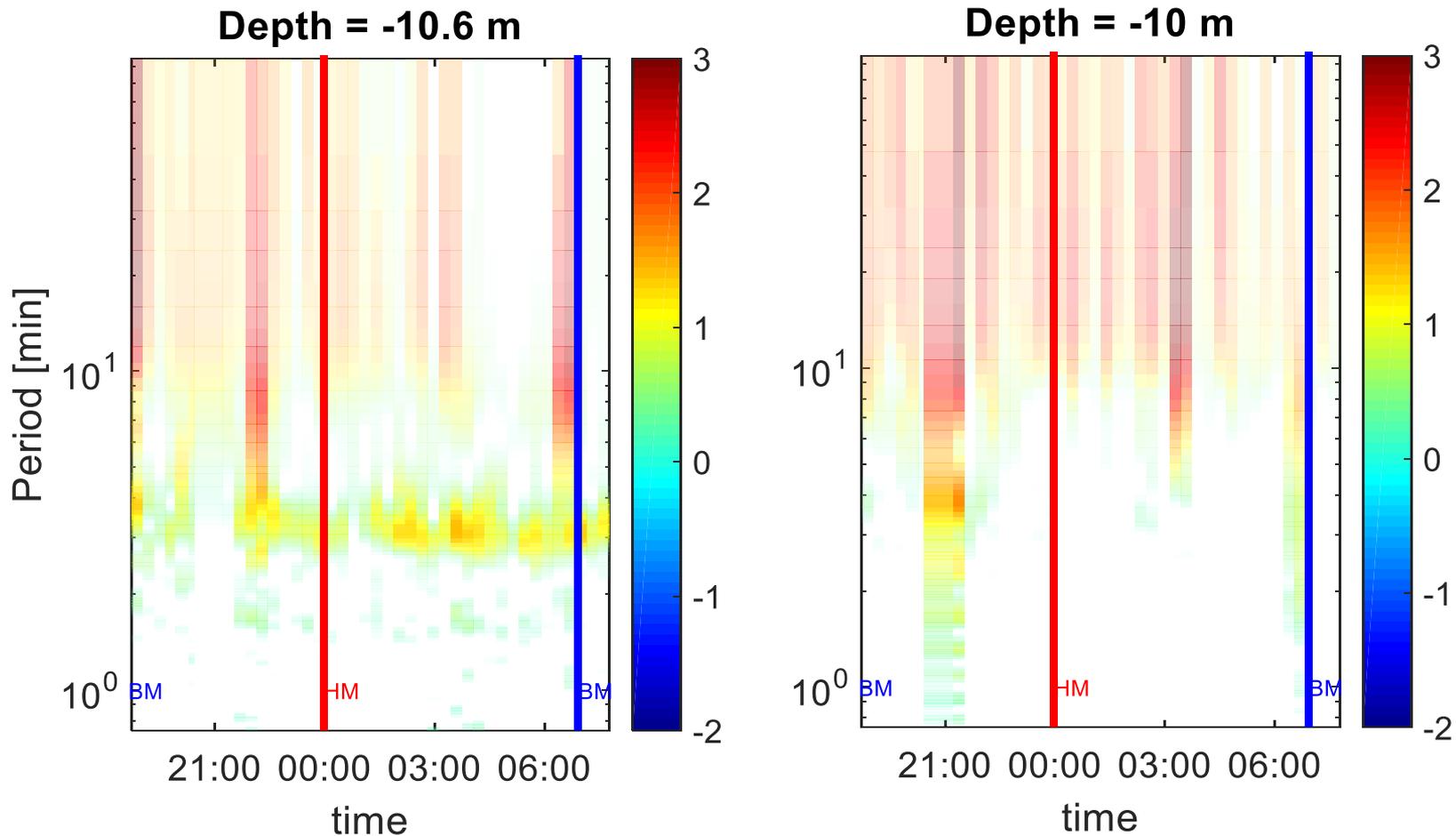
# Déformations par fibre optique

- Acquisition sur un cycle de marée (~12h)
- Haute résolution spatiale (~2 cm)
- Qualité de la mesure [ $\sim\mu\text{strain}$ ]

Température



# Déformations par fibre optique



La falaise est sensible aux infra-vagues, indépendamment de la marée  
Forte localisation des déformations (lits de silex? Altération locale?)



# Conclusions - Perspectives

Fort intérêt des outils « fibre optique » pour définir le comportement hydrologique et mécanique des structures souterraines naturelles et anthropisées

La haute résolution spatiale est essentielle

Un renforcement des approches expérimentales pour des déformations mécaniques est en cours (couplages, tests hydro-mécaniques, ...)

Prochainement : couplage des approches thermiques et mécaniques



# Thank you for attention

