

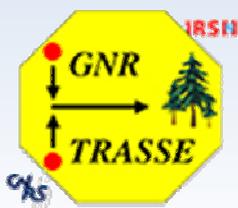
# Etude expérimentale des déformations par dessiccation des argilites de Tournemire

**S.Hédan<sup>a</sup>, A-L. Fauchille, V.Valle<sup>b</sup>, P.Cosenza<sup>a</sup>, P.Dudoignon<sup>a</sup>,  
J.Cabrera<sup>c</sup>, C.Laforest<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> : Université de POITIERS, Laboratoire HydrASA, UMR6269, ENSIP

<sup>b</sup> : Université de POITIERS, Institut PPRIME, UPR3346

<sup>c</sup> DEI-SARG, Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, Fontenay-aux-Roses



# INTRODUCTION

## Excavation des galeries

- La roche est en contact avec l'air : **humidité, température**
- Apparition de fractures de dessiccation ouvertes en hiver et fermées en été
- Fort **couplage hygro-mécanique**

Fissure ouverte en décembre 2010 (gal.Est 96)



Pour étudier la dessiccation des argilites en laboratoire :

**Température** – Humidité relative

**Corrélation d'images numériques (CIN)**



**MECANIQUE**

Suivi temporel des déformations surfaciques

**PETROGRAPHIE**

Lien entre les déformations et les hétérogénéités structurales

# I. Principe de la manipulation

étuve



caméras  
CMOS  $\mu$ Eye  
1,2 Mp  
1280x1024 pixels<sup>2</sup>

## Sollicitation thermique

Chargement en température par paliers de 40,50,80,105,150,200°C



## Echantillons

dans une étuve à paroi vitrée plane



## Corrélation d'images numériques

Suivi temporel des déformations  
(1 image par minute)

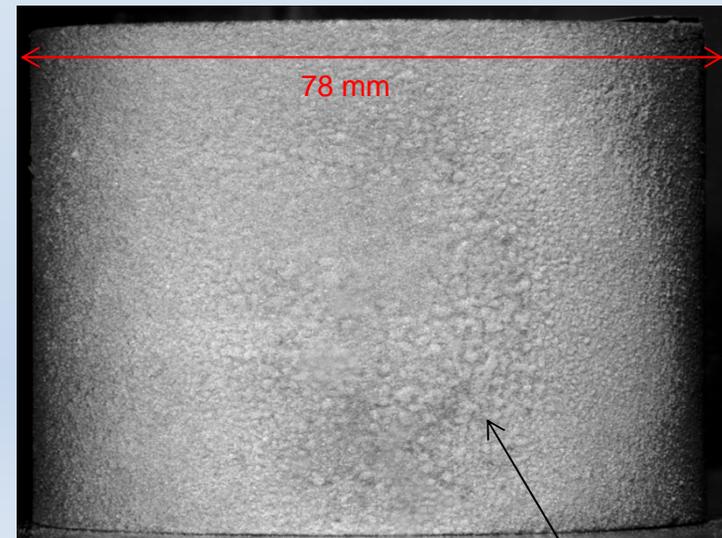
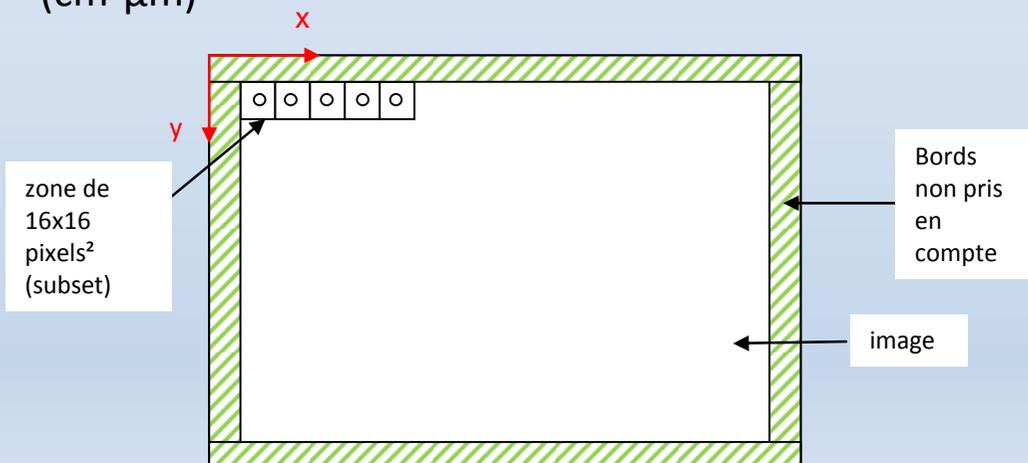


## II. La méthode de corrélation d'images numériques

### 1. Objectif

- Conf. **M. BORNERT**, séance CFMR du 10/06/2010
- **Comparer deux images (états  $t_0$  et  $t$ )** pour en déduire les champs de déplacement grâce au logiciel CorrelTRASSE©

➔ Quantification précise et spatialisée des **déplacements/déformations** d'un échantillon (cm- $\mu$ m)



Mouchetis (sable  $d < 100 \mu\text{m}$ )

- Chaque image est **découpée** en N zones d'études de  $16 \times 16$  pixels<sup>2</sup>  
1 image =  $1280 \times 1024$  pixels<sup>2</sup>  
champ d'analyse =  $936 \times 840$  pixels<sup>2</sup>

## II. La méthode de corrélation d'images numériques

### 2. Calcul des déplacements et des déformations

- Les déplacements  $U_x$  et  $U_y$

$$U_x = X_{tn} - X_{0n}$$

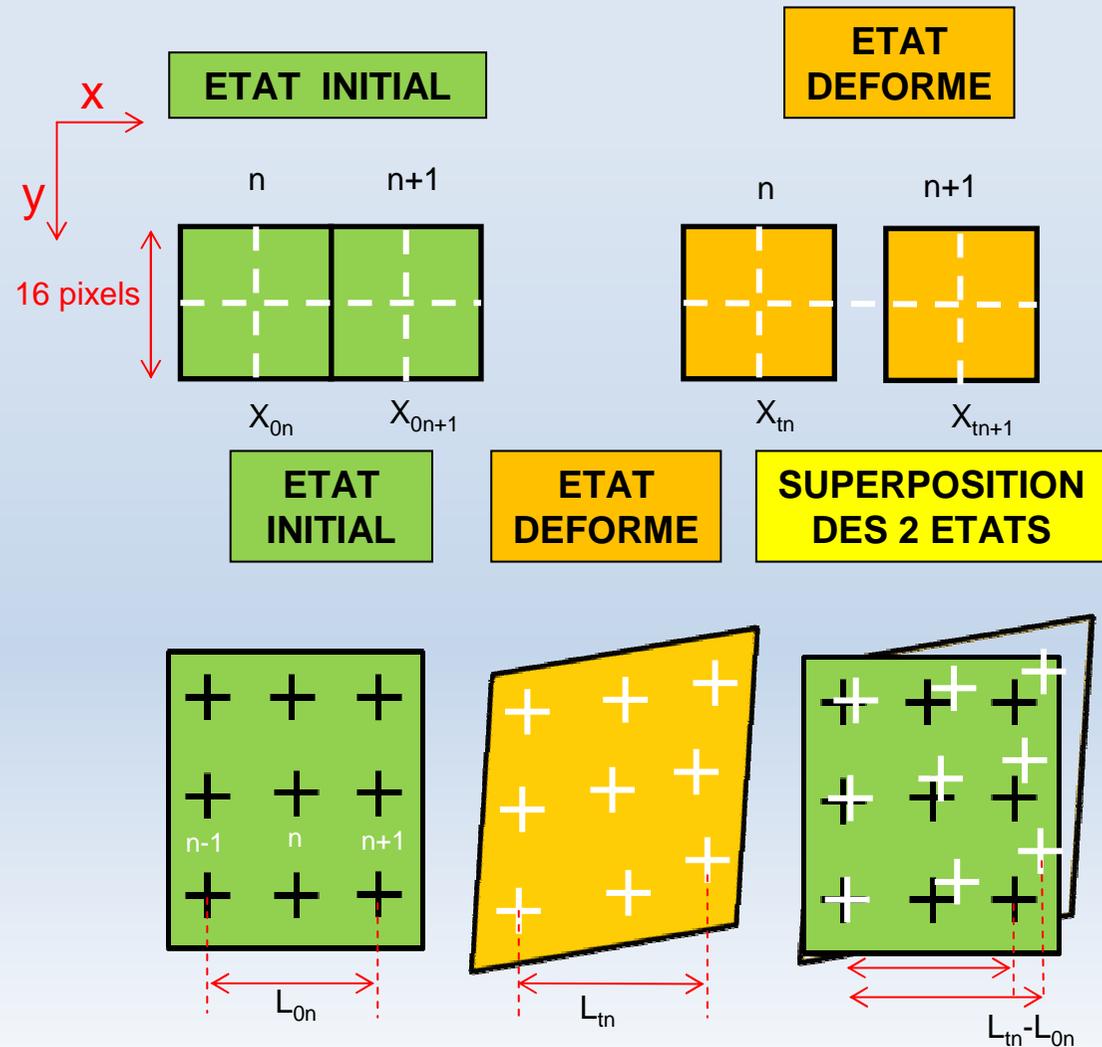
$$U_y = Y_{tn} - Y_{0n}$$

- Les déformations  $\epsilon_{xx}, \epsilon_{yy}, \epsilon_{xy}$

$$\epsilon_X = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_{tn} - L_{0n}}{L_{0n}}$$

➔  $\epsilon_1$  et  $\epsilon_2$

$$\langle \epsilon \rangle = \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2}{2}$$



### III. Les résultats en mécanique

#### 1. Les échantillons utilisés

- 4 échantillons
- 3 directions des plans de stratification : **135°, 180° et 90°**

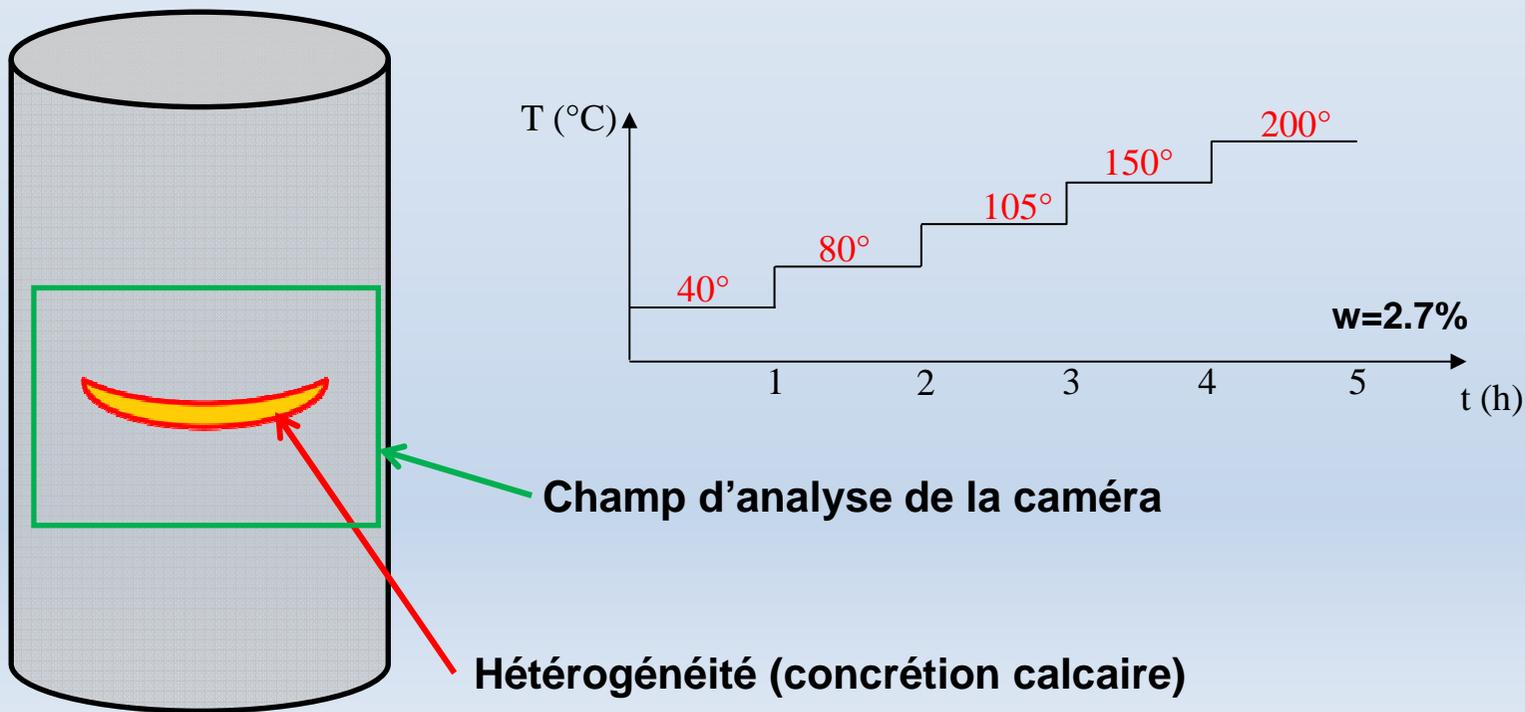
Forages	GSM135		GSM180	FD90
Profondeur à partir de la galerie (m)	3,3	3,5	3,8	2,2
Longueur (mm)	200	70	70	70
T(°C)	<b>40-200</b>	<b>50-200</b>	<b>50-200</b>	<b>50-150</b>
Temps cumulé du chauffage (h)	5,0	8,0	8,0	6,0

### III. Les résultats en mécanique

#### 2. Sollicitation thermique de l'échantillon GSM135 1

GSM135 1 : 1 carotte Ø78 mm et L=200mm

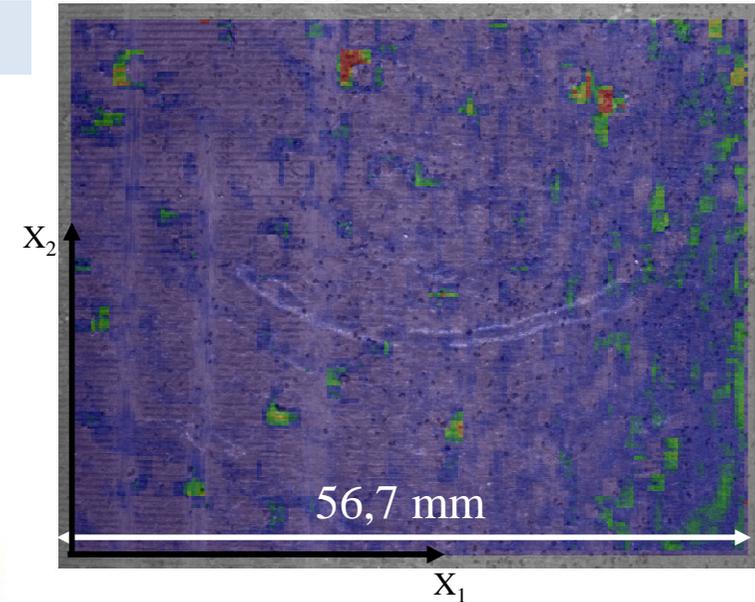
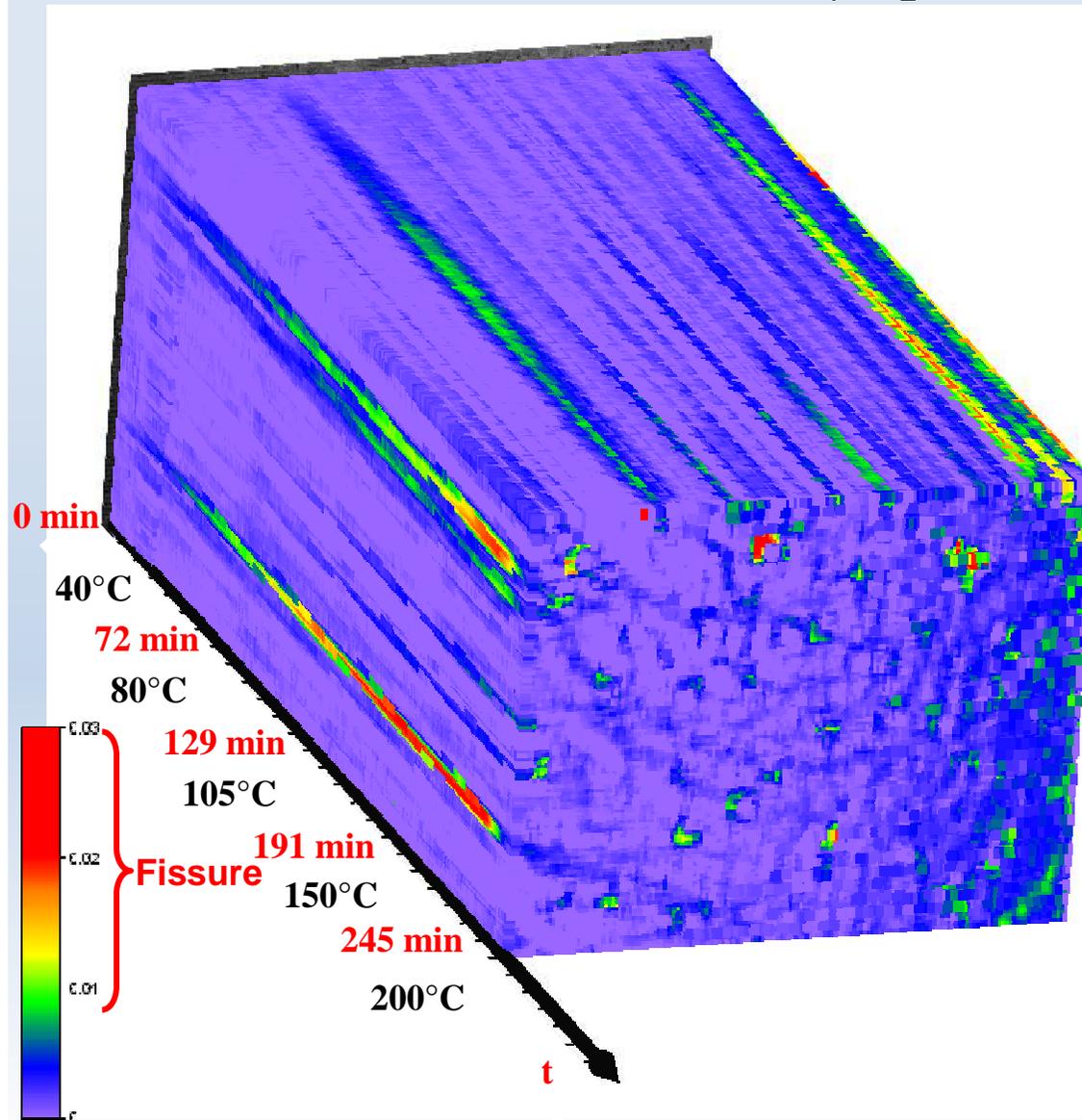
➔ Mesures de  $\epsilon$  + lames minces après dessiccation



### III. Les résultats en mécanique

#### 2. Sollicitation thermique de l'échantillon GSM135

Champ de déformation principale  $\varepsilon_1$  ;  $\varepsilon_2 \approx 0$



#### CONCLUSION

- Début sollicitation thermique (40°C) → **Localisation (concentration)** des déformations
- **Apparition** de fissures macroscopiques
- Fissures **suivent** les hétérogénéités
- « **Fermeture** » des fissures à 150°C

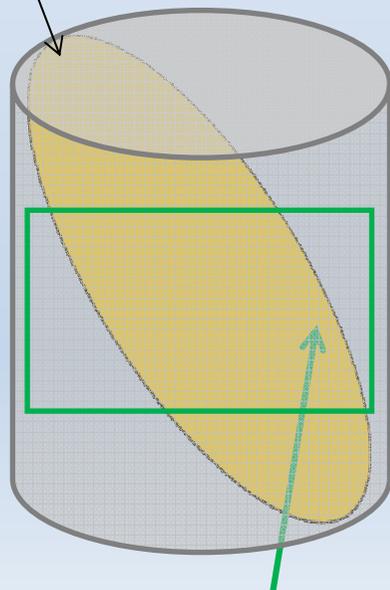
### III. Les résultats en mécanique

#### 3. Sollicitation thermique de l'échantillon GSM135 2

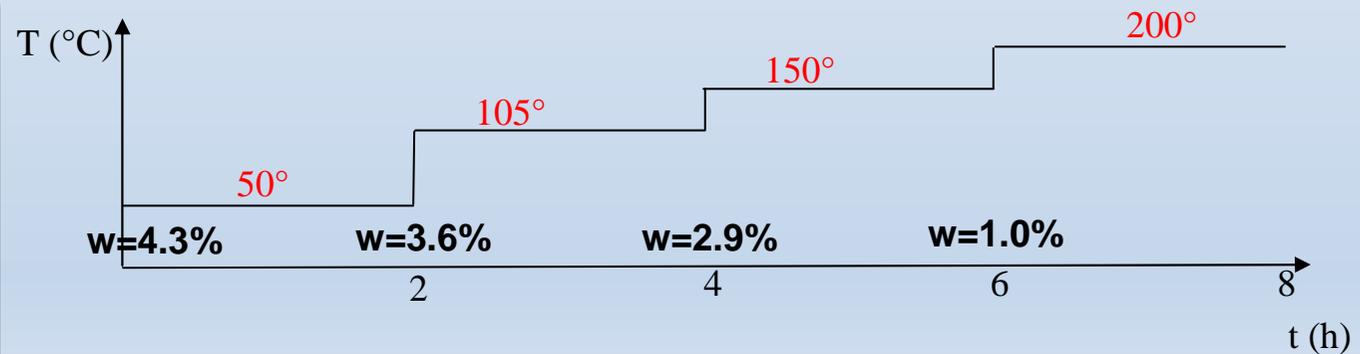
**GSM135 2** : 1 carotte découpée en 3 :

- 1 Ø78 mm et L=70mm → **Mesures de  $\epsilon$  + lames minces après dessiccation**
- 1 Ø78 mm et L=70mm → **Mesure de la masse**
- 1 Ø78 mm et L=50mm → Lames minces avant dessiccation

Plan de stratification (135°)



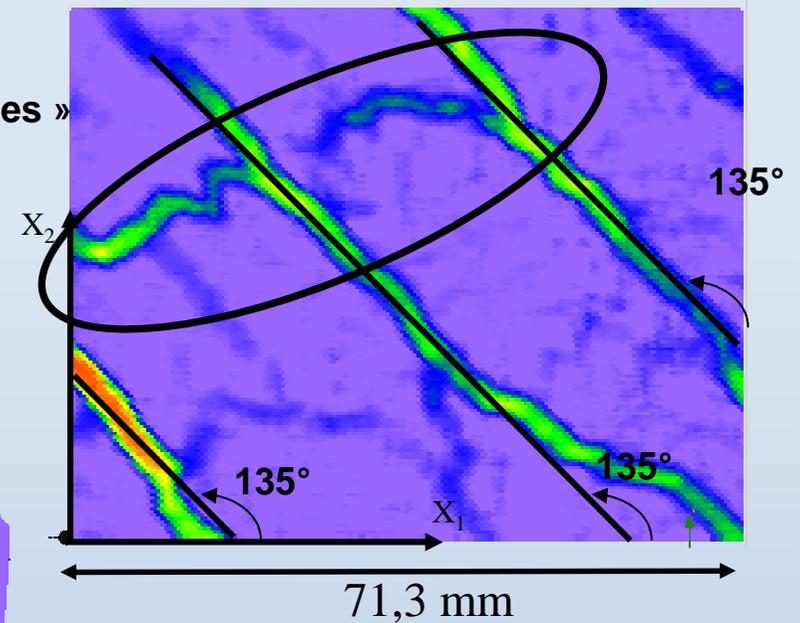
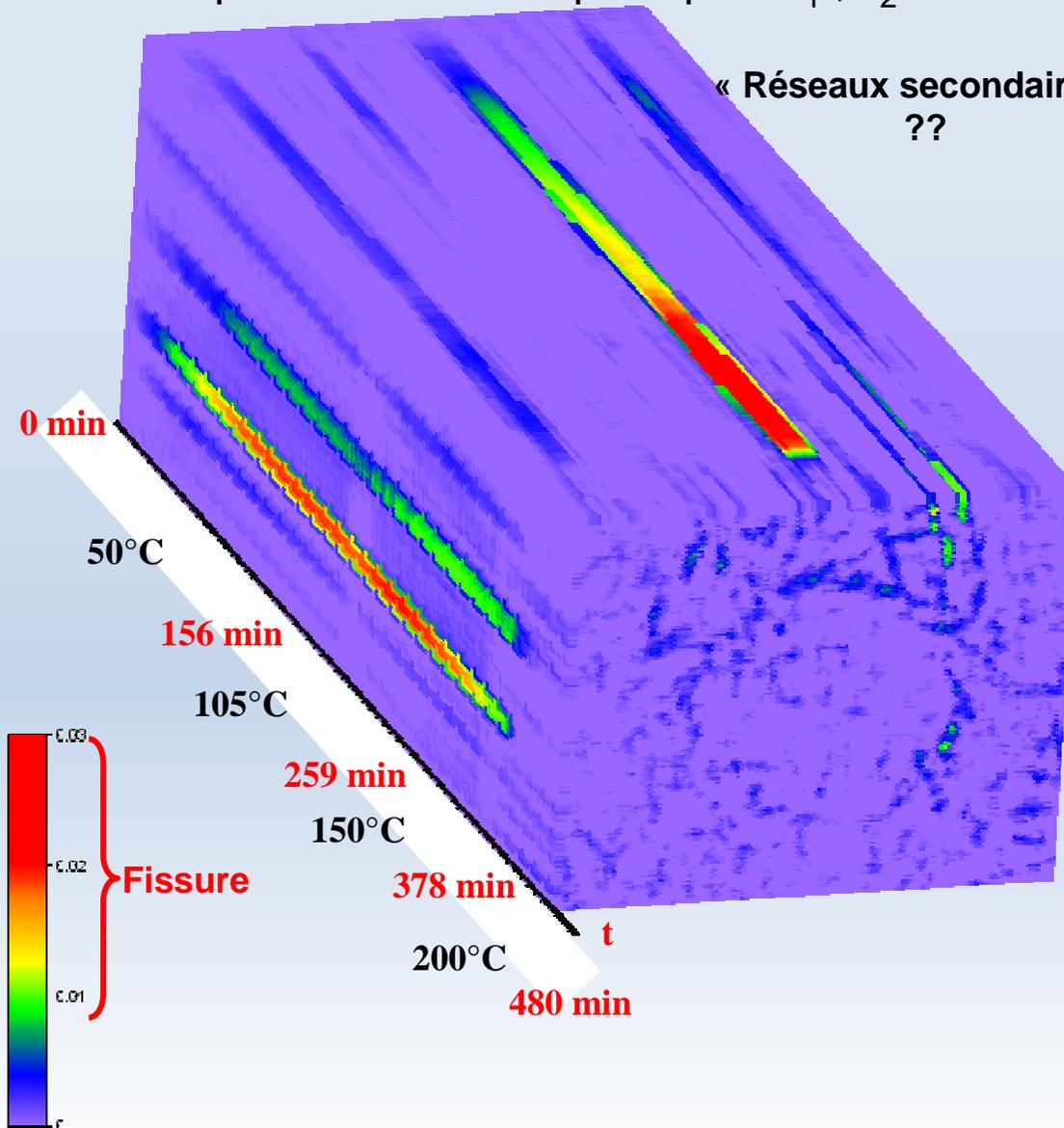
**Champ d'analyse de la caméra**



### III. Les résultats en mécanique

#### 3. Sollicitation thermique de l'échantillon GSM135 2

Champ de déformation principale  $\epsilon_1$  ;  $\epsilon_2 \approx 0$



#### CONCLUSION

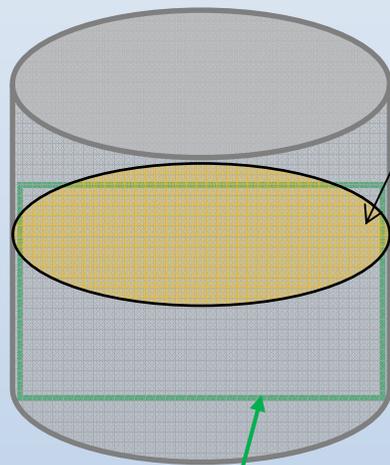
- Début sollicitation thermique (50°C) → **Localisation (concentration)** des déformations
- **Apparition** de fissures macroscopiques
- Fissures **suivent** la stratification
- « **Fermeture** » des fissures  $\approx 150^\circ\text{C}$
- Présence de « **réseaux secondaires** »??

### III. Les résultats en mécanique

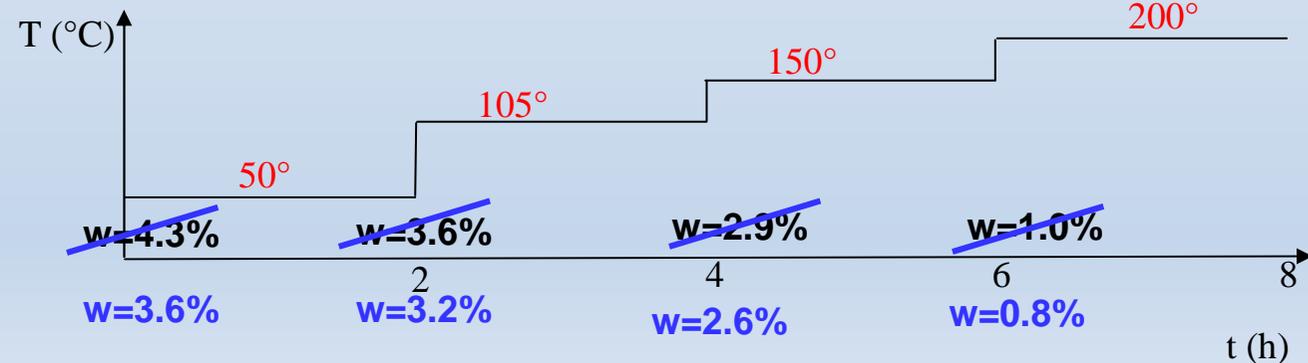
#### 4. Sollicitation thermique de l'échantillon GSM180

**GSM180** : 1 carotte découpée en 3 :

- 1 Ø86 mm et L=70mm ➡ **Mesures de  $\epsilon$  + lames minces après dessiccation**
- 1 Ø86 mm et L=70mm ➡ **Mesure de la masse**
- 1 Ø86 mm et L=43mm ➡ Lames minces avant dessiccation



Plan de stratification

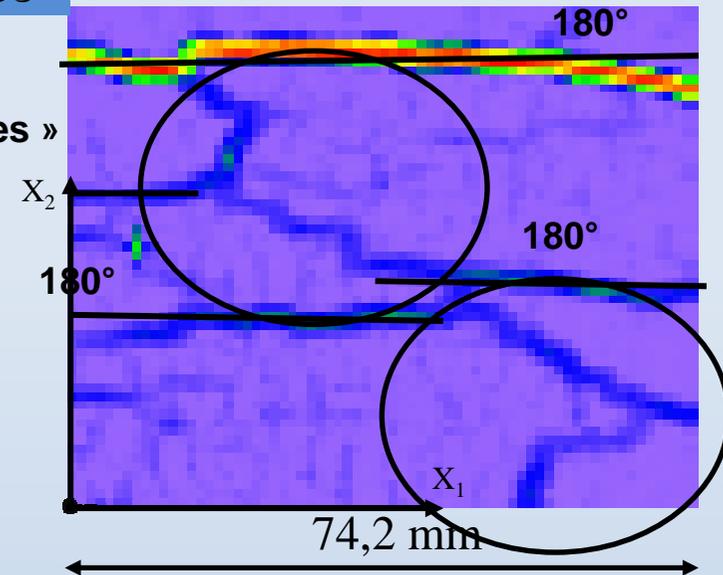
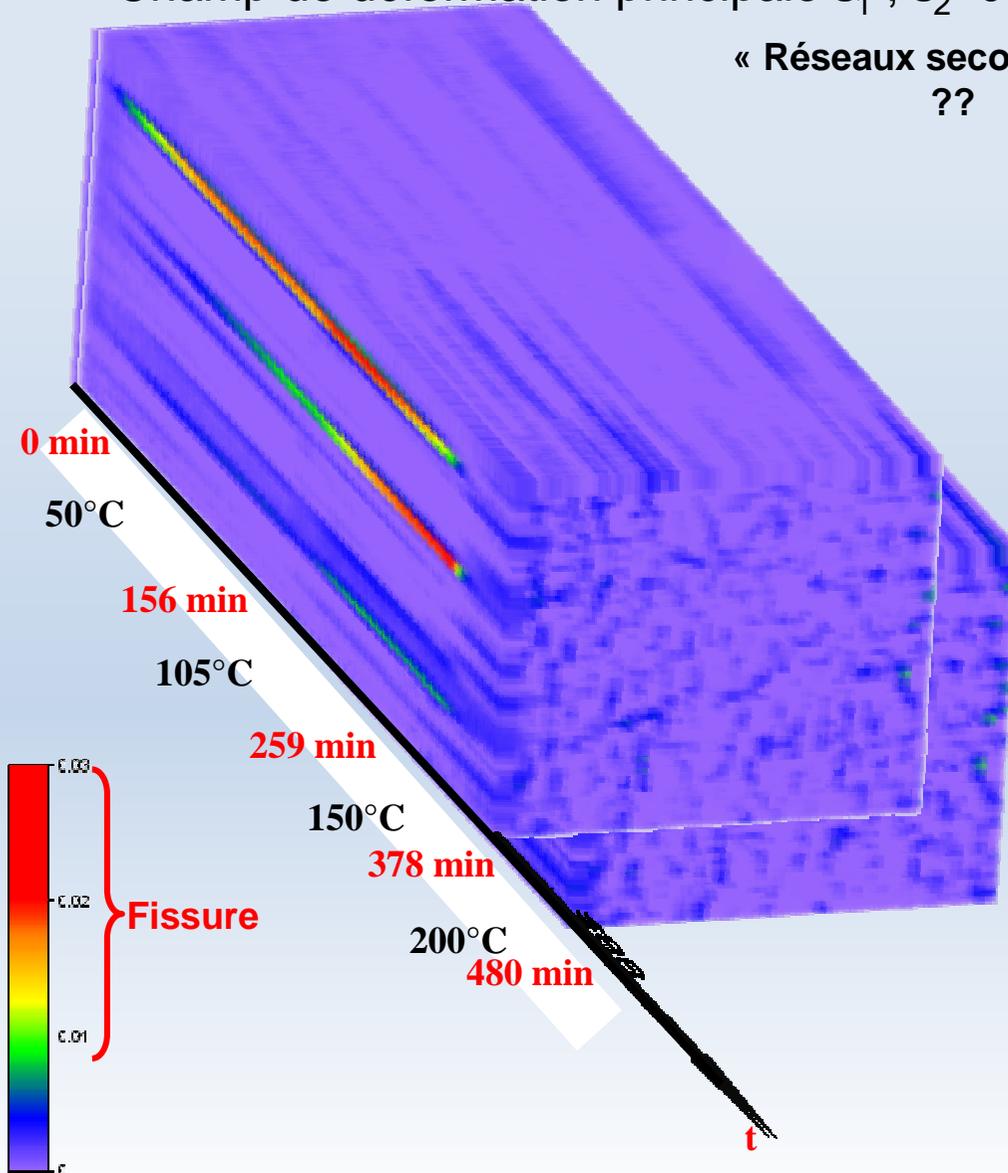


Champ d'analyse de la caméra

### III. Les résultats

#### 4. Sollicitation thermique de l'échantillon GSM180

Champ de déformation principale  $\varepsilon_1$  ;  $\varepsilon_2 \approx 0$



#### CONCLUSION

- Début sollicitation thermique (50°C)  
→ **Localisation (concentration)** des déformations
- **Apparition** de fissures macroscopiques
- Fissures **suivent** la stratification
- « **Fermeture** » des fissures  $\approx 150^\circ\text{C}$
- Présence de « **réseaux secondaires** » ??

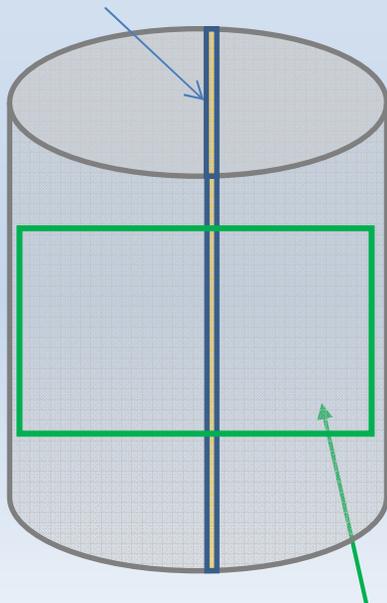
### III. Les résultats en mécanique

#### 5. Sollicitation thermique de l'échantillon FD90

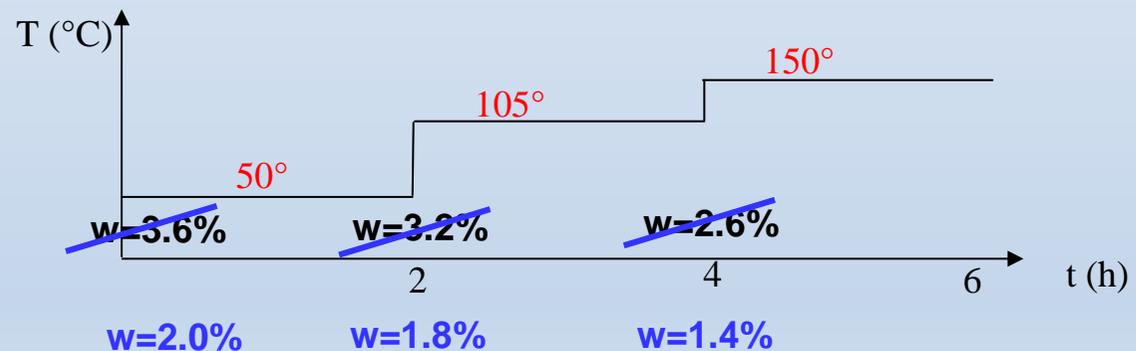
FD90 : 1 carotte découpée en 5 :

- 1 Ø86 mm et L=70mm → Lames minces (LM) avant dessiccation
- 1 Ø86 mm et L=70mm → Mesures de  $\epsilon$  jusqu'à 50°C + LM après dessiccation
- 1 Ø86 mm et L=70mm → Mesures de  $\epsilon$  jusqu'à 105°C + LM après dessiccation
- 1 Ø86 mm et L=70mm → **Mesures de  $\epsilon$  jusqu'à 150°C + LM après dessiccation**
- 1 Ø86 mm et L=45mm → **Mesures de teneur en eau**

Plan de stratification



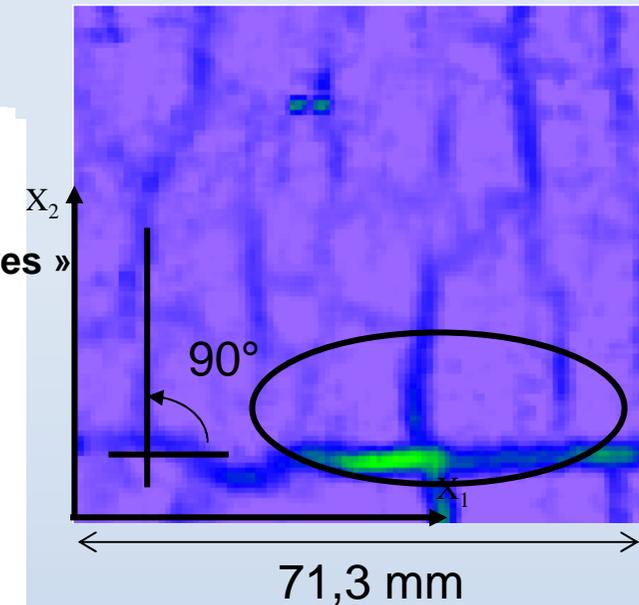
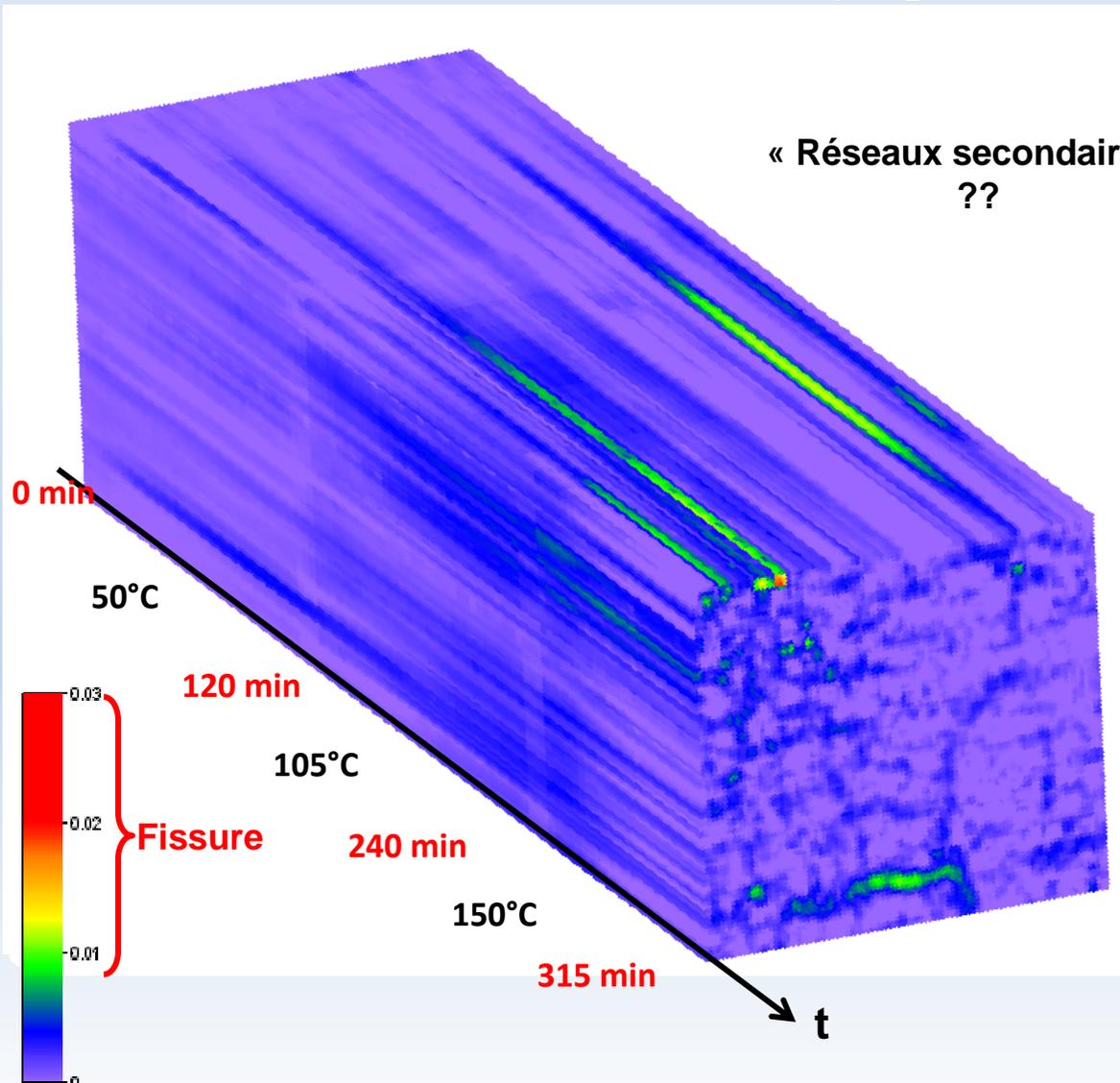
Champ d'analyse de la caméra



### III. Les résultats en mécanique

#### 5. Sollicitation thermique de l'échantillon FD90

Champ de déformation principale  $\varepsilon_1$  ;  $\varepsilon_2 \approx 0$

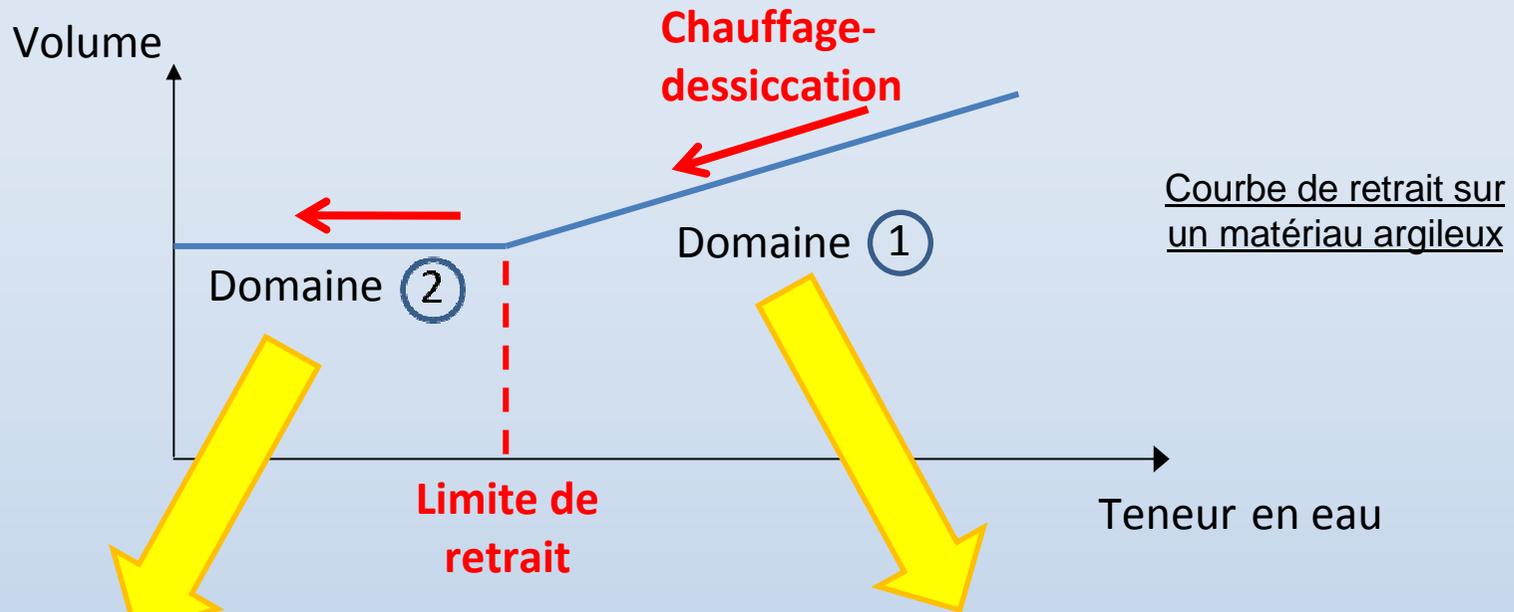


#### CONCLUSION

- Début sollicitation thermique (50°C)  
→ **Localisation (concentration)** des déformations
- **Apparition** de fissures macroscopiques
- Fissures **suivent** la stratification
- « **Fermeture** » des fissures  $\approx 150^\circ\text{C}$
- Présence de « **réseaux secondaires** » ??

# Pourquoi les fissures se referment-elles ?

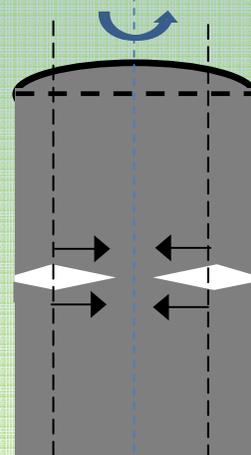
⇒ Proposition d'une hypothèse



## Domaine ②

- retrait  $\approx 0$
- la dilatation thermique domine

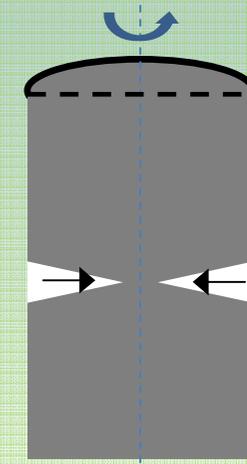
⇒ Arrêt propagation des fissures  
⇒ Fermeture depuis la surface



## Domaine ①

- retrait > dilatation thermique

⇒ Propagation des fissures de retrait



### III. Les résultats en mécanique

#### 6. Résumé

N°Essai	Stratification	Découpage carotte	Palier thermique/durée	w%	Conclusions
<b>GSM 135 1:</b> 3.30-3.50m (27/10/09)	135°	Non	1h→40°C 1h→80°C 1h→105°C 1h→150°C 1h→200°C	/ / / / <b>2,7</b>	<p>► Méthode d'extensométrie optique (CIN) <b>bien adaptée</b> pour prédire l'apparition des fissures (ouverture des fissures ≈ 80 μm)</p> <p>► Dès le début des essais :</p>
<b>GSM 135 2:</b> 3.50-3.70m (27/10/09)	135°	3	2h→50°C 2h→105°C 2h→150°C 2h→200°C	<b>4,3</b> <b>3,6</b> <b>2,9</b> <b>1,0</b>	<p><b>Localisation (concentration) des déformations</b> <b>Ces zones de concentration de déformations sont des précurseurs des fissures macroscopiques</b></p>
<b>GSM 180 :</b> 3.80-4.00m (06/11/09)	180°	3	2h→50°C 2h→105°C 2h→150°C 2h→200°C	<b>3,6</b> <b>3,2</b> <b>2,6</b> <b>0,8</b>	<p>► <b>Fissures suivent la stratification</b></p> <p>► Présence de « <b>réseaux secondaires</b> » ?</p>
<b>FD90:</b> 2.00-2.40m (07/12/10)	90°	5	2h→50°C 2h→105°C 2h→150°C	<b>2</b> <b>1,8</b> <b>1,4</b>	<p>► « <b>Fermeture</b> » des fissures ≈<b>150°C</b> : dilatation thermique ? Dépassement de la limite de retrait ?</p>

## IV. Les résultats en pétrographie

Chauffage des échantillons à 200°C



Dessiccation (ouverture des fissures)



Fermeture macroscopique des fissures



Lames minces pour observations  
pétrographiques



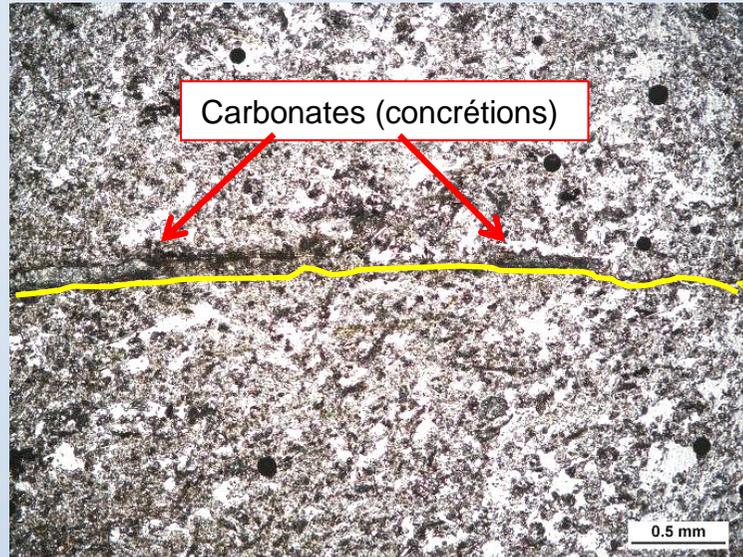
**Microscope  
optique (MO)**



**Microscope électronique  
à balayage (MEB)**

# IV. Les résultats en pétrographie

## 1. Au microscope optique



↔  
Orientation de la stratification

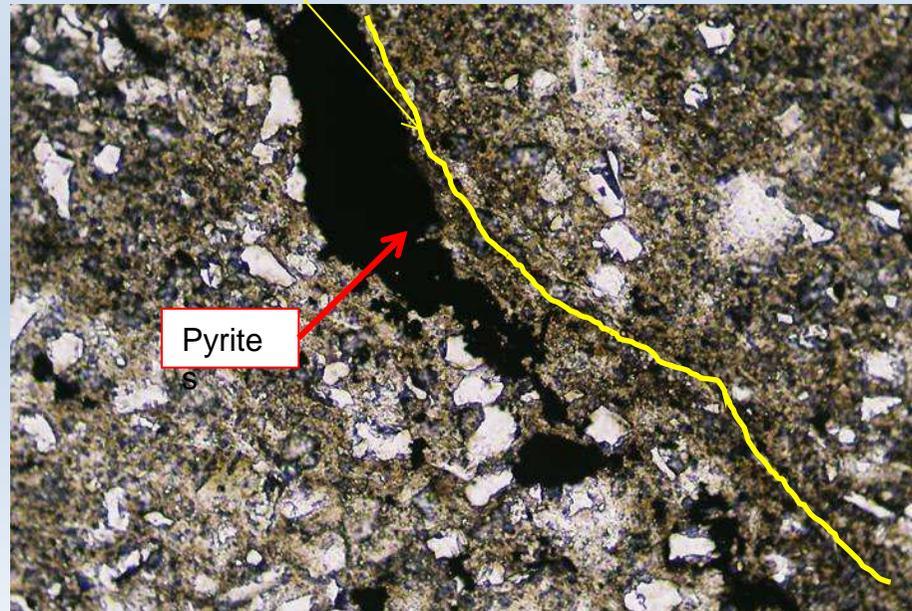
fissure

Clichés photographiques en MO en lumière naturelle de l'échantillon **GSM135 1** chauffé à **200°C** , grossissement **x40**

Clichés photographiques en MO en lumière naturelle de l'échantillon **GSM135 2** chauffé à **200°C** , grossissement **x4**

**Impact des carbonates ?  
des pyrites ?**

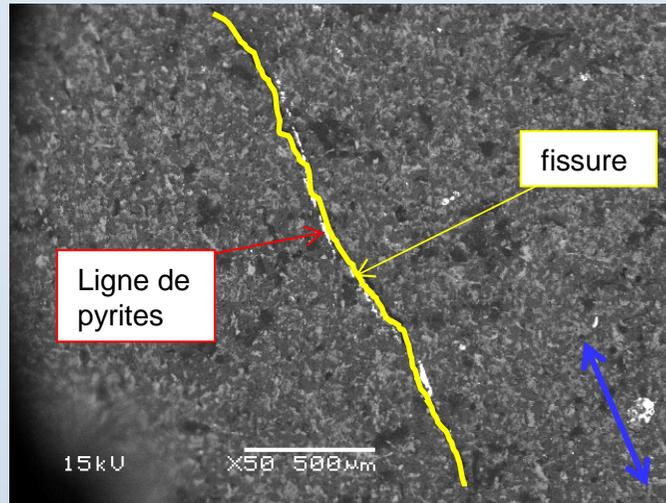
**➡ MEB**



↔  
Orientation de la stratification

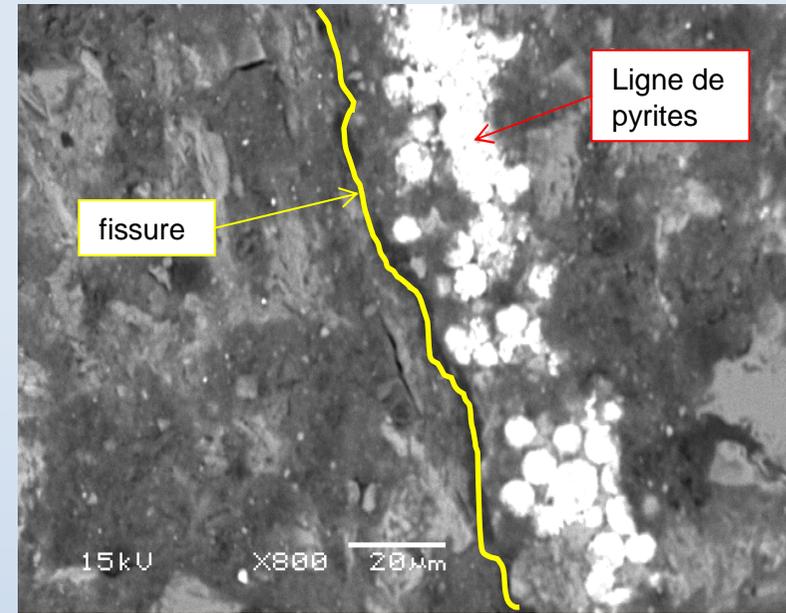
## IV. Les résultats en pétrographie

### 2. Au microscope électronique à balayage

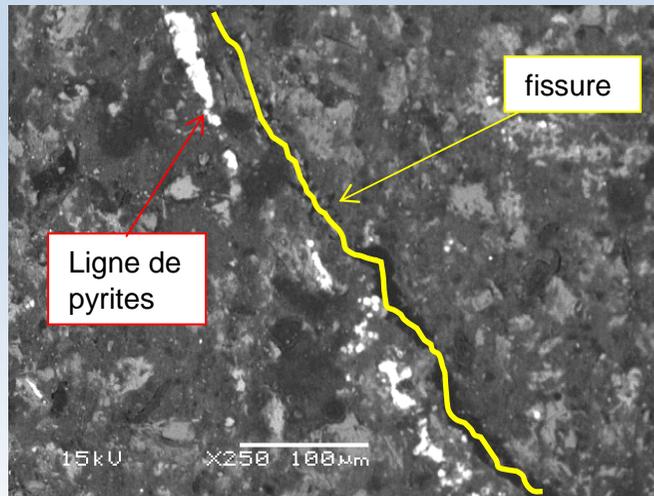


Orientation  
de la  
stratification

Cliché photographique de l'échantillon GSM135 1 par M.E.B., observations en mode électrons rétrodiffusés (BEIC) **x50**



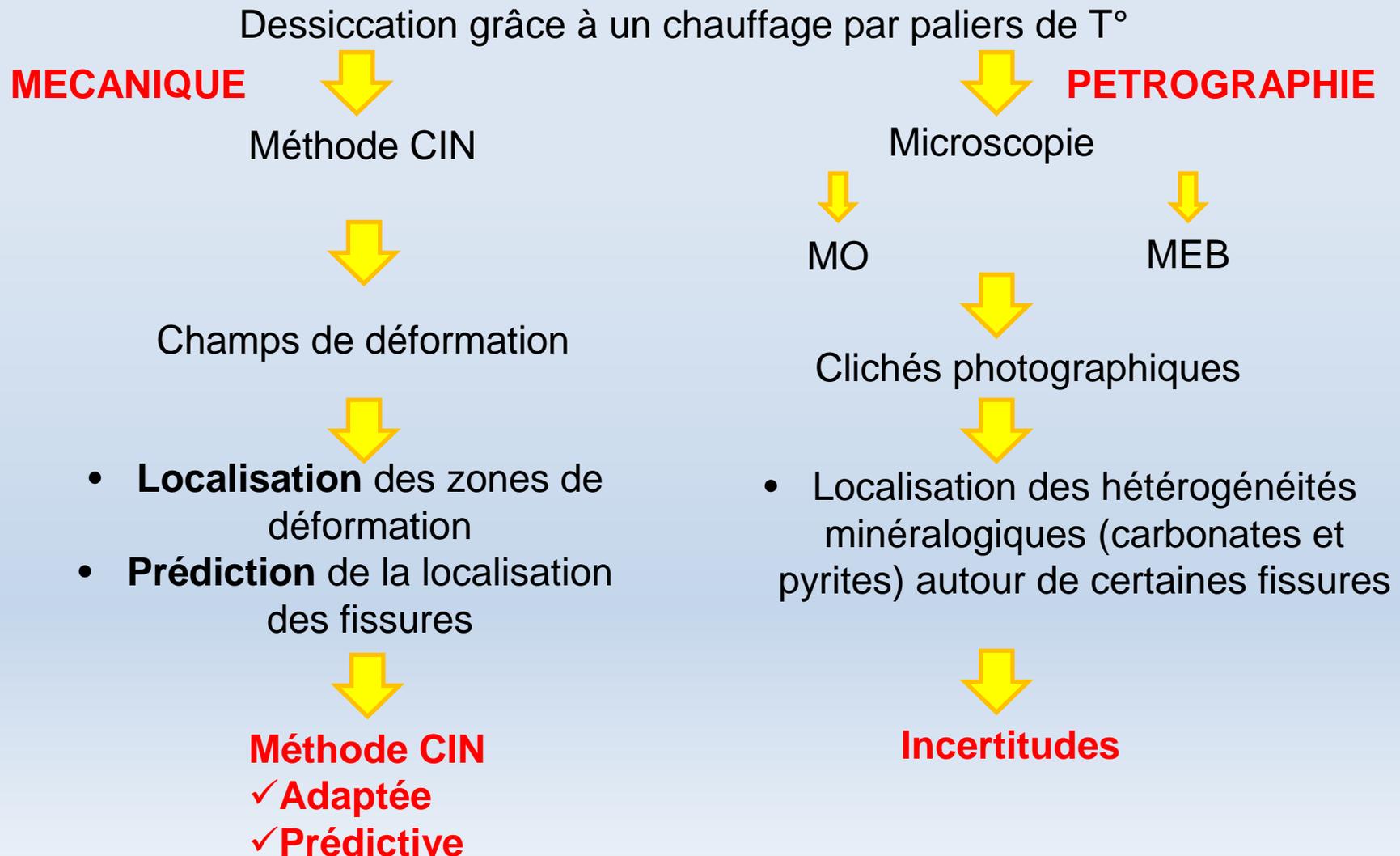
Cliché photographique de l'échantillon GSM135 1 par M.E.B., observations en mode électrons rétrodiffusés (BEIC) **x800**



Cliché photographique de l'échantillon GSM135 1 par M.E.B., observations en mode électrons rétrodiffusés (BEIC) **x250**

**La pyrite oriente-t-elle la propagation des fissures de dessiccation ?**

## CONCLUSION



# Merci de votre attention...

Contacts :

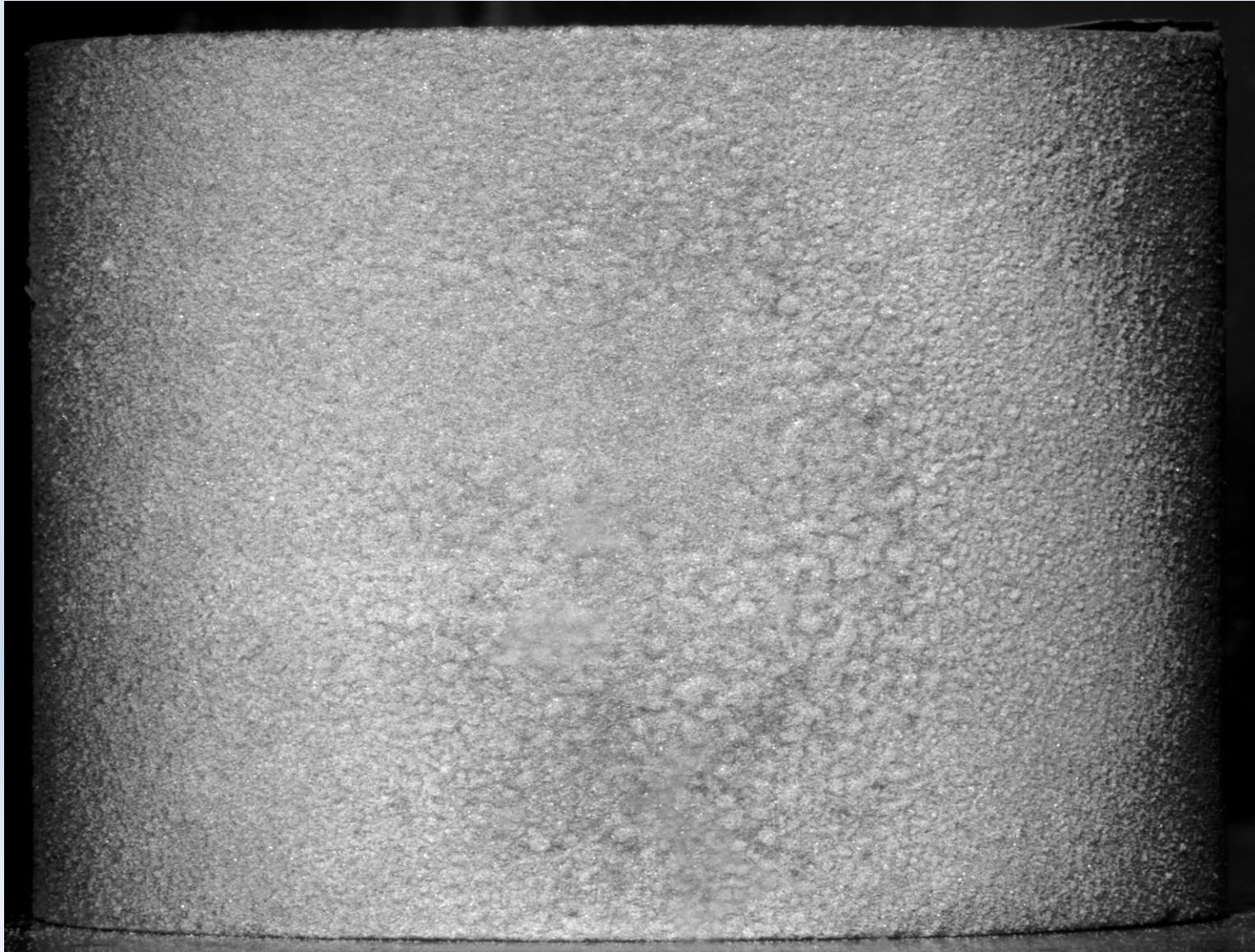
[stephen.hedan@univ-poitiers.fr](mailto:stephen.hedan@univ-poitiers.fr)

[philippe.cosenza@univ-poitiers.fr](mailto:philippe.cosenza@univ-poitiers.fr)

[anne.laure.fauchille@univ-poitiers.fr](mailto:anne.laure.fauchille@univ-poitiers.fr)

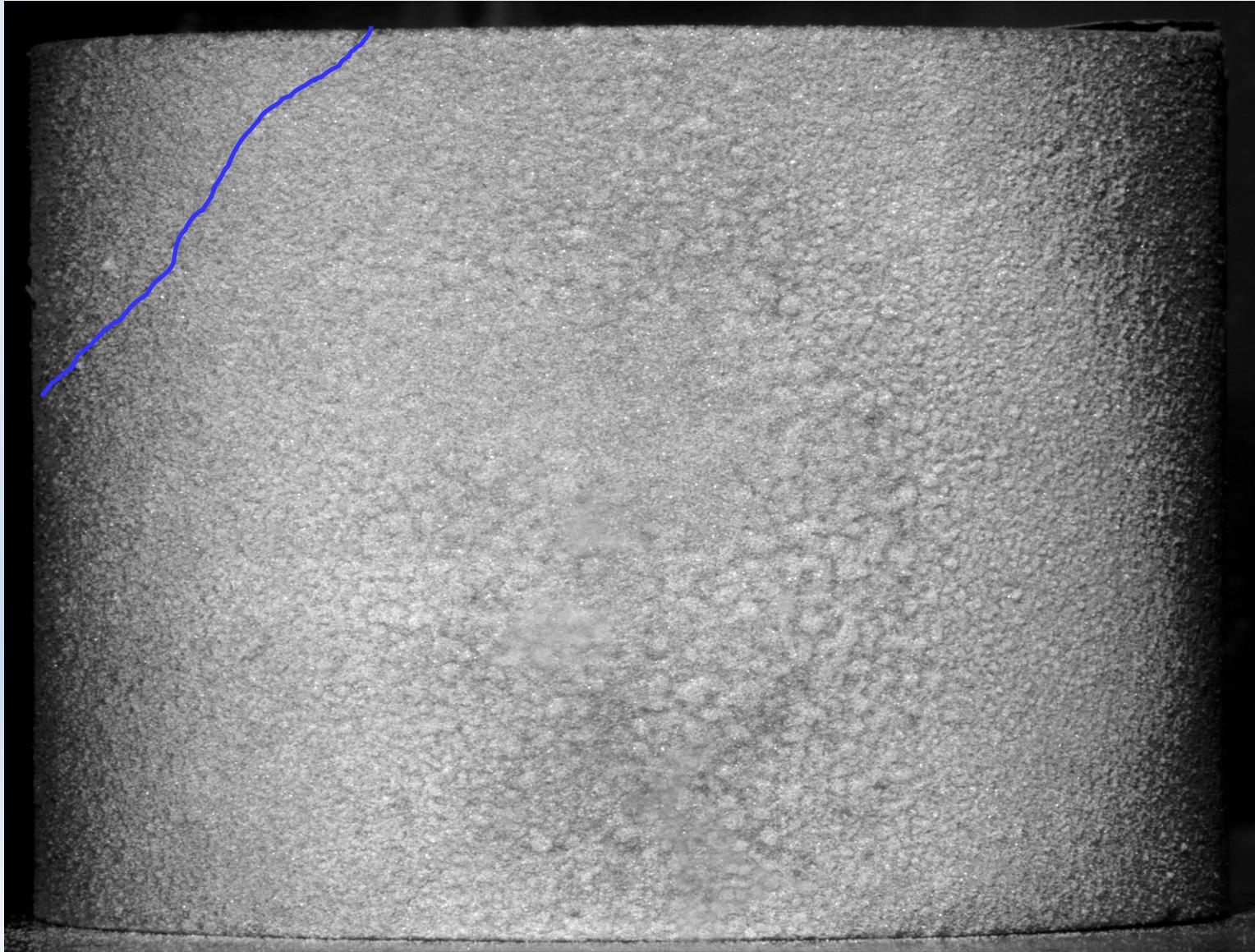
Echantillon GSM135 2

20°C et t=0 min



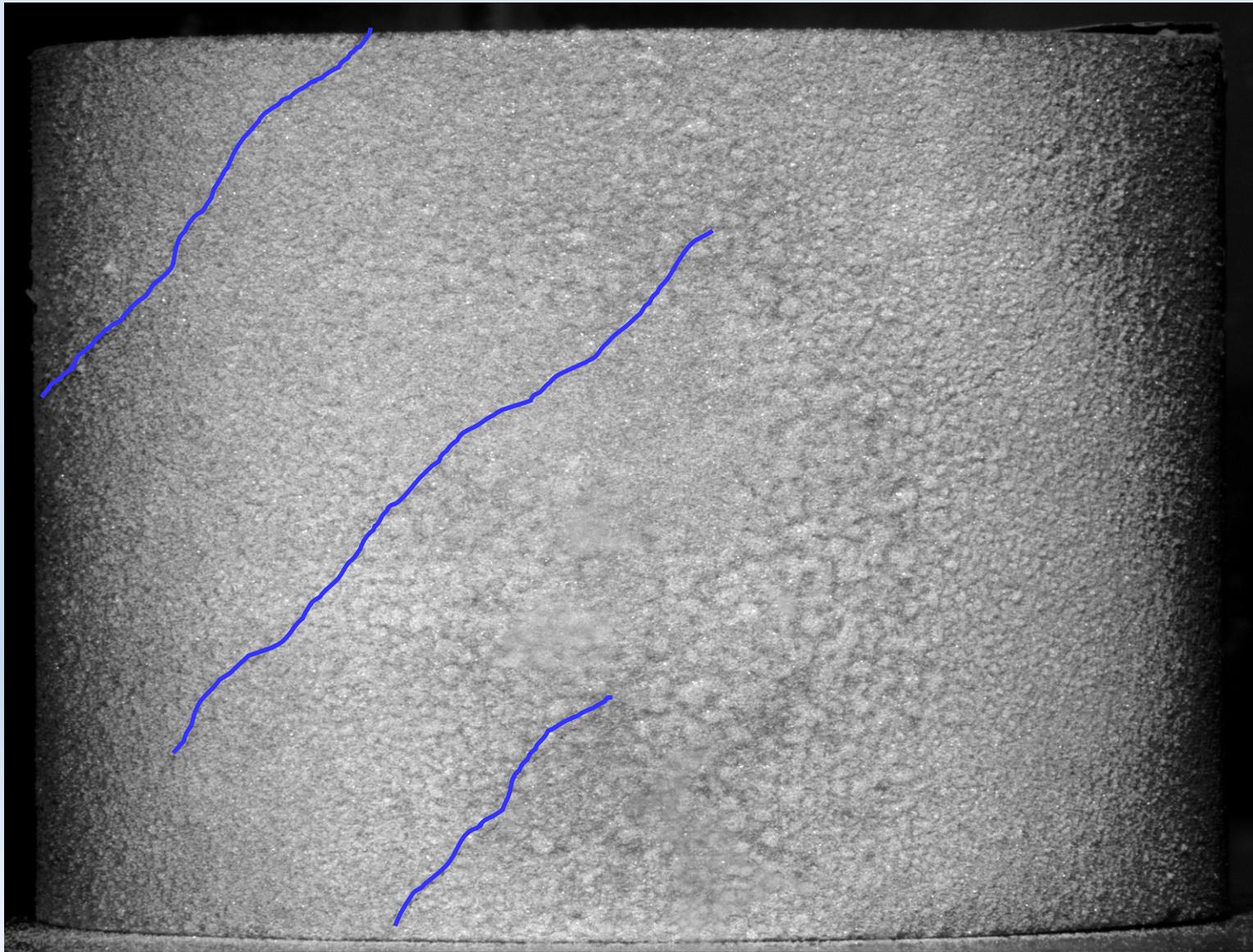
Etude expérimentale des déformations  
par dessiccation des argilites de  
/Tournemire – CFMR/10/11

**50°C et t=100 min**



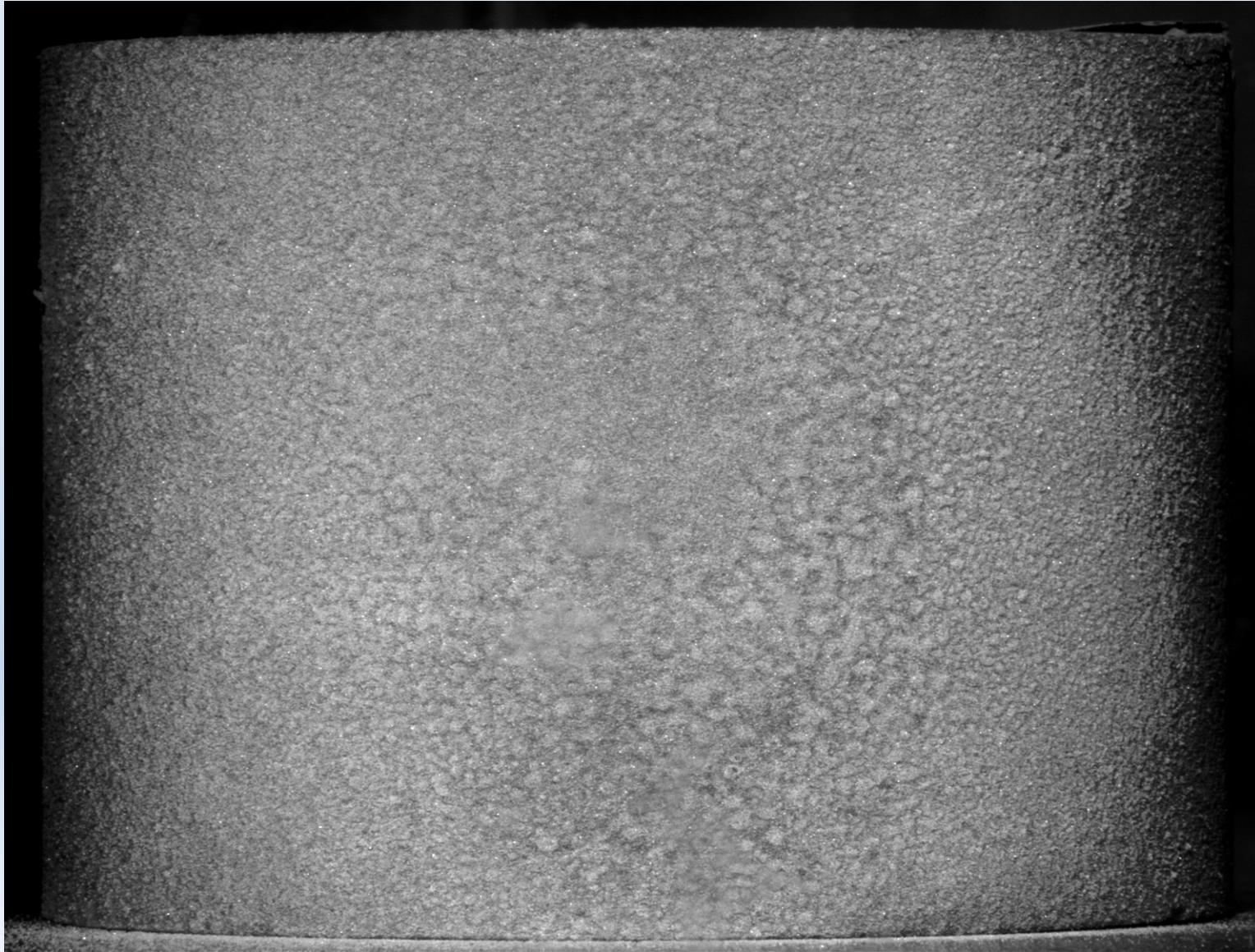
Etude expérimentale des déformations  
par dessiccation des argilites de  
/Tournemire – CFMR/10/11

**105°C et t=200 min**



Etude expérimentale des déformations  
par dessiccation des argilites de  
/Tournemire – CFMR/10/11

**150°C et t=378 min**



Etude expérimentale des déformations  
par dessiccation des argilites de  
/Tournemire – CFMR/10/11