

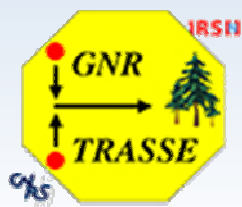
Etude expérimentale des déformations par dessiccation des argilites de Tournemire

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

^a : Université de POITIERS, Laboratoire HydrASA, UMR6269, ENSIP

^b : Université de POITIERS, Institut PPRIME, UPR3346

^c 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 μ Eye
1,2 Mp
1280x1024 pixels²

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)

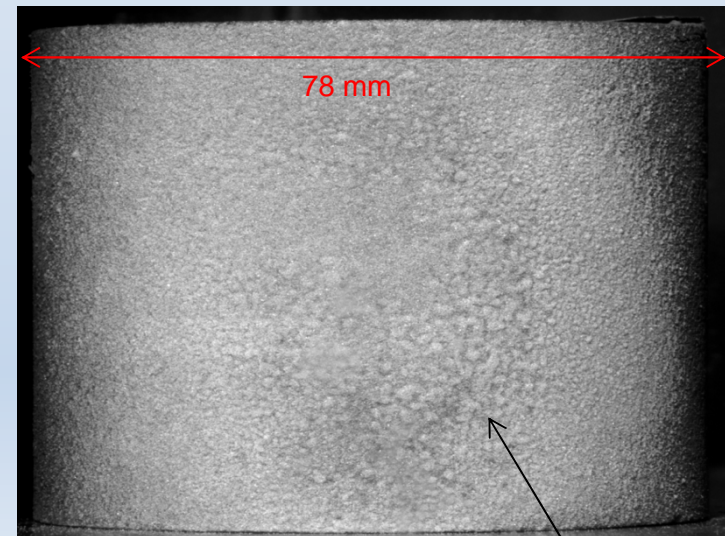
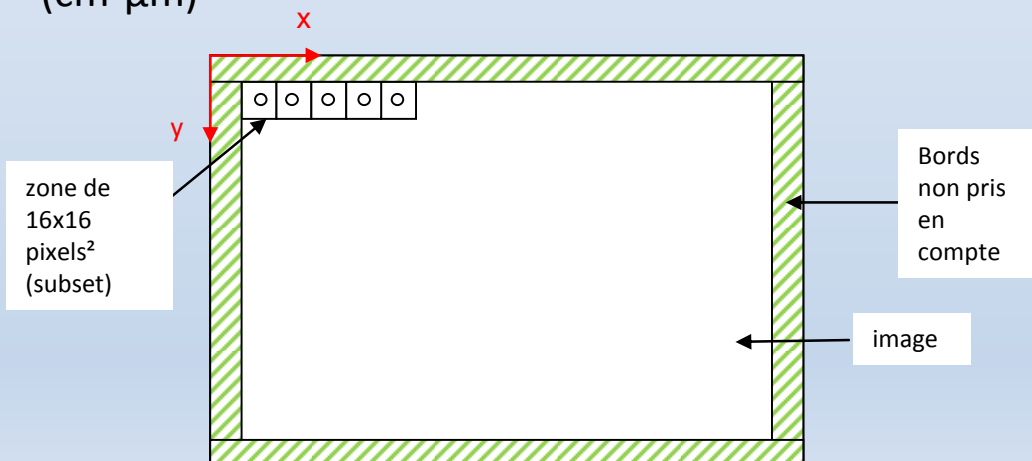


II. La méthode de corrélation d'images numériques

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- μ m)



- Chaque image est **découpée** en N zones d'études de 16x16 pixels²
1 image=1280x1024 pixels²
champ d'analyse=936x840 pixels²

Mouchetis (sable d<100 μ m)

II. La méthode de corrélation d'images numériques

2. Calcul des déplacements et des déformations

- Les déplacements U_x et U_y

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

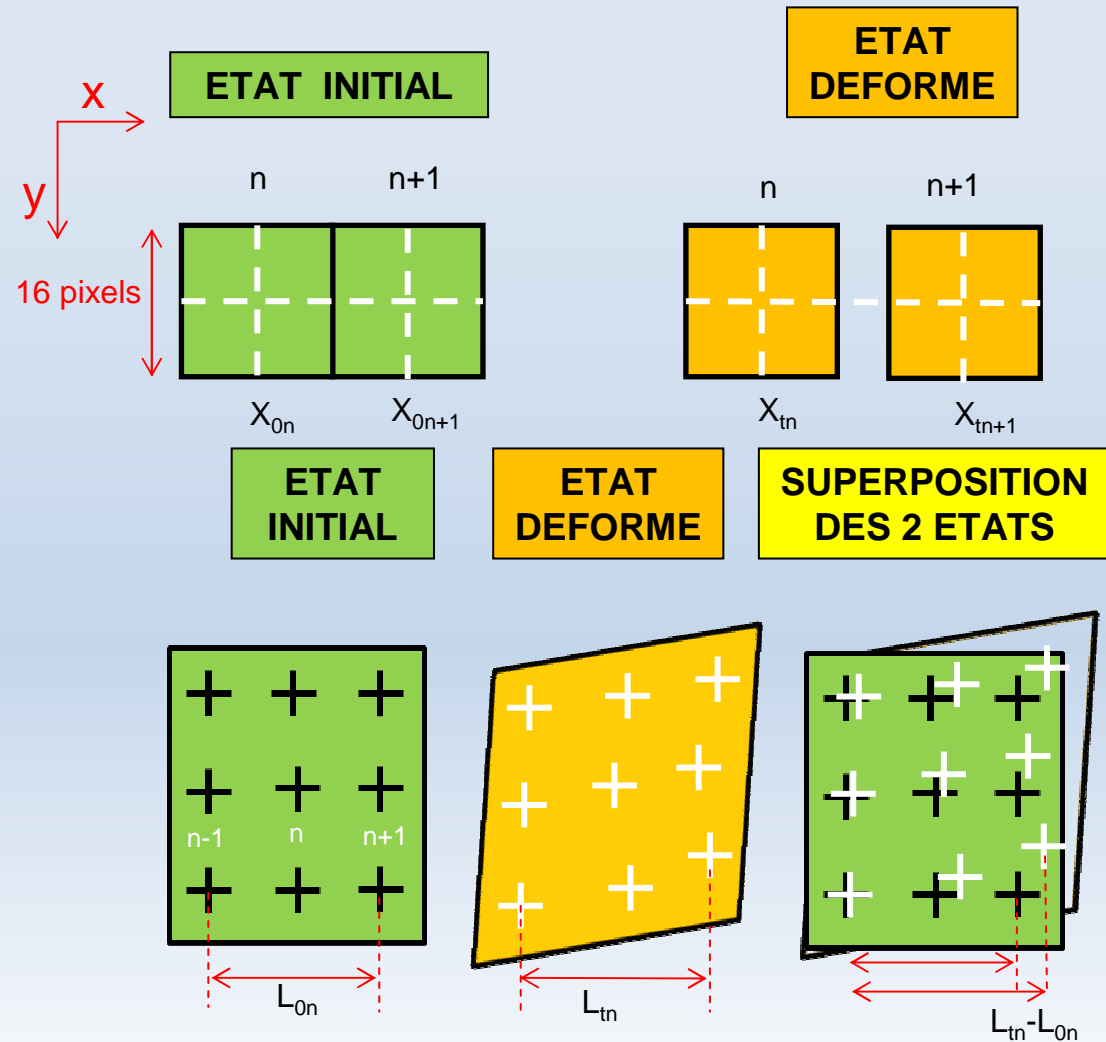
$$U_y = Y_{tn} - Y_{0n}$$

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

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

➔ ϵ_1 et ϵ_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°**

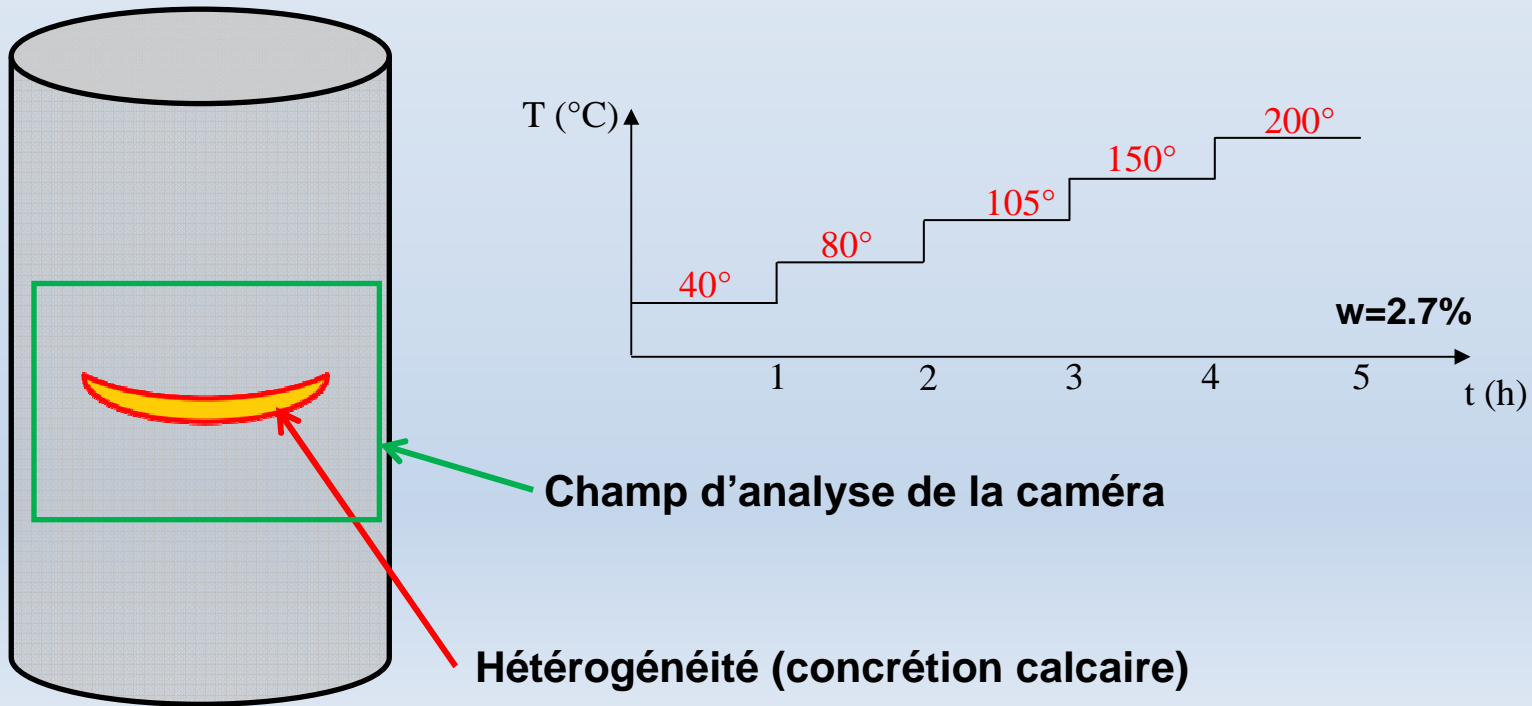
Forages	GSM135		GSM180	FD90
Profondeur à partir de la galerie (m)	3,3	3,5	3,8	2,2
Longueur (mm)	200	70	70	70
T(°C)	40-200	50-200	50-200	50-150
Temps cumulé du chauffage (h)	5,0	8,0	8,0	6,0

III. Les résultats en mécanique

2. Sollicitation thermique de l'échantillon GSM135 1

GSM135 1 : 1 carotte $\varnothing 78$ mm et L=200mm

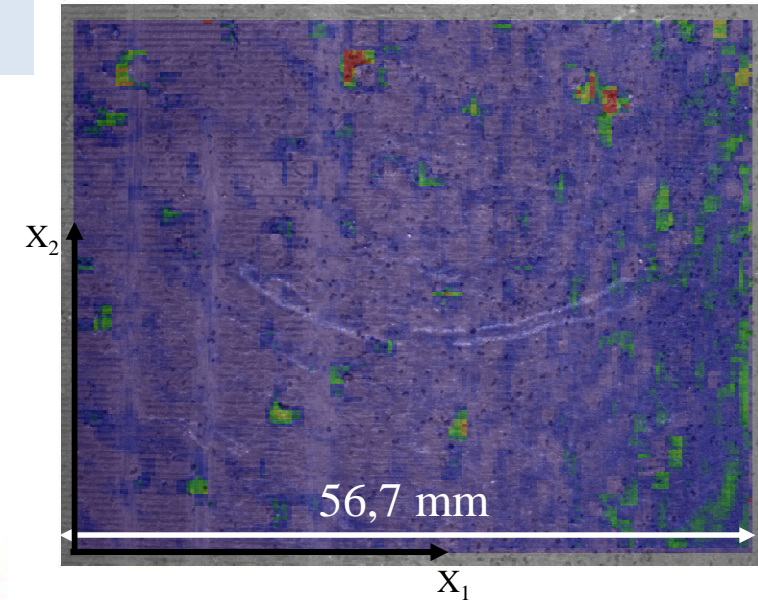
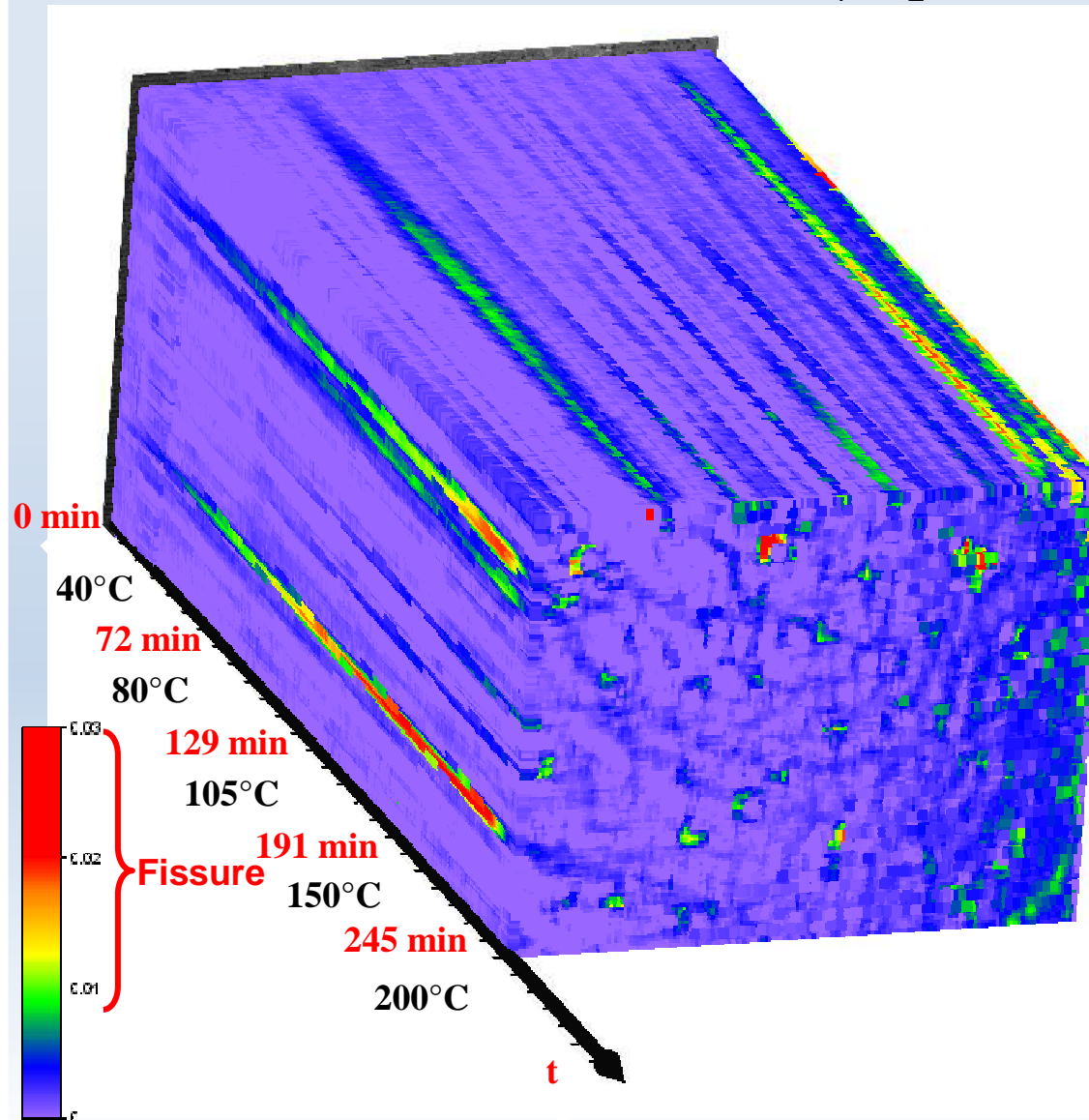
➔ Mesures de ε + lames minces après dessiccation



III. Les résultats en mécanique

2. Sollicitation thermique de l'échantillon GSM135

Champ de déformation principale ε_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

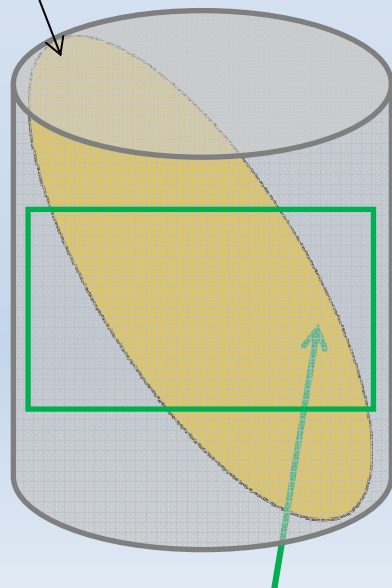
III. Les résultats en mécanique

3. Sollicitation thermique de l'échantillon GSM135 2

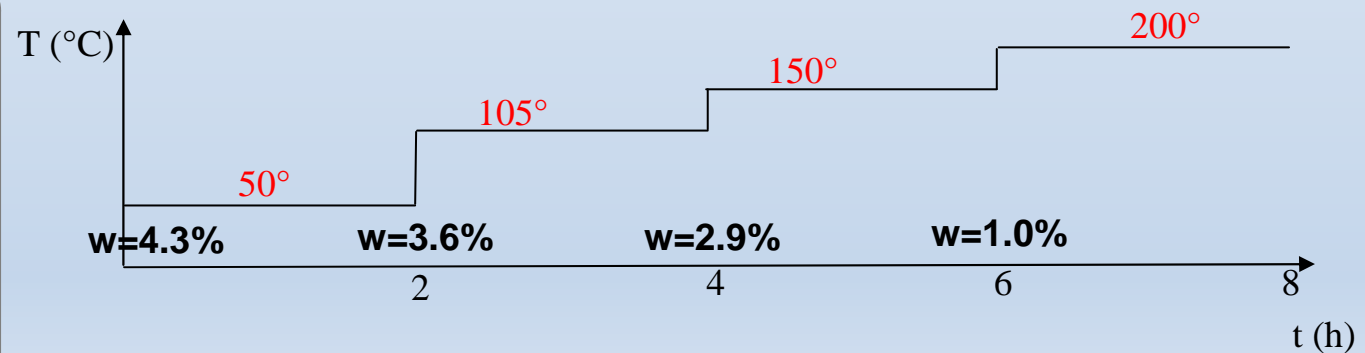
GSM135 2 : 1 carotte découpée en 3 :

- 1 Ø78 mm et L=70mm → **Mesures de ϵ + 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°)



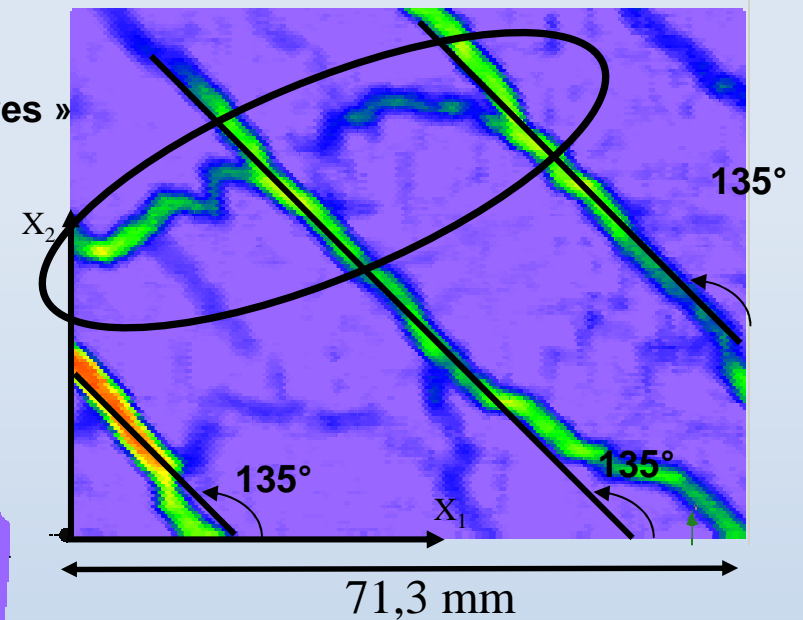
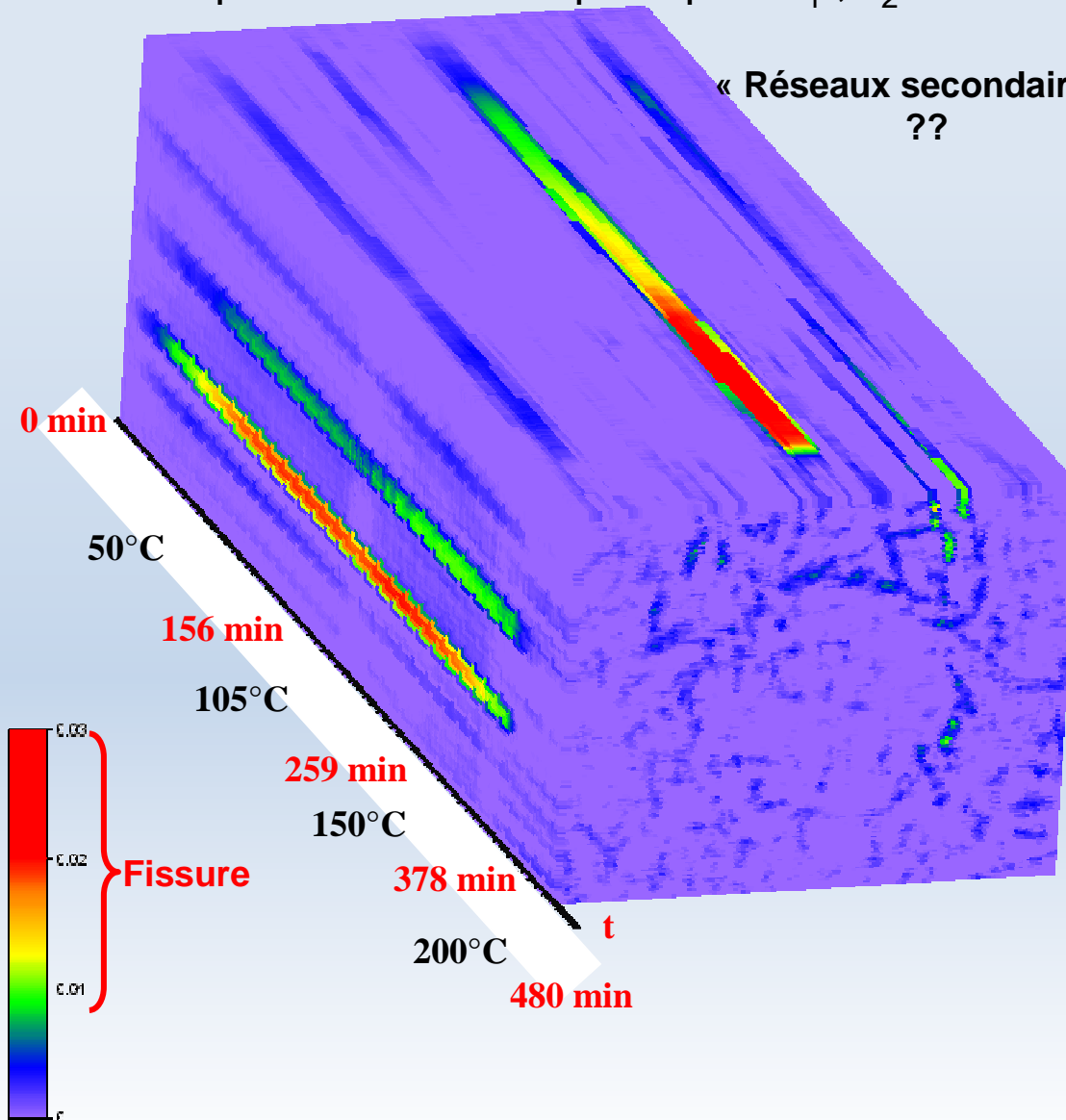
Champ d'analyse de la caméra



III. Les résultats en mécanique

3. Sollicitation thermique de l'échantillon GSM135 2

Champ de déformation principale ε_1 ; $\varepsilon_2 \approx 0$



CONCLUSION

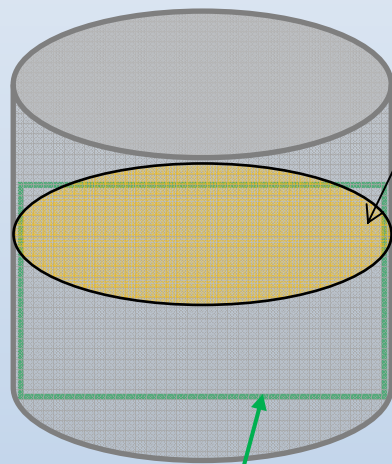
- Début sollicitation thermique (50°C) → **Localisation (concentration)** des déformations
- **Apparition** de fissures macroscopiques
- Fissures **suivent** la stratification
- « **Fermeture** » des fissures $\approx 150^\circ\text{C}$
- Présence de « **réseaux secondaires** »??

III. Les résultats en mécanique

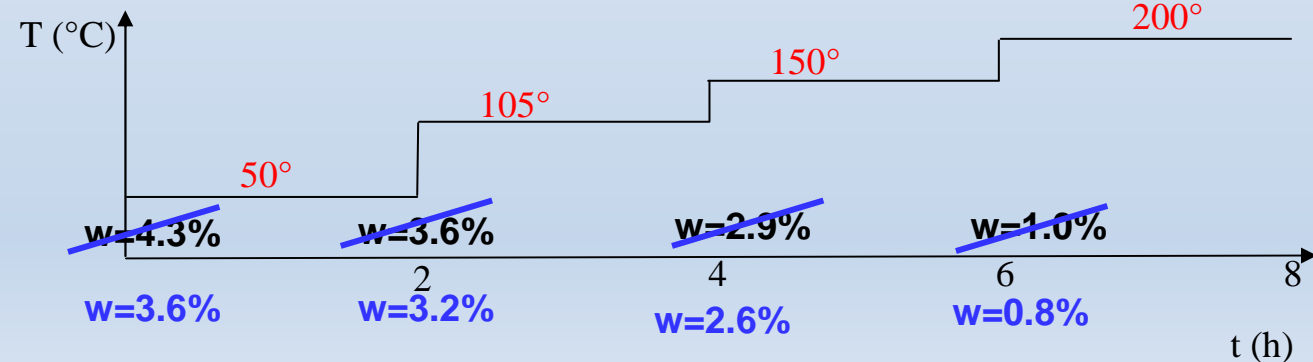
4. Sollicitation thermique de l'échantillon GSM180

GSM180 : 1 carotte découpée en 3 :

- 1 Ø86 mm et L=70mm ➡ **Mesures de ϵ + 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

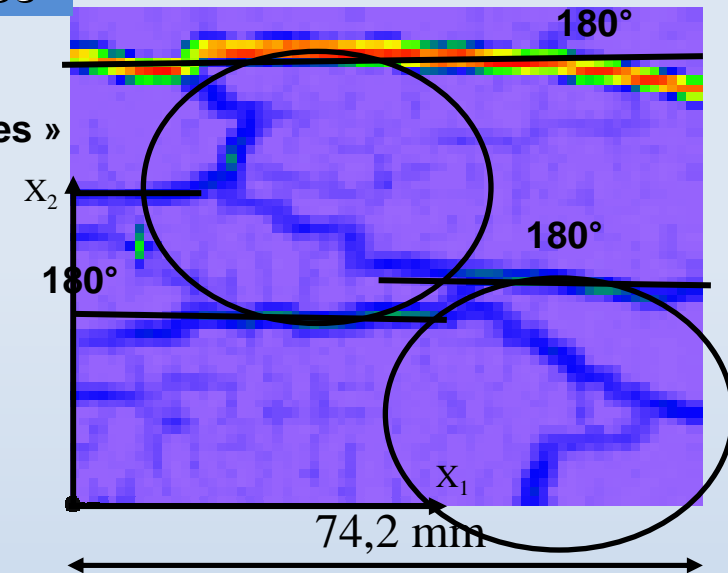
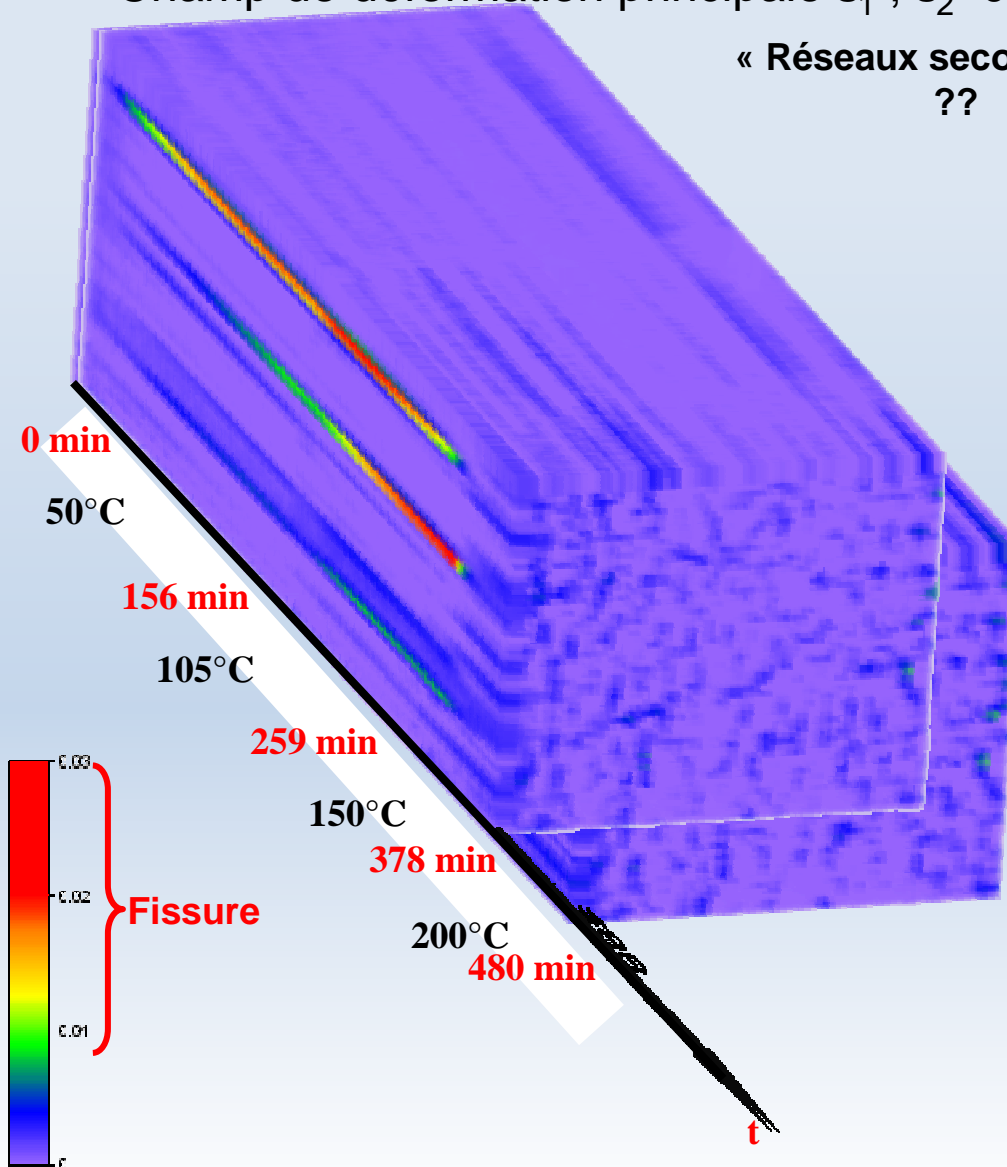


Champ d'analyse de la caméra

III. Les résultats

4. Sollicitation thermique de l'échantillon GSM180

Champ de déformation principale ε_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** » ??

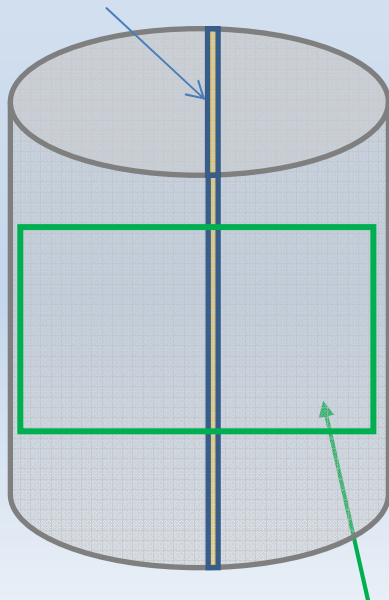
III. Les résultats en mécanique

5. Sollicitation thermique de l'échantillon FD90

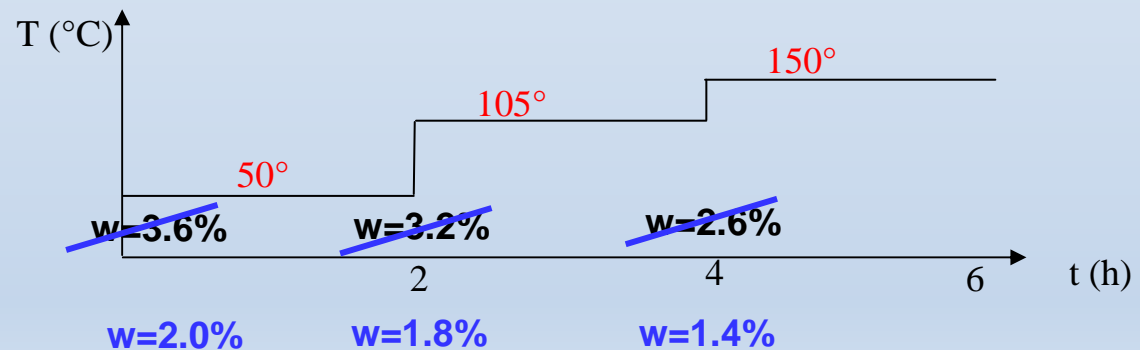
FD90 : 1 carotte découpée en 5 :

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

Plan de stratification



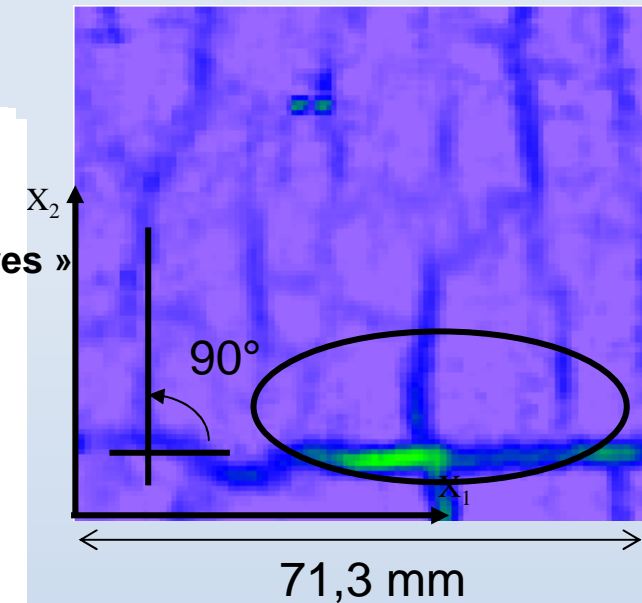
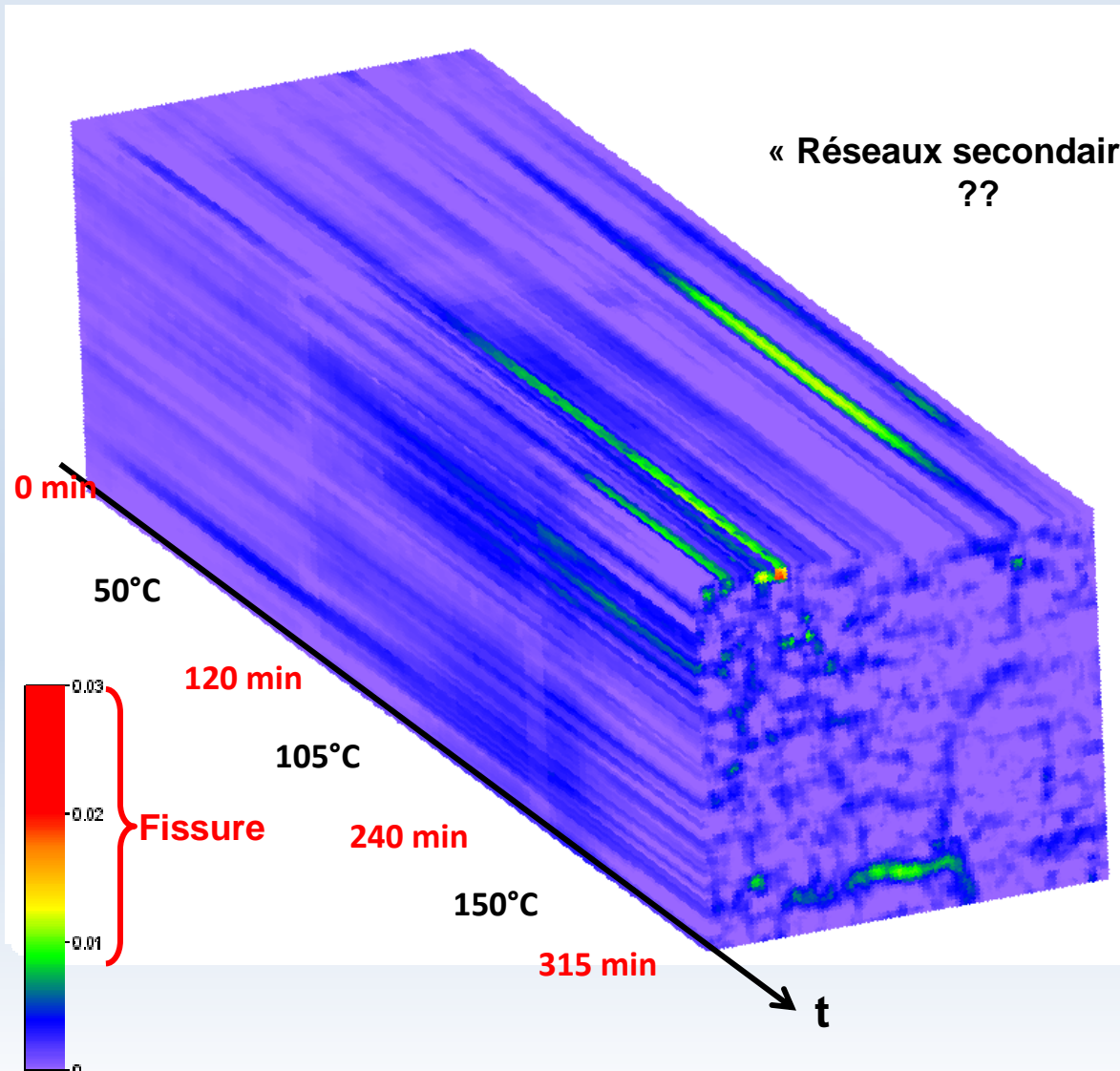
Champ d'analyse de la caméra



III. Les résultats en mécanique

5. Sollicitation thermique de l'échantillon FD90

Champ de déformation principale ε_1 ; $\varepsilon_2 \approx 0$

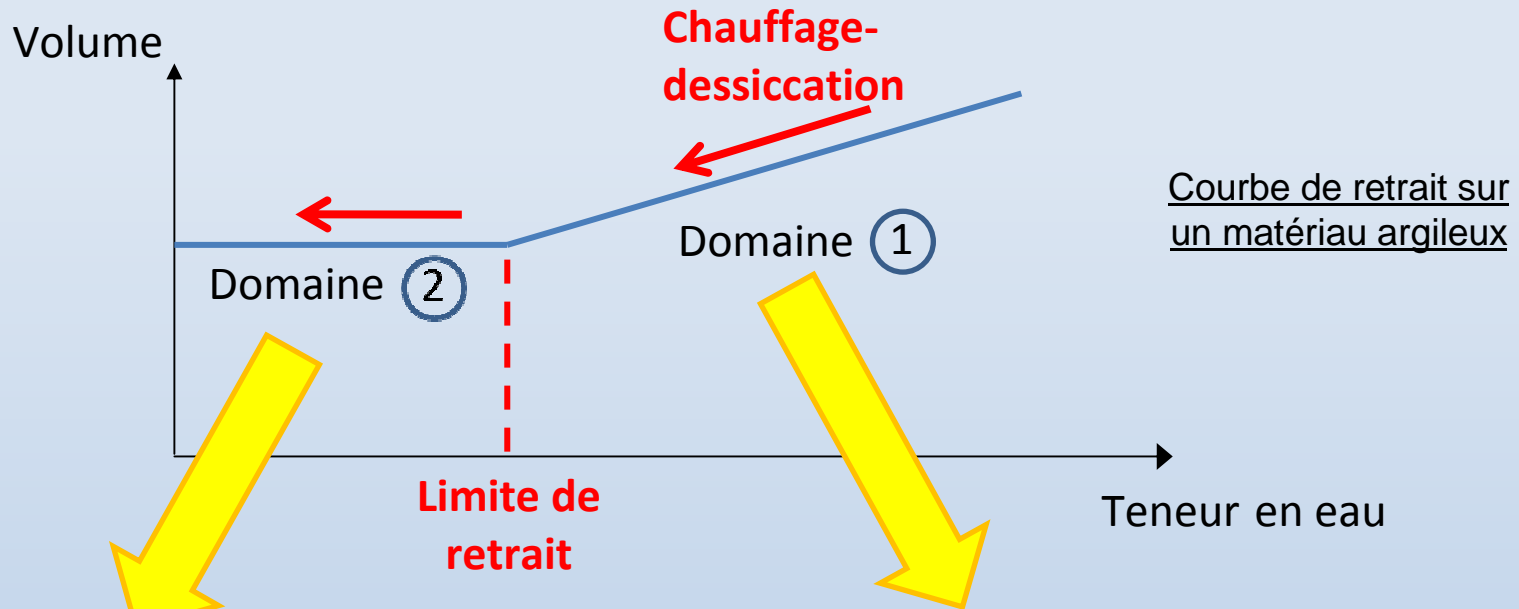


CONCLUSION

- 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 ?

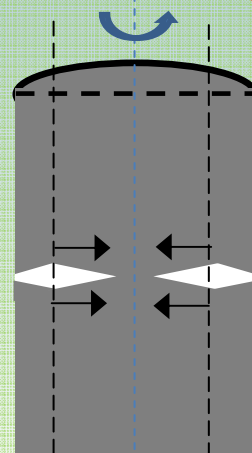
⇒ Proposition d'une hypothèse



Domaine ②

- retrait ≈ 0
- la dilatation thermique domine

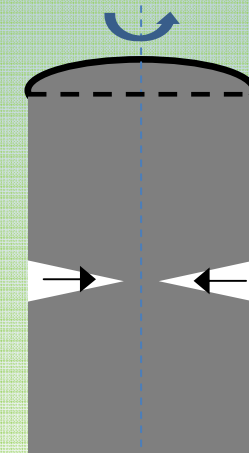
⇒ Arrêt propagation des fissures
⇒ Fermeture depuis la surface



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



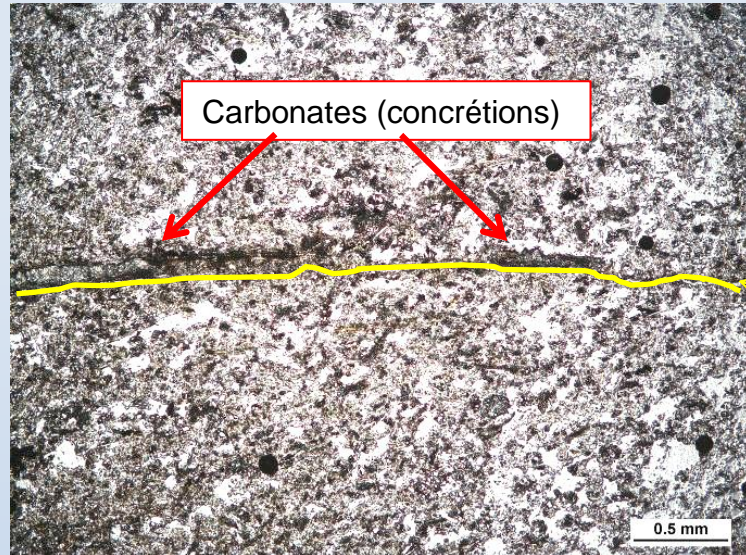
**Microscope
optique (MO)**



**Microscope électronique
à balayage (MEB)**

IV. Les résultats en pétrographie

1. Au microscope optique



↔
Orientation de la stratification

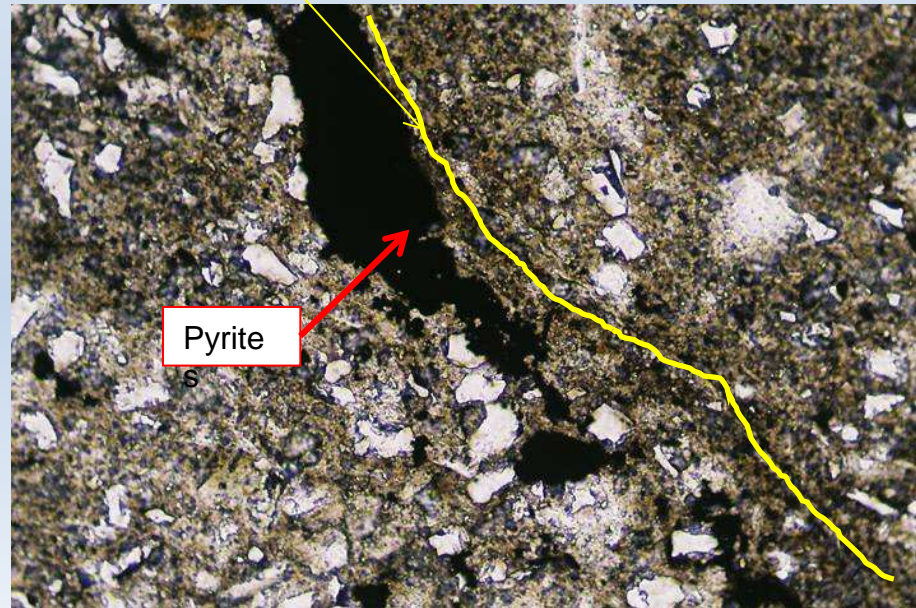
fissure

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 ?**

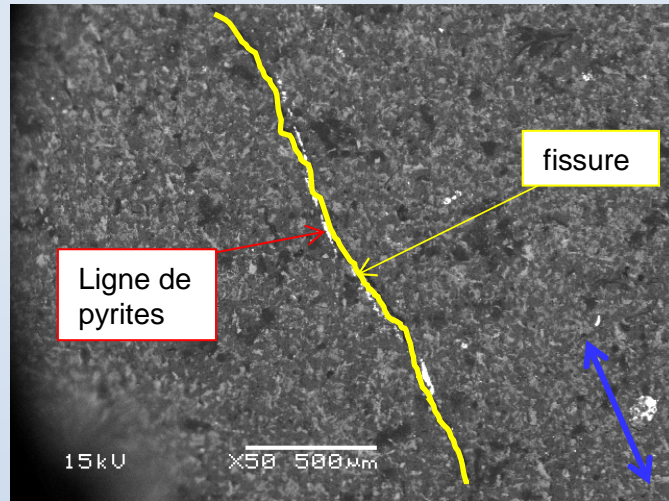
➡ MEB



↔
Orientation de la stratification

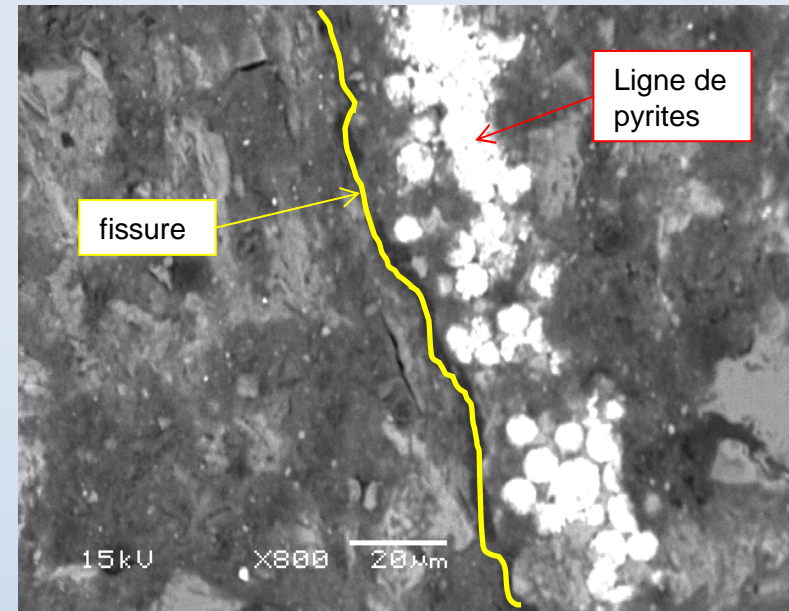
IV. Les résultats en pétrographie

2. Au microscope électronique à balayage

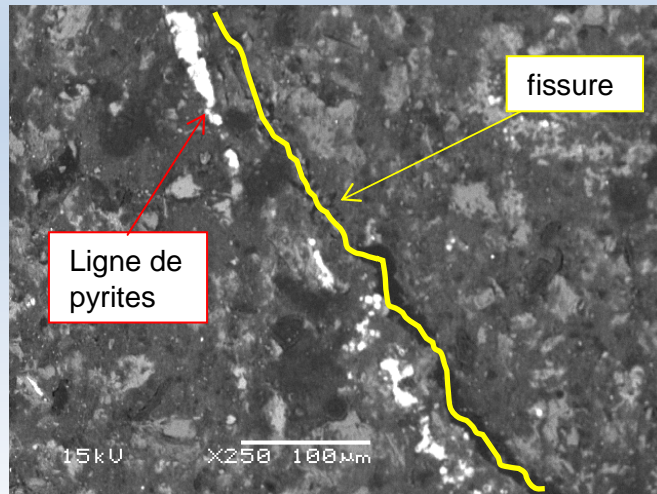


Orientation
de la
stratification

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



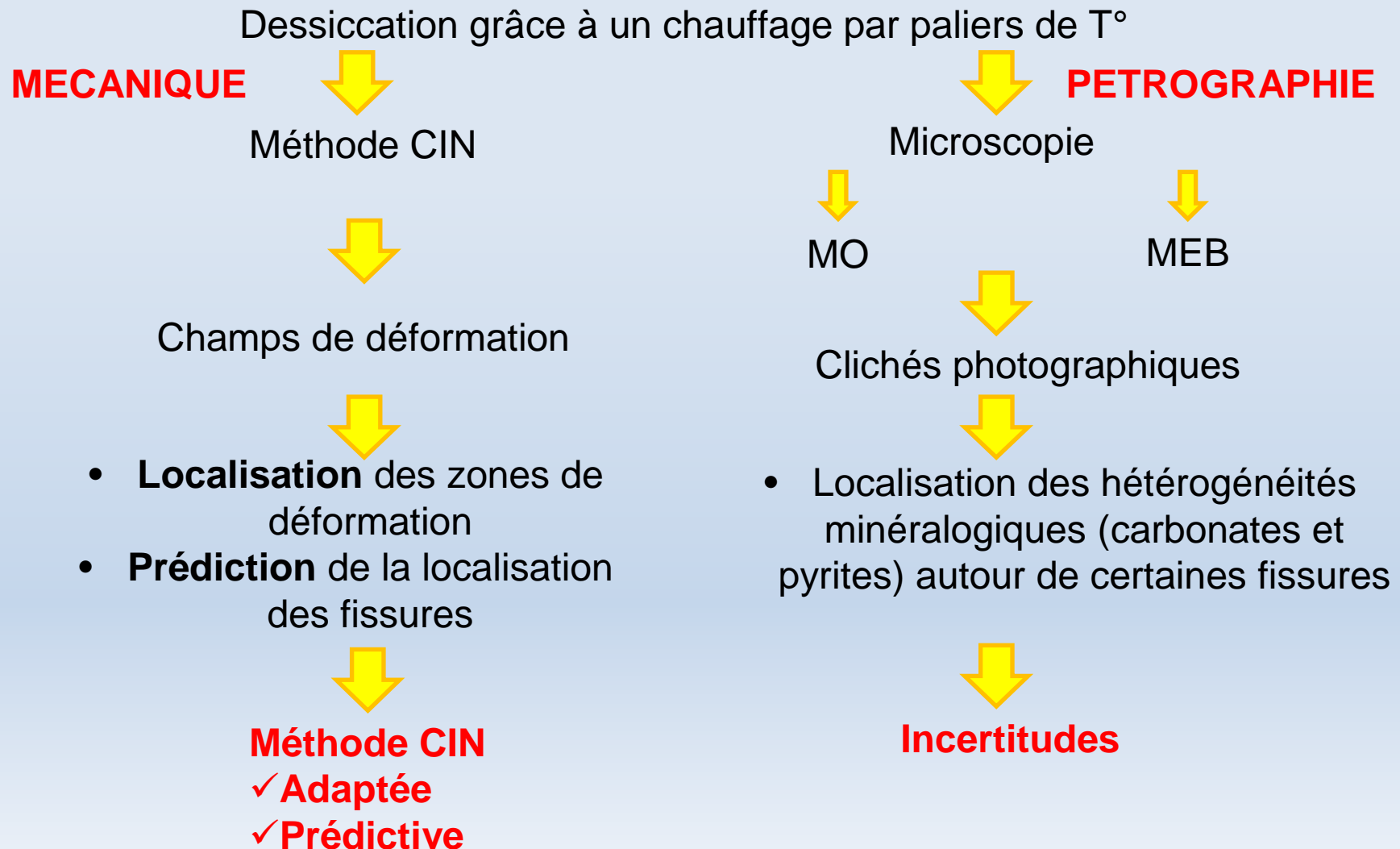
Cliché photographique de l'échantillon GSM135 1 par M.E.B., observations en mode électrons rétrodiffusés (BEIC) **x800**



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 :

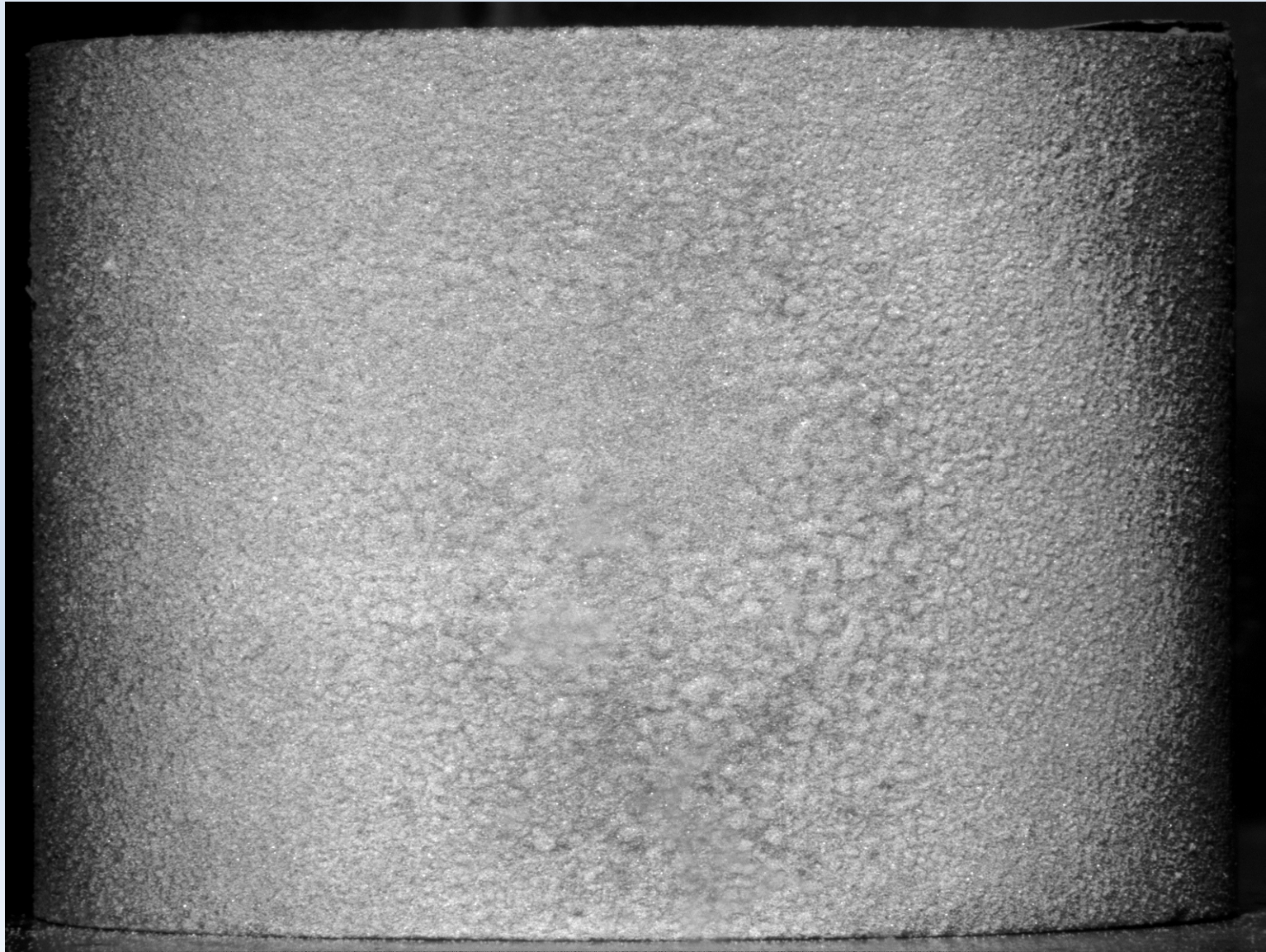
stephen.hedan@univ-poitiers.fr

philippe.cosenza@univ-poitiers.fr

anne.laure.fauchille@univ-poitiers.fr

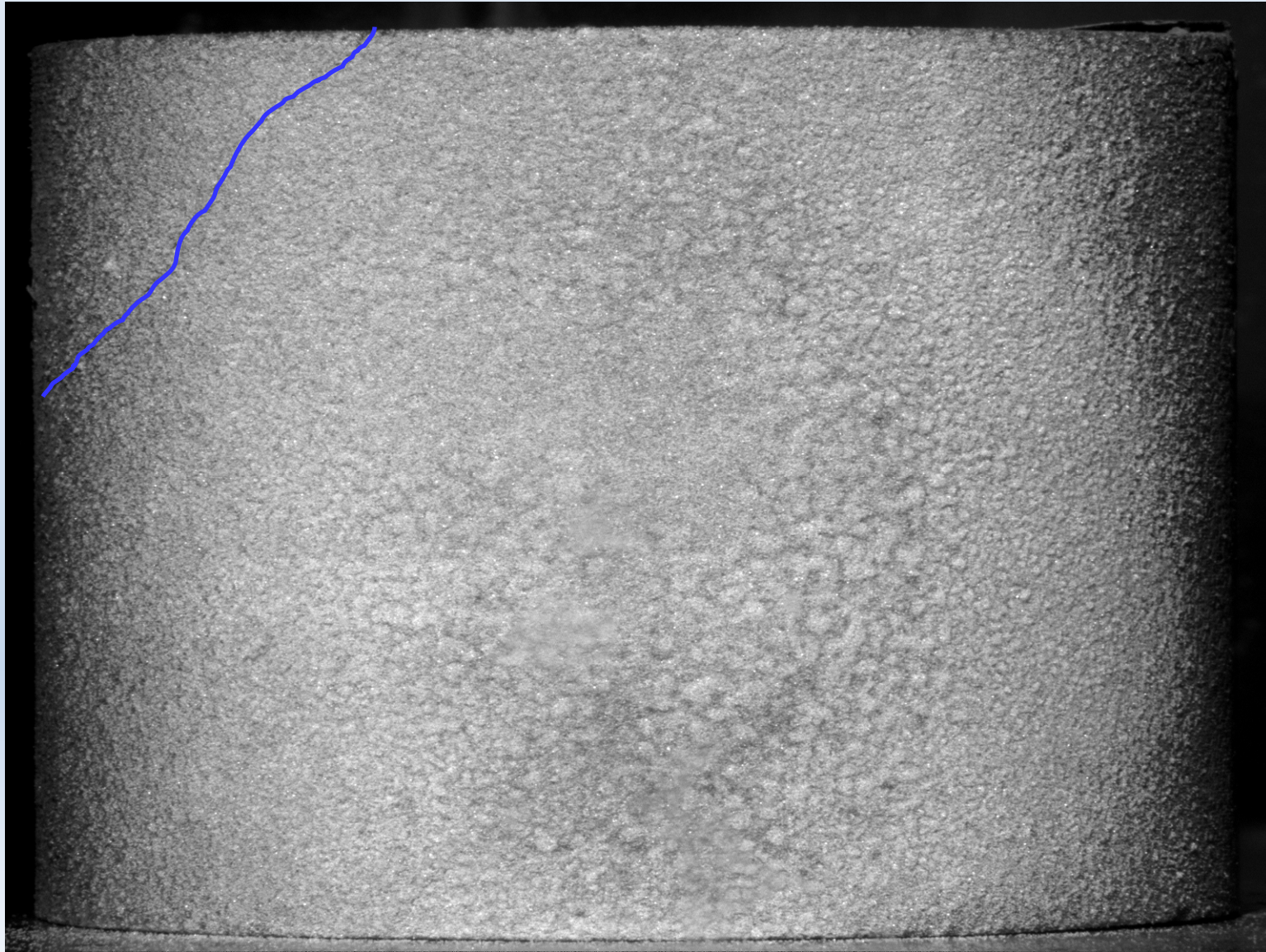
Echantillon GSM135 2

20°C et t=0 min



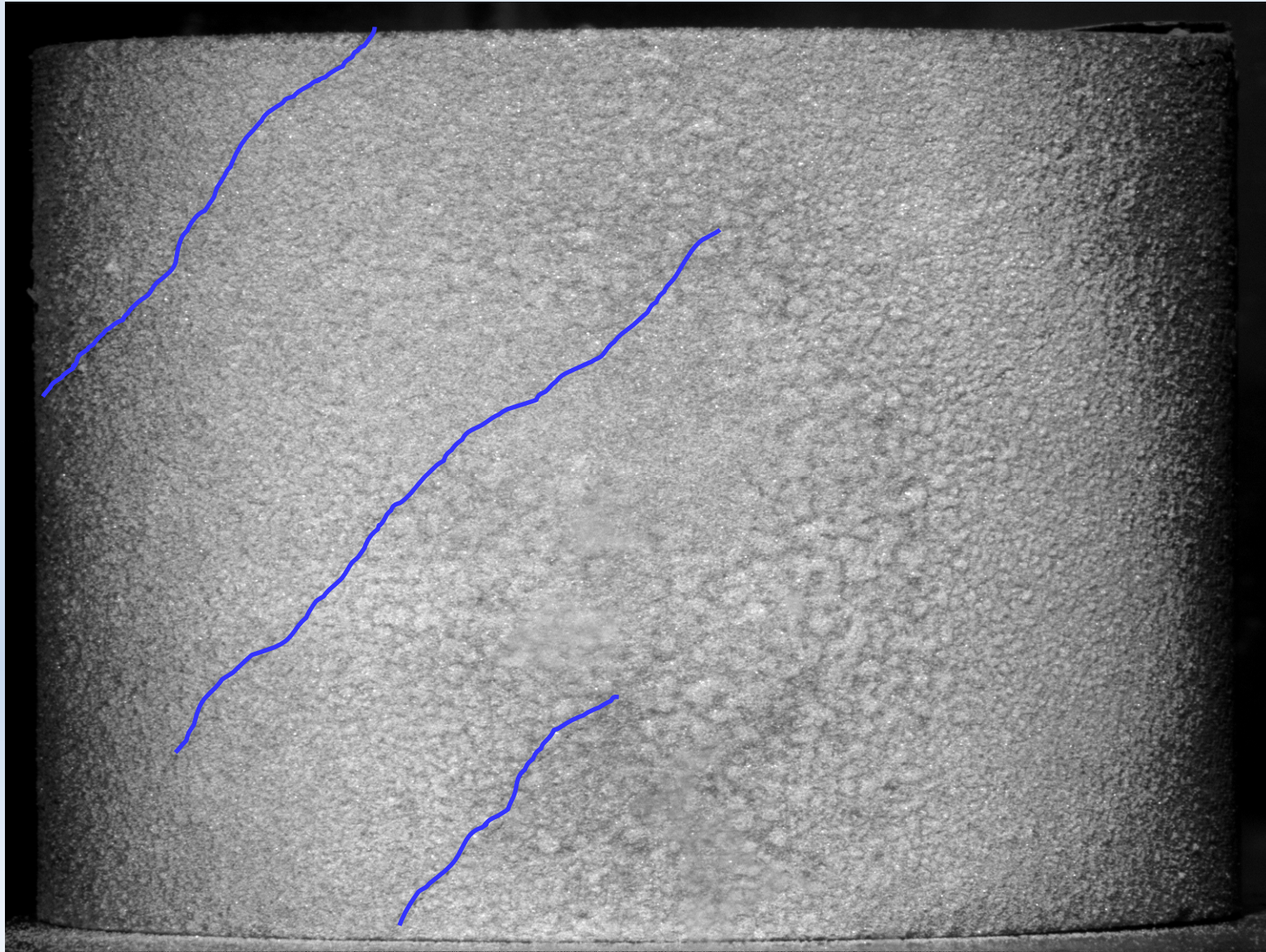
Etude expérimentale des déformations
par dessiccation des argilites de
/Tournemire – CFMR/10/11

50°C et t=100 min



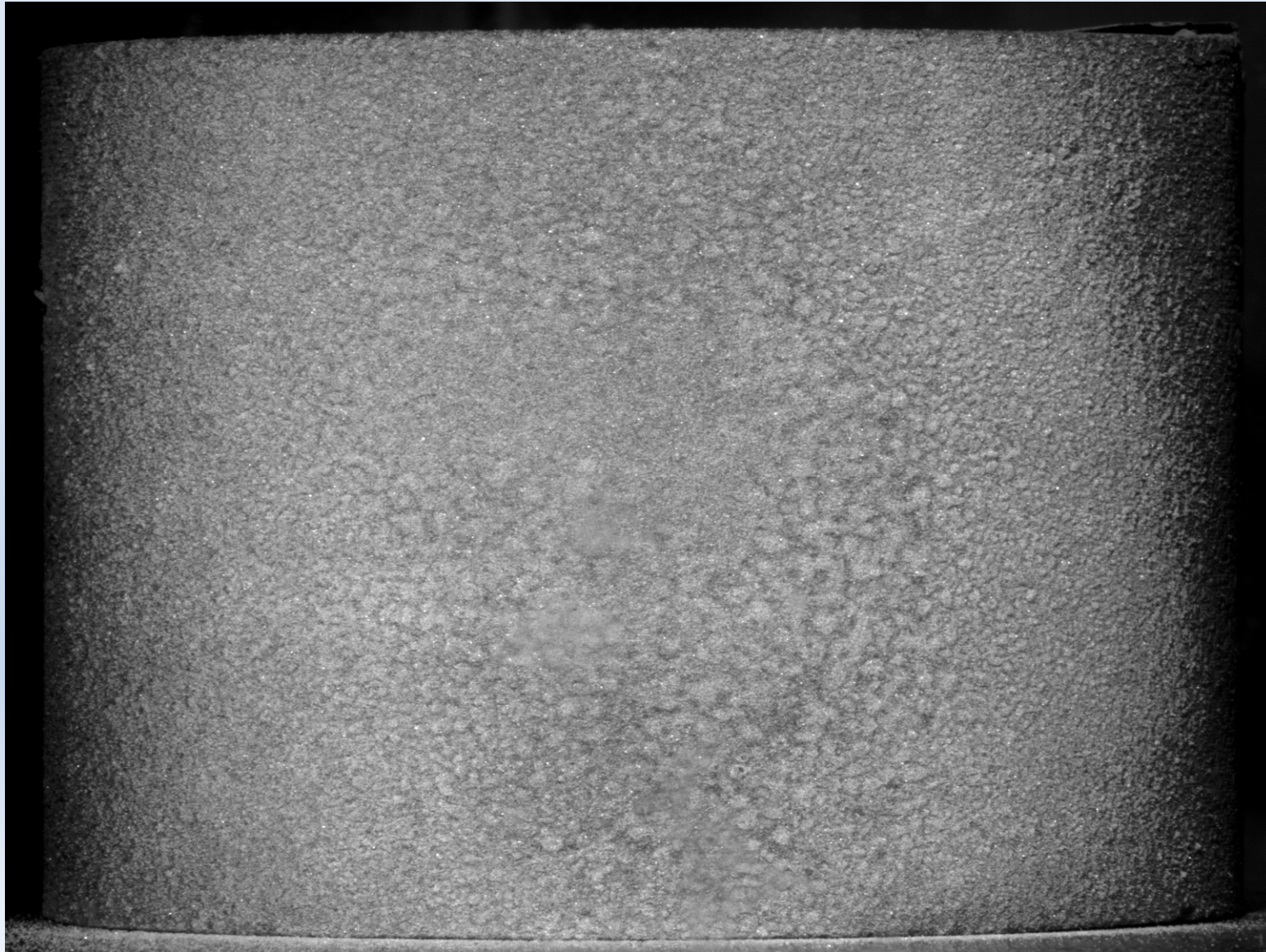
Etude expérimentale des déformations
par dessiccation des argilites de
/Tournemire – CFMR/10/11

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