

Apport de l'imagerie thermique en géologie appliquée

État de l'art et test in situ

Objectifs

- État de l'art:** établir les applications de l'imagerie multi-spectrale dans le domaine de la géologie et de l'hydrogéologie (potentiels et limitations)
- Phase test:** approfondissement de l'imagerie thermique → mesures au sol sur un site test
- Analyse des données:** discuter les caractéristiques qui peuvent être déterminés grâce à l'analyse des variations de température, en particulier évaluer l'apport dans la détection de la stabilité des blocs de roche et du degré de fracturation d'une paroi rocheuse

Phase test

Site: Falaise «la Glapière» à Chamonix (Haute-Savoie), paroi rocheuse calcaire fracturée, problématique de chute de blocs

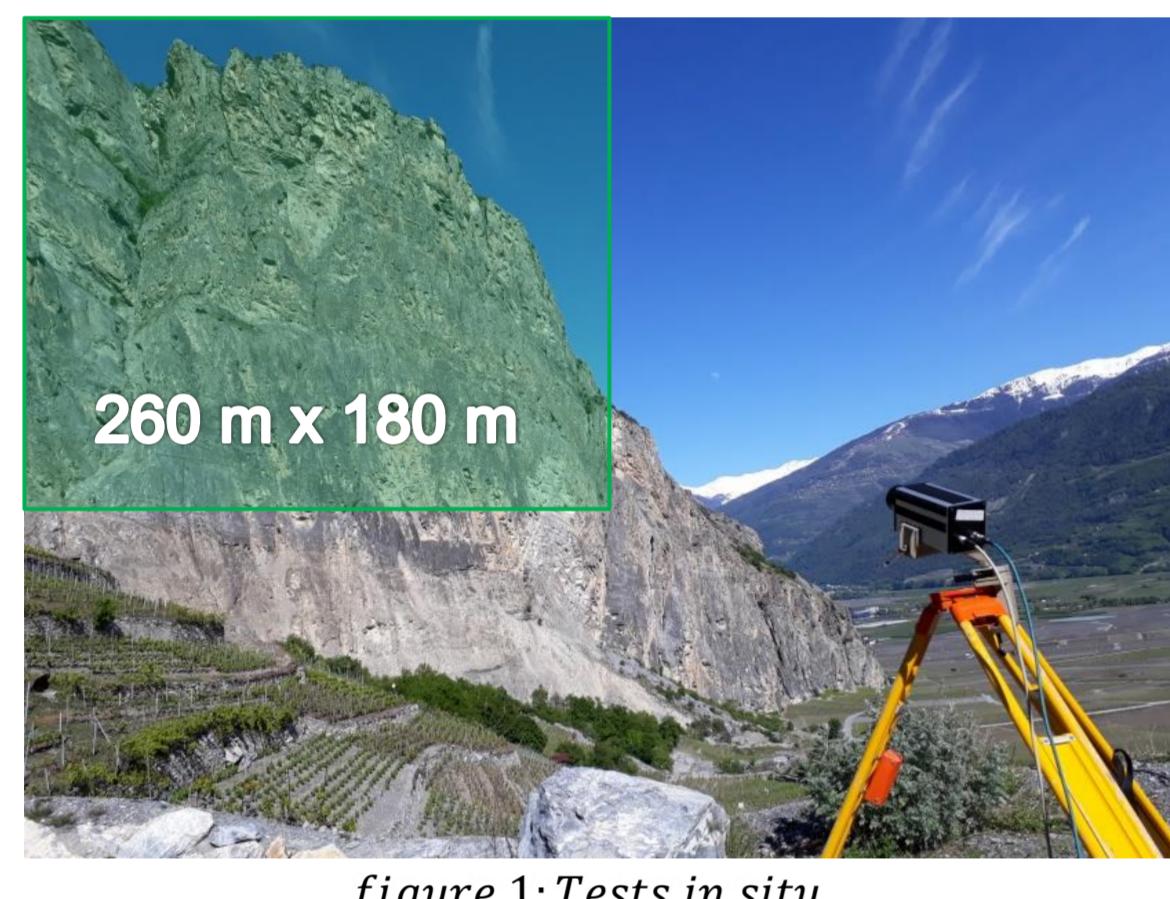


figure 1: Tests in situ

Mesures en continu (0.4 Hz): 06:00-21:45

- Journée ensoleillée
- Caméra thermique PYROVIEW 640L
 - Dimensions image: 640 × 480 pixels
 - Dimensions pixel: 39 cm x 39 cm

Levé par drone: modèle 3D en haute résolution, aide dans la localisation des éventuelles anomalies thermiques

État de l'art

Visible

700 nm - 400 nm

Potentiels: Modélisation 3D (UAV ou laser scanner), extraction de paramètres géomorphologiques, plans d'inclinaison, fissurations. Déformations de la paroi en superposant plusieurs images

Limitations: Comparaison difficile pour déplacements petits

Proche infrarouge

10 μm - 0,7 μm

Potentiels: Localisation de la végétation, la discontinuité peut être liée au phénomène du glissement (NDVI)

Limitations: Zones d'ombre

Infrarouge thermique

7.5 μm - 13 μm

Potentiels: Présence de discontinuités structurelles: l'aire circule à l'intérieur des cavités → réchauffement/refroidissement de la roche. Humidité et zone d'infiltration: refroidissement de la surface engendré par l'évaporation de l'eau

Limitations: Résolution faible, outil complémentaire, la couverture végétale doit être minimale, complexité du modèle qui lie température de la surface, circulation de l'eau et stabilité de la roche

Microondes

1 m - 1 mm

Potentiels: SAR (Synthetic Aperture Radar) : utilisation possible pendant la nuit ou en présence de nuages. Détection de déformations très petites (< 1 cm)

Limitations: Coûts élevés

Analyse des données

Hypothèses: Vitesse de réchauffement très faible dans les fissures (pas exposées au soleil). La présence de fractures internes ou externes augmente la perte de chaleur de la roche vers l'extérieur → lien entre gradient de température et stabilité des blocs

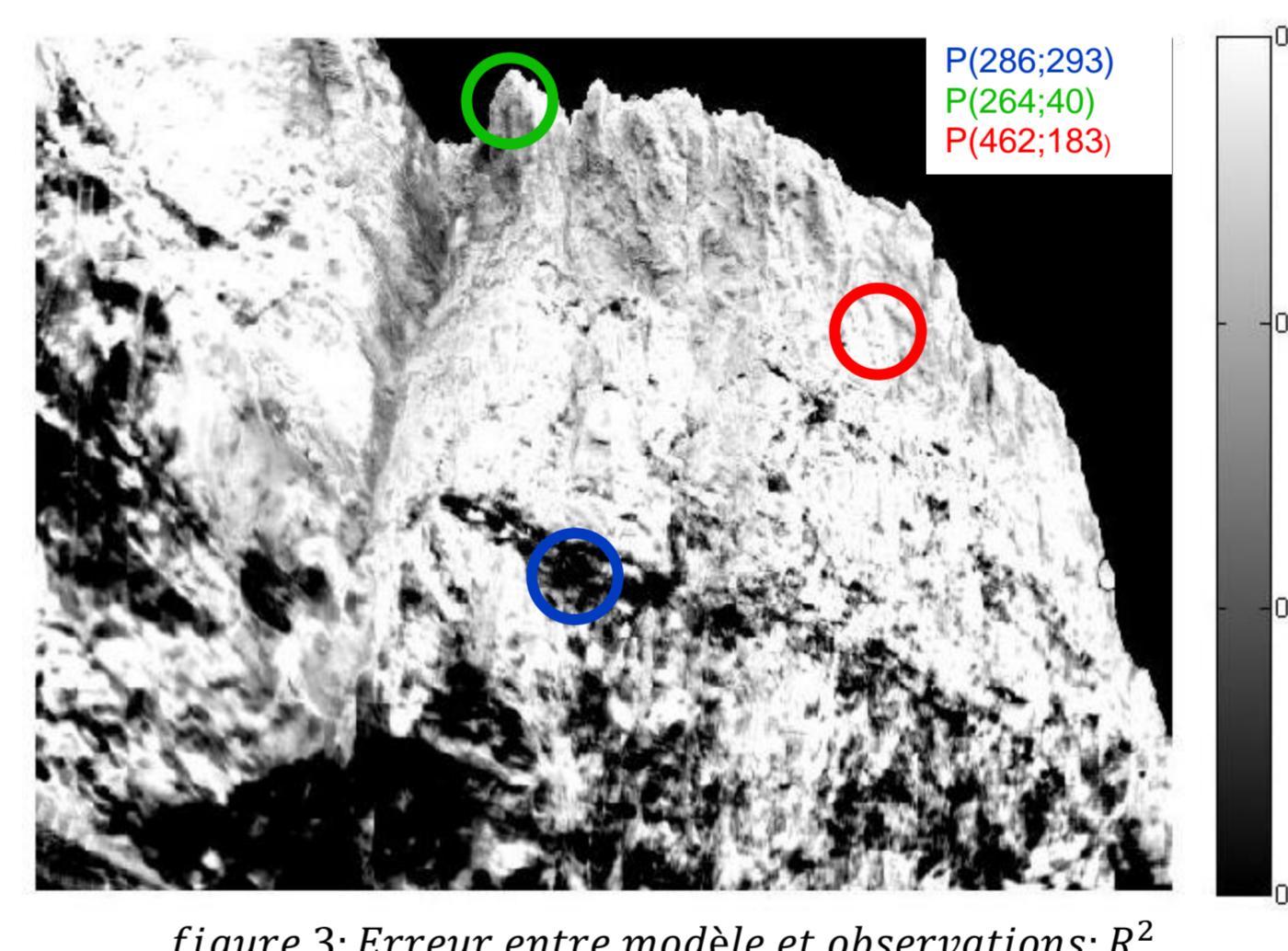
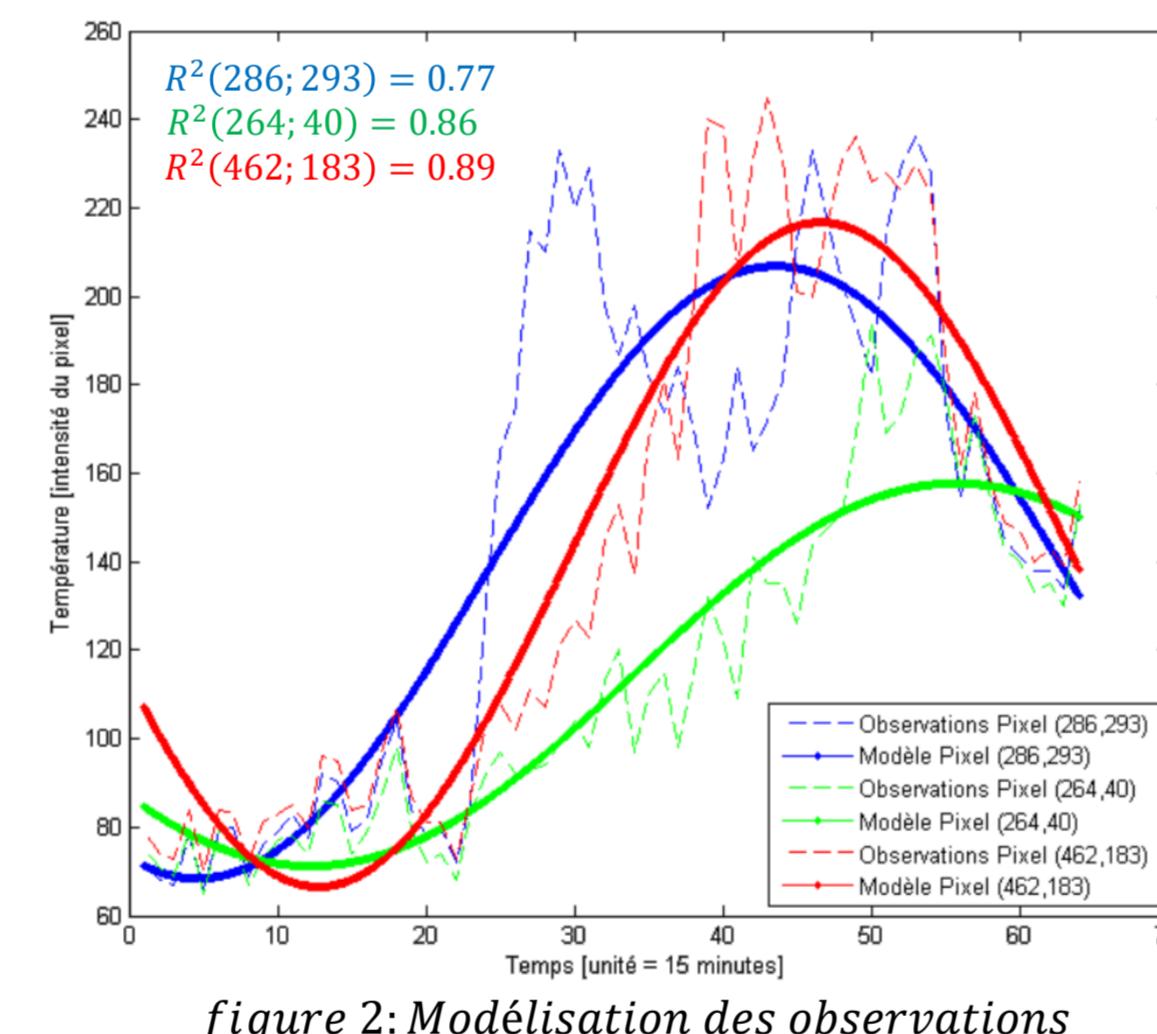
Procédé:

- Sélection des observations: une image chaque 15 minutes, échelle uniforme, transformation en tonalités de gris [0; 255]
- Modélisation de l'évolution cyclique de la température pour chaque pixel (307'200 simulations), selon la série de Fourier de premier ordre:

$$f(x) = a_0 + a_1 \cos(wt) + b_1 \sin(wt) = a_0 + R \cos(wt - c)$$

- Analyse de la « phase de plein réchauffement » (entre point d'inflexion et point maximal de la sinusoïde)
- Unités reconverties en heures et °C
- Paramètres estimés:

$$\begin{aligned} \rightarrow \text{Durée: } & \Delta t = \frac{(w/2\pi)^{-1}}{4} \\ \rightarrow \text{Amplitude: } & R = \sqrt{a^2 + b^2} \\ \rightarrow \text{Température initiale: } & T_0 = a_0 \\ \rightarrow \text{Horaire de début: } & t_0 = 6 - (c - \Delta t) \\ \rightarrow \text{Gradient de T: } & \text{grad} = R/\Delta t \end{aligned}$$



Evaluation de l'erreur entre modèle et observations: si le coefficient de détermination (R^2) est < 0.8 → le pixel n'est pas pris en compte dans l'analyse

Résultats et discussion:

Gradient plus faible dans la partie supérieure de la falaise

→ Rugosité et degré de fracturation plus élevés

Gradient différent entre quelques blocs au dessus de la paroi

→ Hypothèse de fractures internes qui empêchent le réchauffement de la roche
→ Nécessité d'une résolution plus élevée et d'autres mesures pour tirer des conclusions

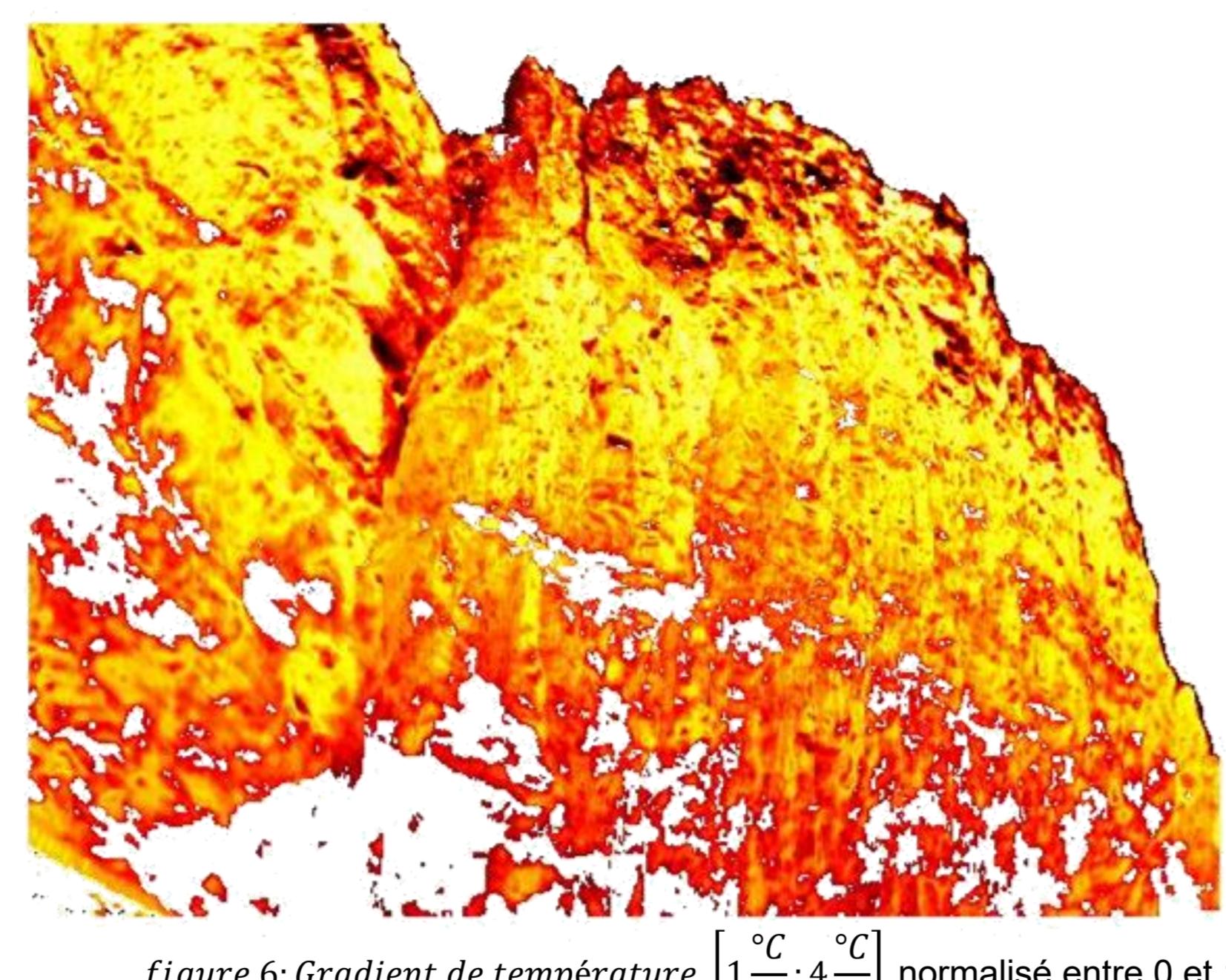


figure 6: Gradient de température $\left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{h}} ; 4 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{h}} \right]$ normalisé entre 0 et 1

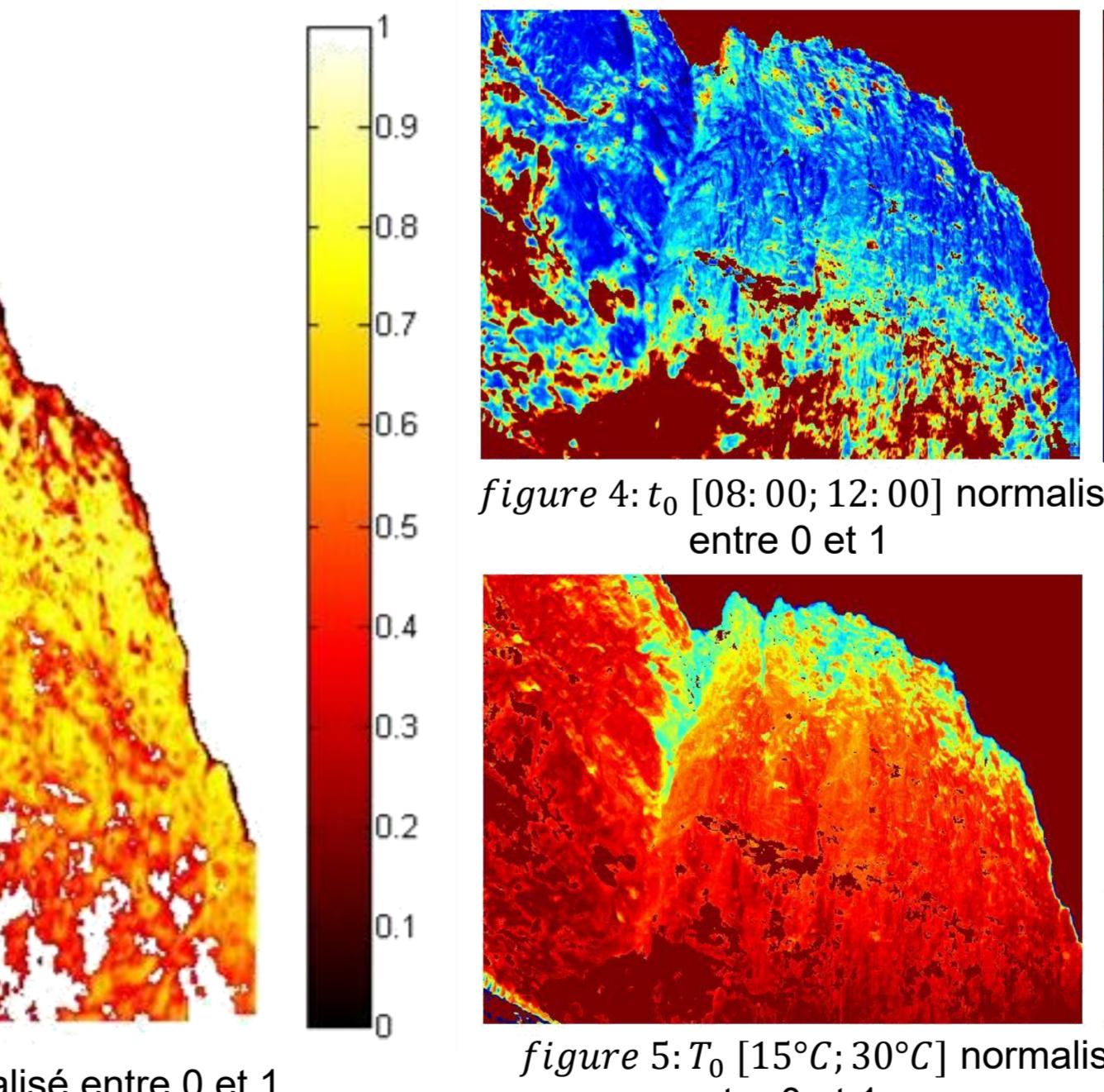


figure 4: t_0 [08:00; 12:00] normalisé entre 0 et 1
figure 5: T_0 [15°C; 30°C] normalisé entre 0 et 1

La phase de réchauffement commence au plus tard à 12:00, même si la roche n'est pas irradiée directement

→ La modélisation de l'influence de l'intensité d'ensoleillement sur l'ensemble de la paroi est problématique
→ Localement analyse possible (même exposition)

La température initiale des parties moins exposées est plus faible → La phase considérée commence avant que la paroi soit irradiée directement par le soleil

Conclusion

Potentiels de l'imagerie thermique:

- Mise en évidence des fissures et plus généralement de la rugosité de la surface
- Analyse locale possible (supporté par modèles 3D en haute résolution)
- Détection des blocs instables à vérifier: analyses supplémentaires, meilleure résolution

Pour permettre une analyse globale la paroi doit présenter la même exposition, sinon le résultat est fortement influencé par facteurs externes, difficiles à mesurer:

- Modéliser l'influence du rayonnement direct: calculer l'augmentation de la température en fonction de l'élévation du soleil et de l'heure auquel le point considéré est irradié directement
- Mesures sous différentes conditions (ex. ciel couvert ou en hiver) et comparaison des résultats