

# Les formations verticales du Quaternaire récent au front des Alpes : modélés et évolution du relief et du climat

## Étude par cartographie 3D haute définition et datation

Directrice de thèse : Carole PETIT (Géoazur)  
Co-directrice de thèse : Laurence AUDIN (ISTerre Grenoble)

Doctorant : Thibaut CARDINAL  
Co-encadrants BRGM : Denis THIEBLEMONT et Hélène TISSOUX

### ◆ Cadre et objectifs

L'objectif de cette thèse est de mieux comprendre et dater les phénomènes érosifs récents dans les Alpes du Sud. La datation et la quantification de l'incision fluviale, comme réponse à des forçages externes, permet de discuter de :

- l'impact des **variations climatiques** en zone hors et sous influence glaciaire ;
- des vitesses de **soulèvement isostatique**.

Et ainsi, déterminer la part de ces processus dans l'incision et affiner la datation et la cartographie des formations quaternaires dans les Alpes du Sud.

### ◆ Zone d'étude

Les Alpes du sud : à la limite de l'influence des dernières glaciations, le front des Alpes subit de forts taux de soulèvement dont l'origine fait l'objet de plusieurs hypothèses : tectonique (Schwartz *et al.*, 2017) ; rebond isostatique lié à l'érosion (Sternai *et al.*, 2019).

Objets géomorphologiques visés : marqueurs verticaux de l'incision fluviale (clues, gorges, terrasses) de Sisteron à San Remo (fig. 1).

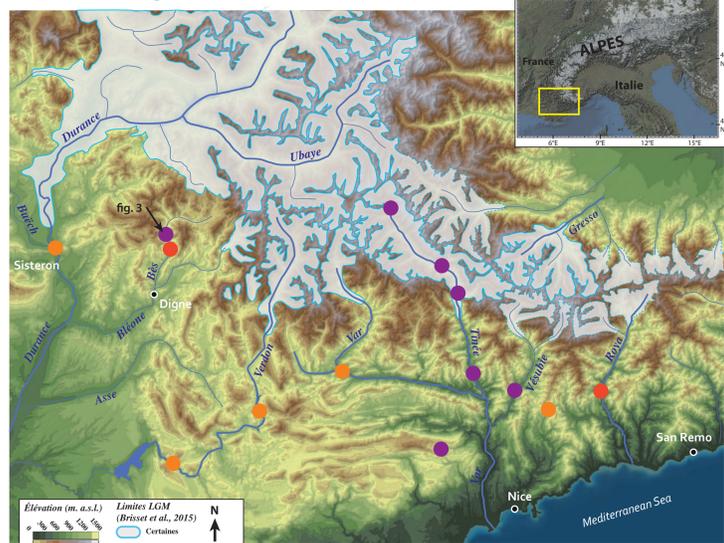


Fig. 1. Localisation des sites d'étude dans les Alpes du Sud :  
● Site daté ● Site échantillonné ● Site visé pour de futurs échantillonnages

### ◆ Méthode

**Cartographie 3D** : la verticalité des objets géomorphologiques visés nécessite une approche cartographique 3D (fig. 2) par le moyen de différentes méthodes permettant la réalisation de MNT 3D haute résolution (fig. 3) :

- Photogrammétrie SfM (*Structure from Motion*) à partir de vol drone et aérien ;
- Lasergrammétrie LiDAR terrestre et aéroportée.

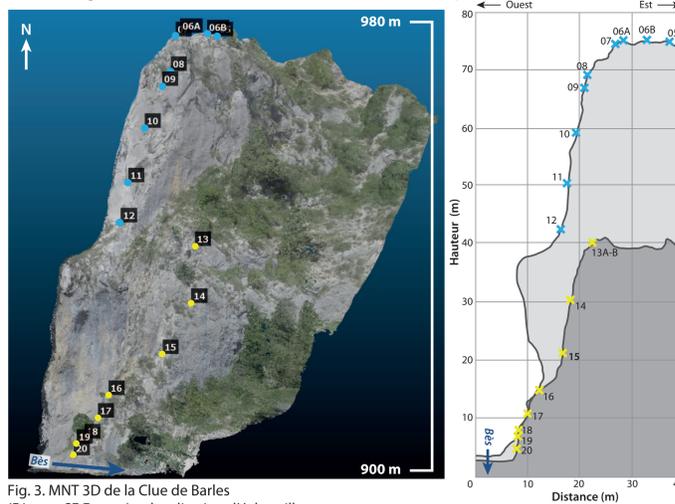
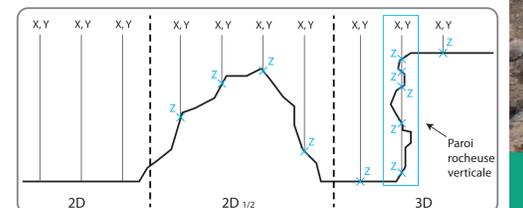


Fig. 3. MNT 3D de la Clue de Barles (Dignes, SE France) et localisation d'échantillons

Fig. 2. Principe théorique de la contrainte verticale sur l'approche cartographique



**Datation** : la quantification de la concentration en nucléides cosmogéniques dans les parois verticales des gorges permet de dater l'exposition progressive de ces dernières et de quantifier des vitesses d'incision (fig. 4). Les surfaces incisées préservées peuvent être indentifiées et le masque topographique quantifié précisément à partir des MNT 3D.

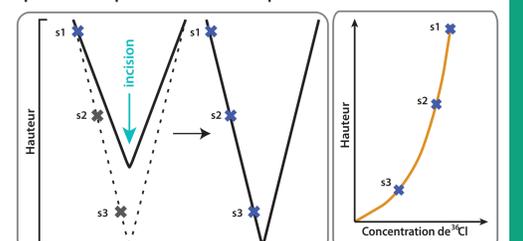


Fig. 4. Principe théorique de la datation de l'exposition des parois d'une gorge par les nucléides cosmogéniques (ici chlore 36)

### ◆ Résultats attendus et perspectives :

- **Cartographie 3D** d'objets géomorphologiques verticaux et **chronologie** des formations quaternaires à partir de nouvelles méthodes de datation absolue.

- Amélioration des données existantes et **comparaison des différentes réponses des réseaux hydrologiques et vitesses d'incision** à des forçages tectoniques et climatiques dans les Alpes du Sud (fig. 5).

- Contrainte d'un **modèle d'érosion** permettant d'identifier les zones soumises à de forts taux d'incision pouvant amener au déclenchement d'**aléas gravitaires et sismiques**.

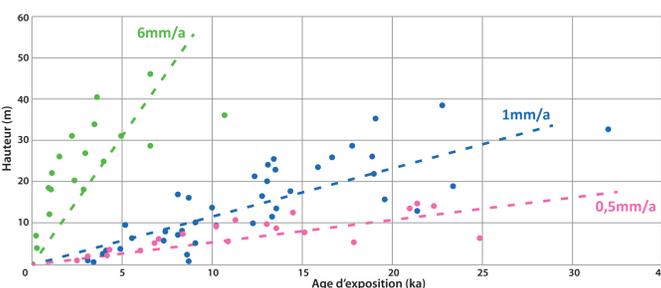


Fig. 5. Comparaison des âges et vitesses d'incision obtenues par datation aux nucléides cosmogéniques dans des gorges des Alpes du Sud

● Site englacé au dessus de 800 m d'altitude  
● Site englacé en dessous de 800 m d'altitude  
● Site non-englacé

Données compilées d'après Petit *et al.*, 2019, Rolland *et al.*, 2017 et Saillard *et al.*, 2014. Chaque point correspond à un échantillon.

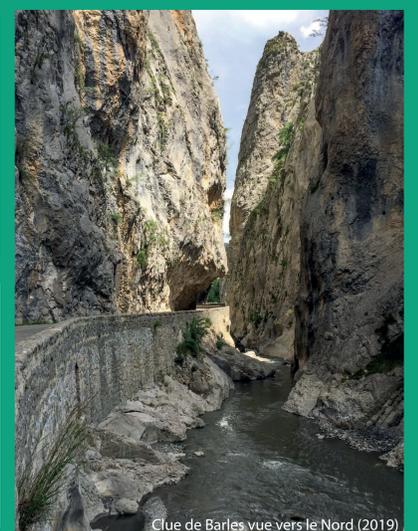
Petit C., Rolland Y., Braucher R., Bourlès D., Guillou V. et Petitperrin V., 2019. River incision and migration deduced from <sup>36</sup>Cl cosmic-ray exposure durations: The Clue de la Cerise gorge in southern French Alps. *Geomorphology*, 330 : 81-88

Rolland Y., Petit C., Saillard M., Braucher R., Bourlès D., Darnault R., Cassol D. et ASTER Team, 2017. Inner gorges incision history: A proxy for deglaciation? Insights from Cosmic Ray Exposure dating (<sup>10</sup>Be and <sup>36</sup>Cl) of river-polished surfaces (Tinée River, SW Alps, France). *Earth and Planetary Science Letters*, 457: 271-281.

Saillard M., Petit C., Rolland Y., Braucher R., Bourlès D. L., Zerathe S., Revel M. et Jourdon A., 2014. Late Quaternary incision rates in the Vésubie catchment area (Southern French Alps) from in situ-produced <sup>36</sup>Cl cosmogenic nuclide dating: Tectonic and climatic implications. *Journal of Geophysical Research. Earth Surface*, 119: 1121-1135

Schwartz S., Gautheron C., Audin L., Dumont T., Nomade J., Barbarand J., Pinna-Jamme R. et van der Beek P., 2017. Foreland exhumation controlled by crustal thickening in the Western Alps. *Geological Society of America*, 45, 2 : 139-142.

Sternai P., Sue C., Husson L., Serpelloni E., Becker T.W., Willet S.D., Faccenna C., Giulio A.D., Spada G., Jolivet L., Valla P., Petit C., Nocquet J.-M., Walpersdorf A., et Castelletort S., 2019. Present-day uplift of the European Alps: Evaluating mechanisms and models of their relative contributions. *Earth Science Reviews*, 190 : 589-604.



Clue de Barles vue vers le Nord (2019)