

# Caractérisation dynamique des instabilités gravitaires affectant la bordure sud du massif de Belledonne : Apport des datations cosmogéniques $^{10}\text{Be}$

Coordinateur :

**Stéphane SCHWARTZ**

IsTerre/LGCA - UMR 5025  
Université Joseph Fourier - Grenoble I

Participants :

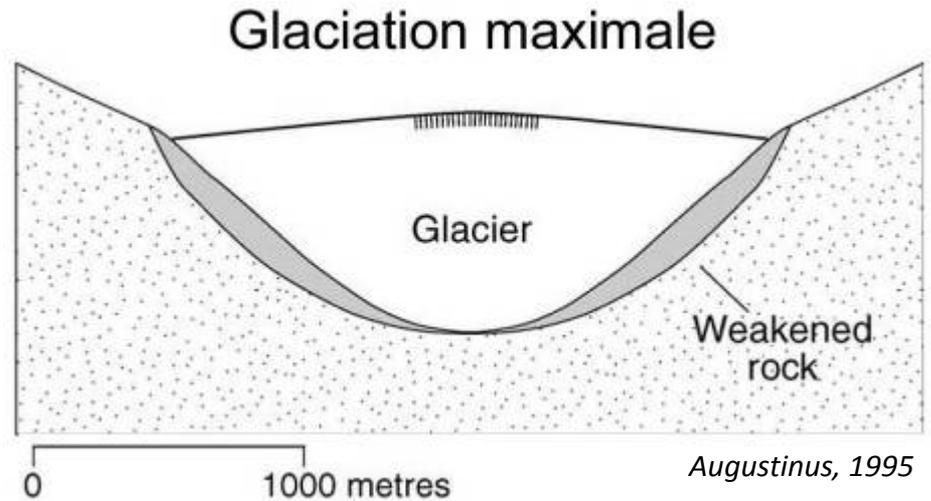
**Julien CARCAILLET <sup>1</sup>, Denis JONGMANS <sup>2</sup> et Jean François GAMOND <sup>2</sup>**

(1) IsTerre/LGCA - UMR 5025 - Université Joseph Fourier - Grenoble I

(2) IsTerre/LGIT - UMR 5529 - Université Joseph Fourier - Grenoble I

## 1-Problématique

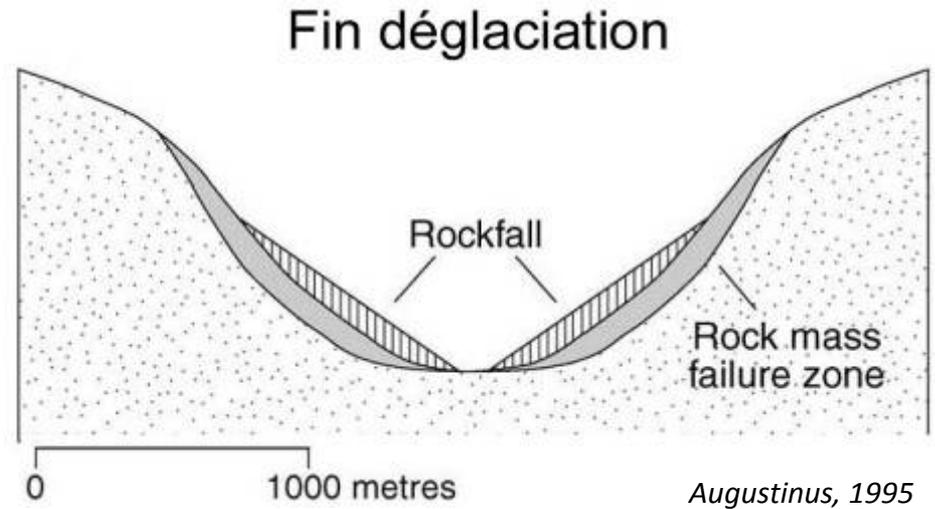
→ Dans les grandes vallées montagneuses l'activité érosive des glaciers produit des pentes raides, affaiblies mécaniquement



## 1-Problématique

→ Dans les grandes vallées montagneuses l'activité érosive des glaciers produit des pentes raides, affaiblies mécaniquement

→ Lors du retrait du glacier ces zones deviennent potentiellement instables gravitairement



## 1-Problématique

→ Dans les grandes vallées montagneuses l'activité érosive des glaciers produit des pentes raides, affaiblies mécaniquement

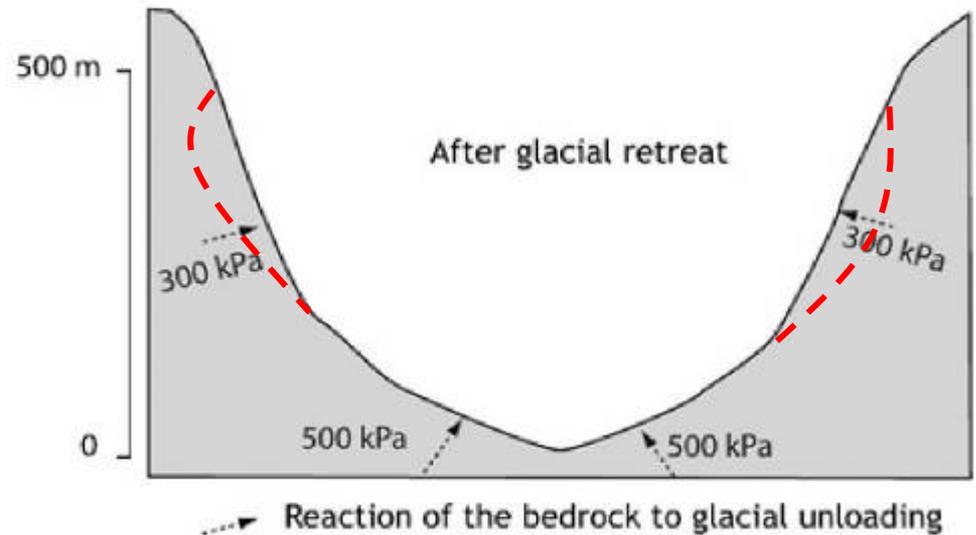
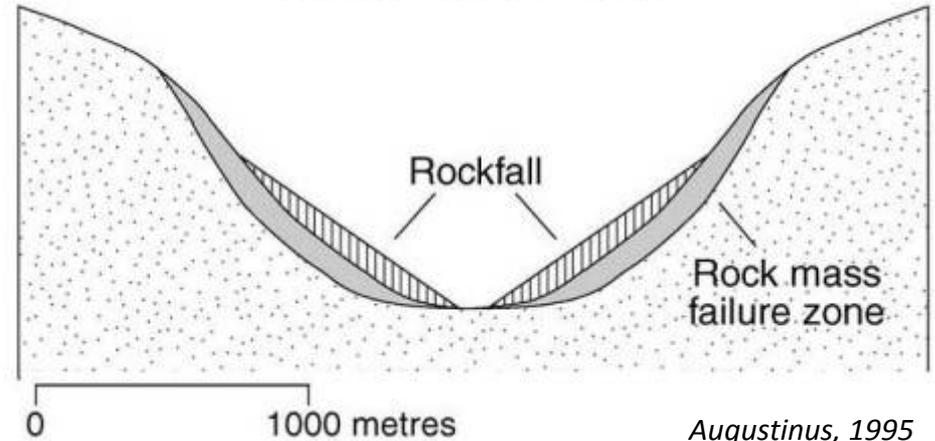
→ Lors du retrait du glacier ces zones deviennent potentiellement instables gravitairement

→ Le déclenchement des instabilités est reconnu comme lié à la libération des contraintes latérales résultant de la fonte de la glace (debuttressing)

→ Autres facteurs pouvant contribuer à l'initiation et à la dynamique des instabilités :

- contraintes tectoniques
- taux de surrection
- érosion fluviale
- activité sismique
- changements climatiques

### Fin déglaciation



→ Afin d'évaluer le **lien entre instabilité et retrait glaciaire** nous avons effectué des datations par cosmonucléides  $^{10}\text{Be}$  dans la terminaison sud du massif de Belledonne

Cossart et al., 2008

## 2-Contexte géologique

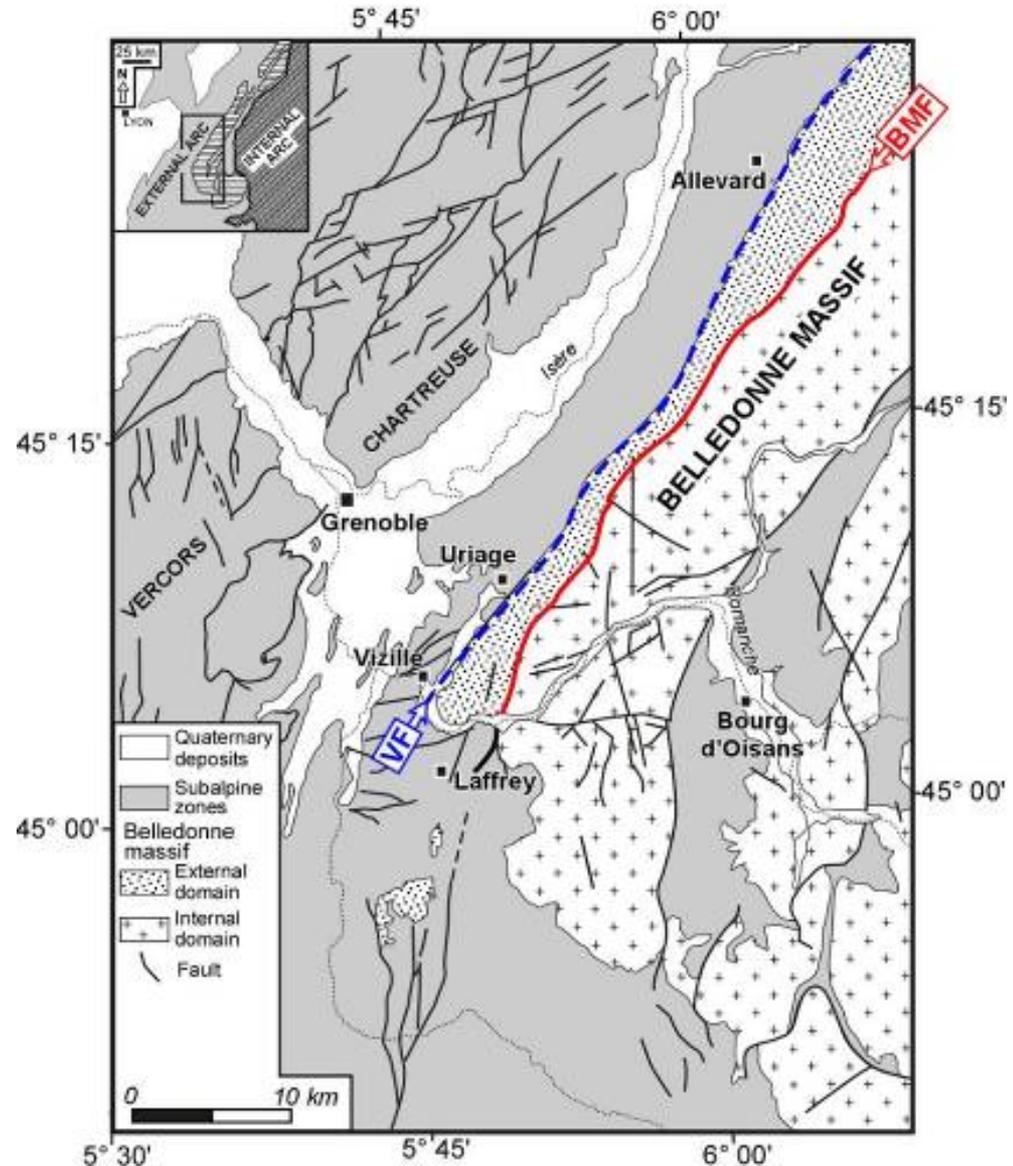
### Massif de Belledonne :

- Alpes occidentales
- Longueur = 100 km
- Orientation = N30°
- Altitude max = 3000 m
- Délimité par 2 vallées :
  - Vallée de l'Isère au NW
  - Vallée de la Romanche au S
- Vulnérabilité importante :
  - Agglomération grenobloise
  - Complexe chimique de Vizille

## 2-Contexte géologique

### Massif de Belledonne :

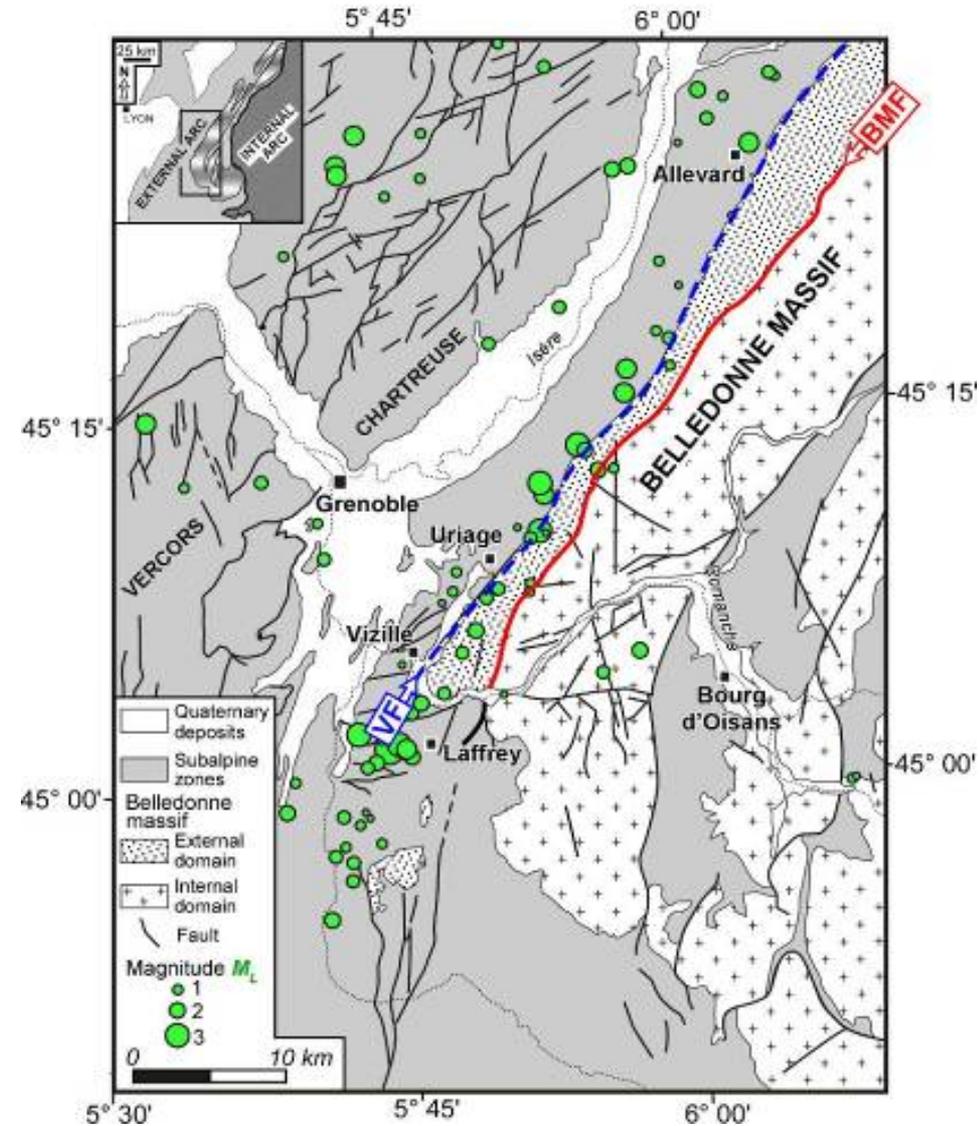
- Massif cristallin externe
- 2 domaines lithologiques :
  - Domaine externe
  - Domaine interne
- Affectés par deux structures majeures :
  - VF : Faille de Vizille
  - BMF : Accident Médian de Belledonne



## 2-Contexte géologique

### Massif de Belledonne : activité sismique

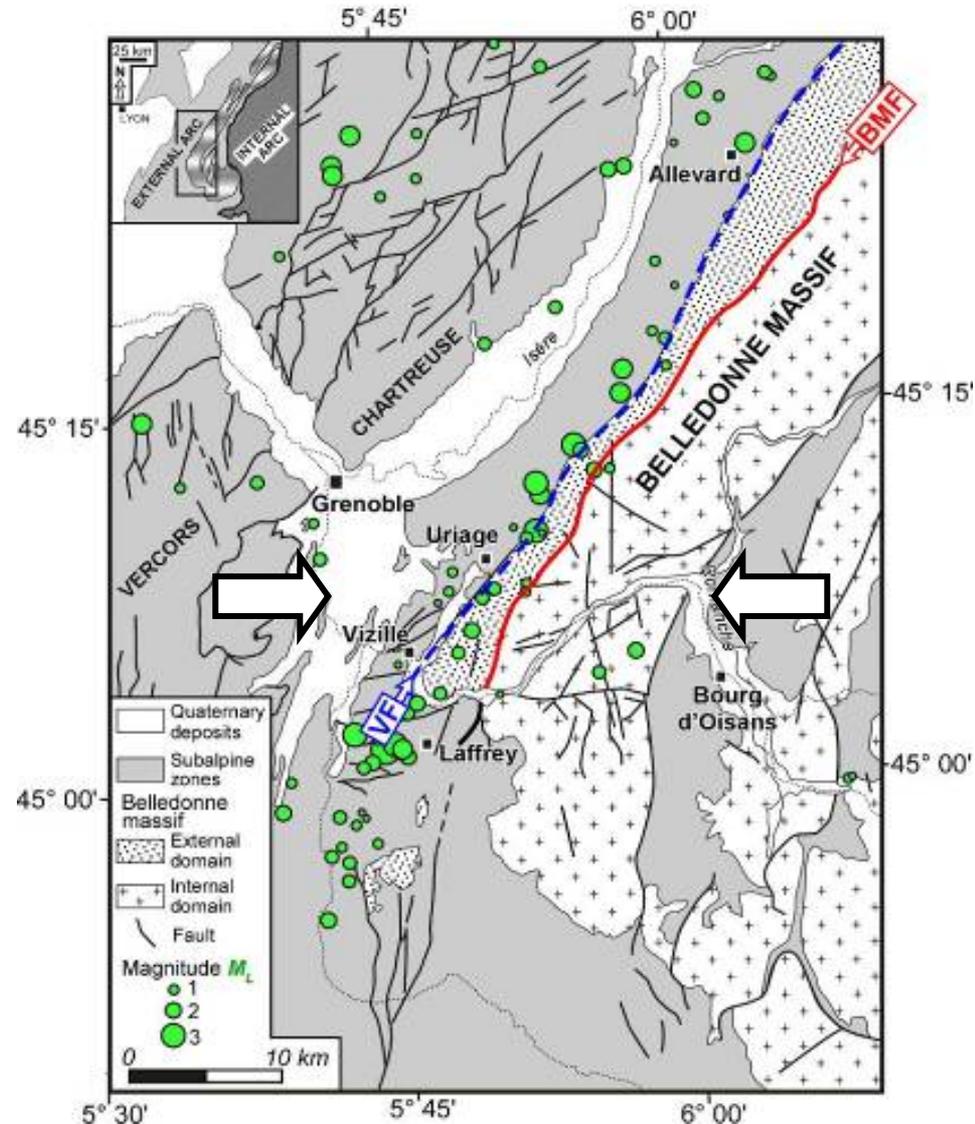
- Activité sismique récurrente  $M_L < 3,5$
- Distribuée suivant 2 alignements :
  - ⇒ Alignement N30° sur plus de 50km le long du massif
  - ⇒ décrochant dextre  
**-Belledonne Border Fault (BBF)**
  - ⇒ Au Sud, alignement N122°
  - ⇒ décrochant senestre  
**-alignement sismique de Laffrey**



## 2-Contexte géologique

### Massif de Belledonne : activité sismique

- Activité sismique récurrente  $M_L < 3,5$
- Distribuée suivant 2 alignements :
  - ⇒ Alignement N30° sur plus de 50km le long du massif
  - ⇒ décrochant dextre
    - **Belledonne Border Fault (BBF)**
  - ⇒ Au Sud, alignement N122°
  - ⇒ décrochant senestre
    - alignement sismique de **Laffrey**
- Activité de deux failles conjuguées
  - ⇒ régime décro-compressif
  - ⇒ raccourcissement ~ Est – Ouest

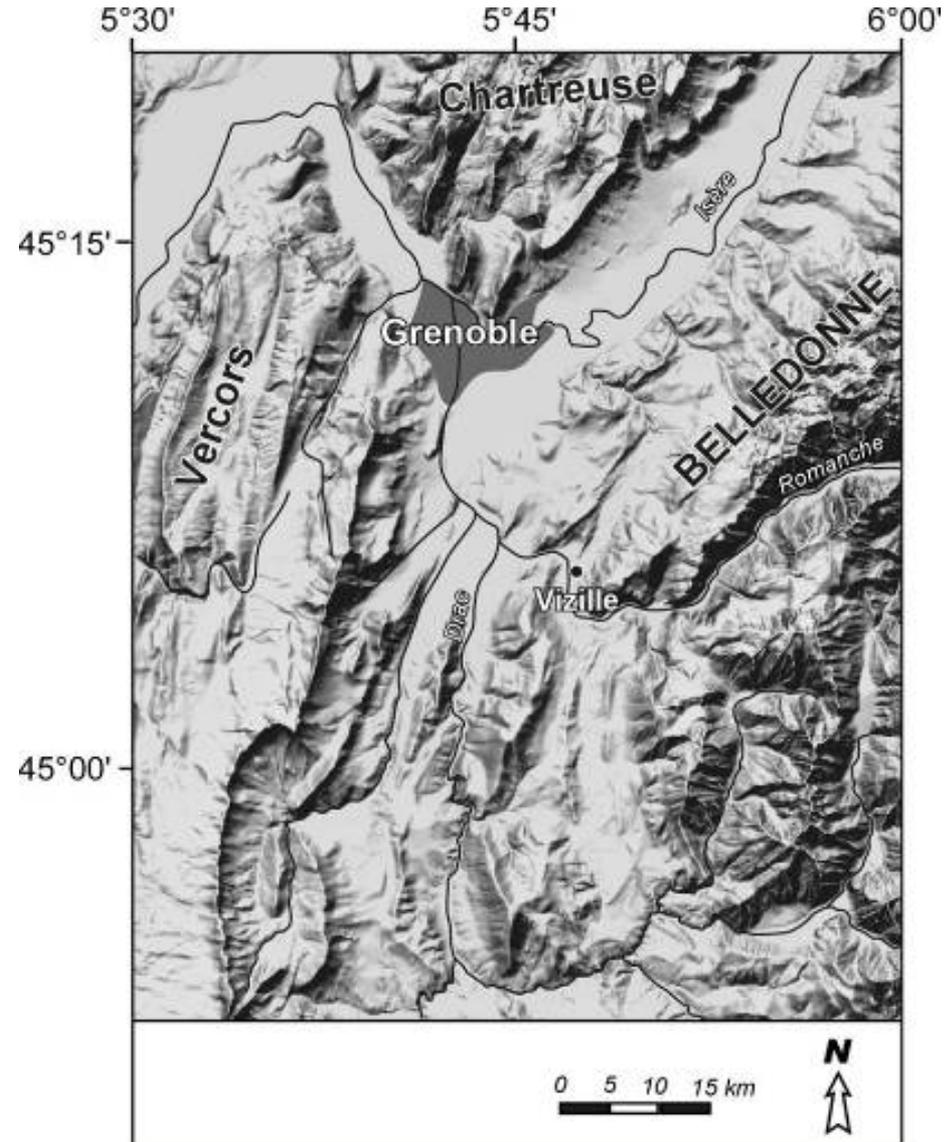


## 2-Contexte géologique

### Massif de Belledonne : dynamique récente

→ **Durant Quaternaire:** massif façonné par l'érosion glaciaire

- ↳ Riss (-300 000 à -130 000 ans BP)
- ⇒ glaciers ont recouvert l'ensemble du massif



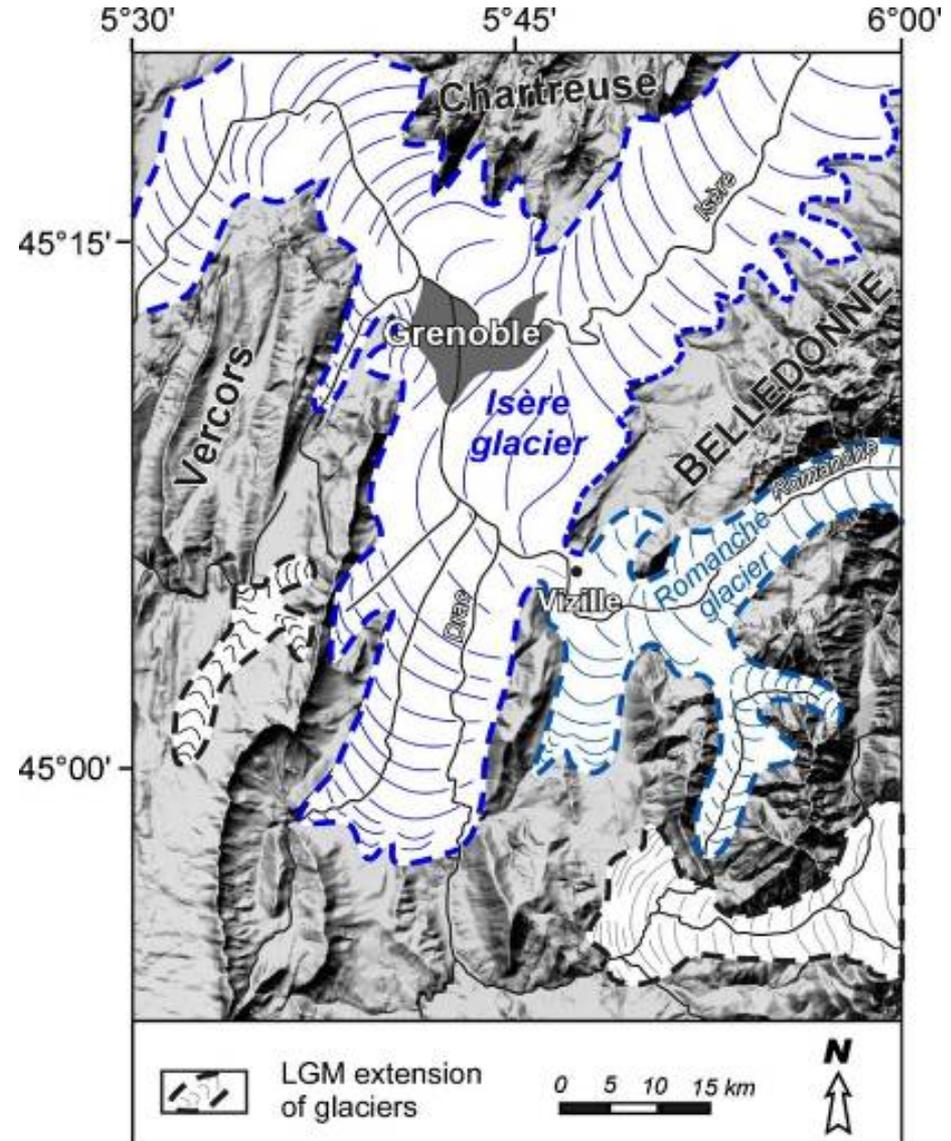
*Bièvre et al., 2011*

## 2-Contexte géologique

### Massif de Belledonne : dynamique récente

→ **Durant Quaternaire:** massif façonné par l'érosion glaciaire

- ↳ Riss (-300 000 à -130 000 ans BP)  
⇒ glaciers ont recouvert l'ensemble du massif
- ↳ Würm (-90 000 à -15 000 ans BP)  
⇒ glaciers se sont individualisés dans les grandes vallées jusqu'à une altitude ~ 1200 m durant le **LGM** (*Last Glacial Maximum*) vers -50 000 ans BP



*Bièvre et al., 2011*

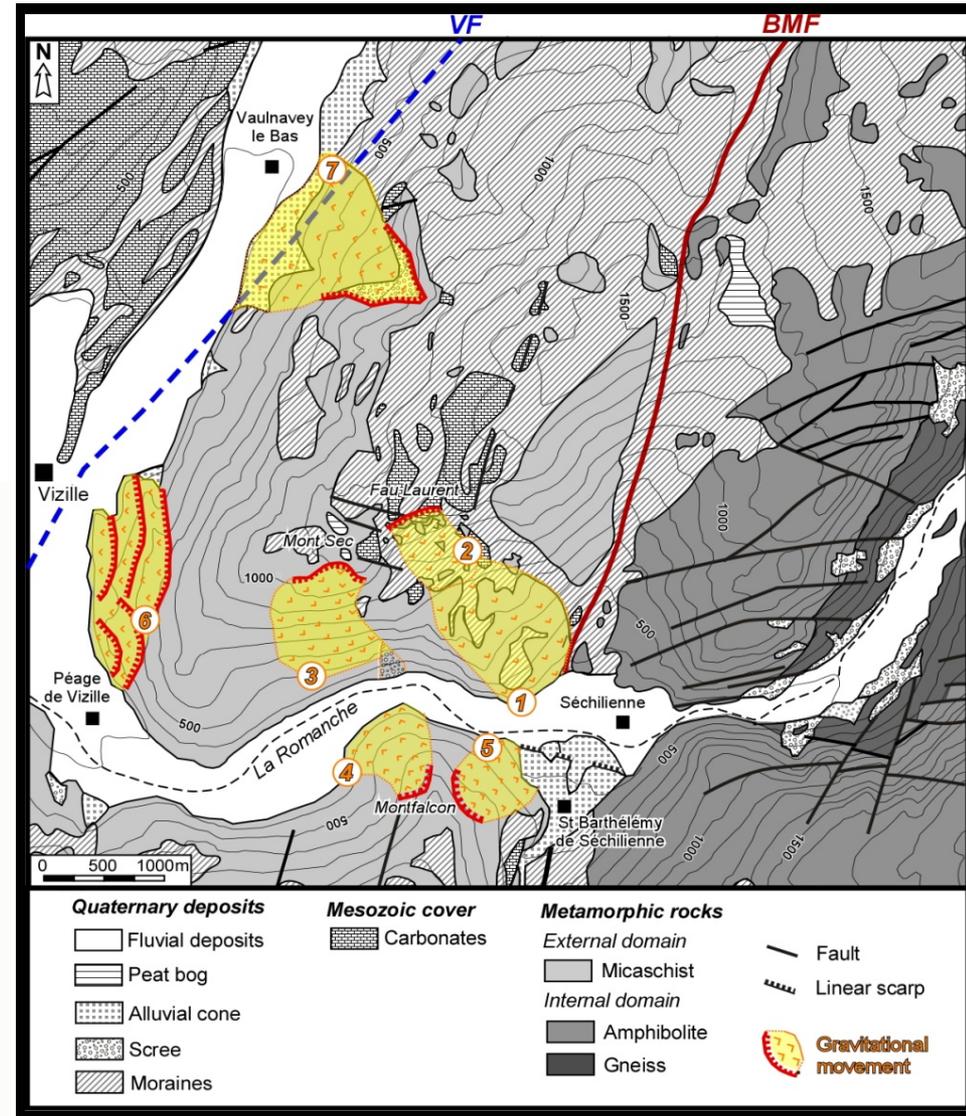
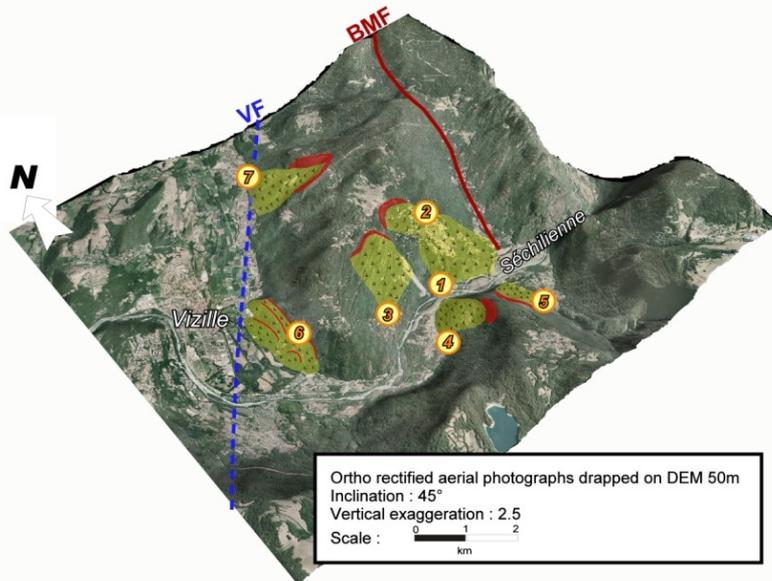
## 2-Contexte géologique

### Terminaison sud du massif de Belledonne

→ Géologie d'Ouest en Est :

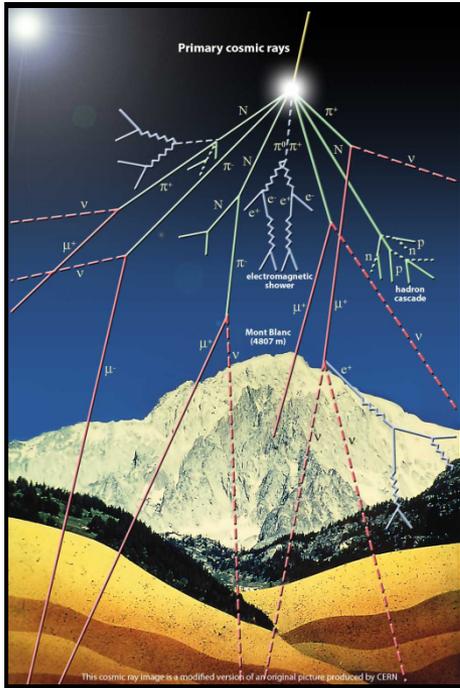
- ⇒ micaschistes
- ⇒ couverture mésozoïque
- ⇒ dépôts quaternaires
- ⇒ amphibolites et gneiss

→ 7 **mouvements de terrain** dans le domaine externe



### 3-Méthodologie

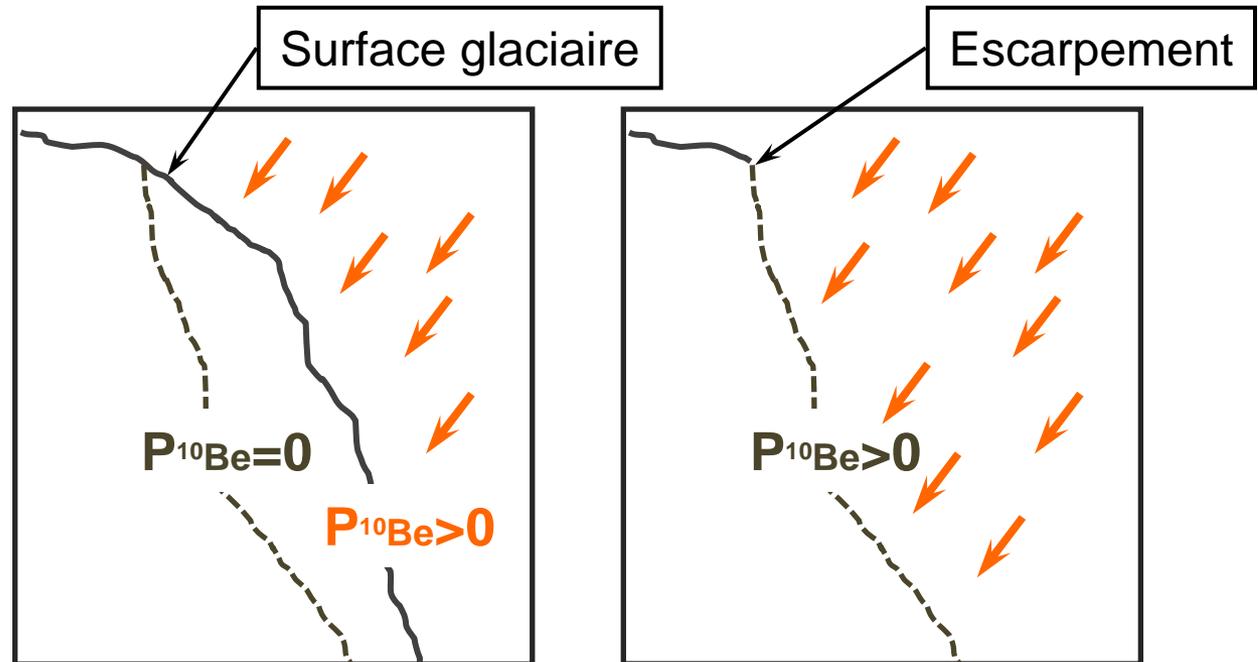
#### Principe des datations $^{10}\text{Be}$ :



→ Date des surfaces d'exposition aux rayonnements cosmiques (escarpements, polis glaciaires, moraines, failles...).

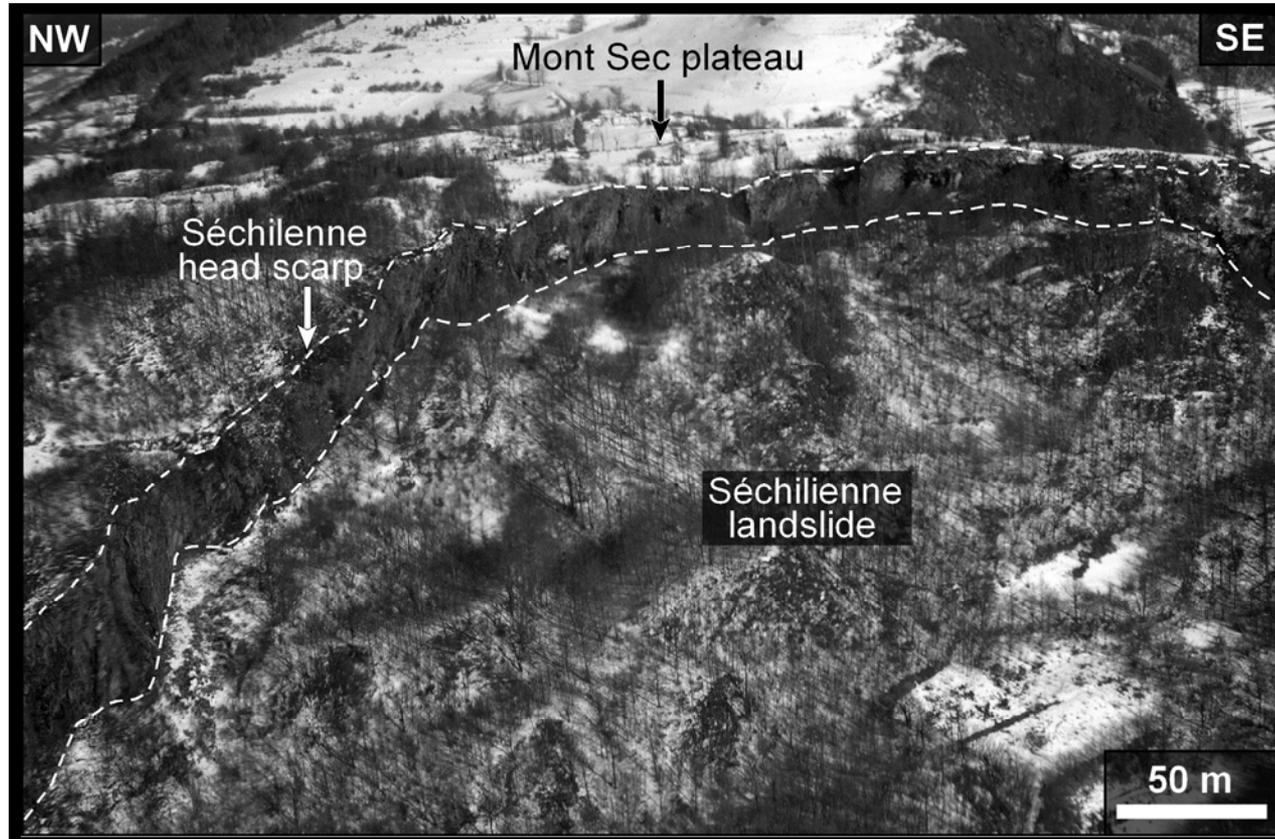
→ Ces rayonnements interagissent avec la roche et produisent des nucléïdes cosmogéniques ( $^3\text{He}$ ,  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{21}\text{Ne}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ) accumulés dans certains minéraux de la roche. Pour le  $^{10}\text{Be}$ , il s'agit du quartz.

→ La concentration  $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$  du quartz mesuré par un spectromètre de masse à accélérateur (ASTER CEREGE Aix en Provence) est fonction du temps d'exposition de la roche aux rayonnements cosmiques.



### 3-Méthodologie

#### Datations $^{10}\text{Be}$ appliquées au mouvement de Séchilienne :

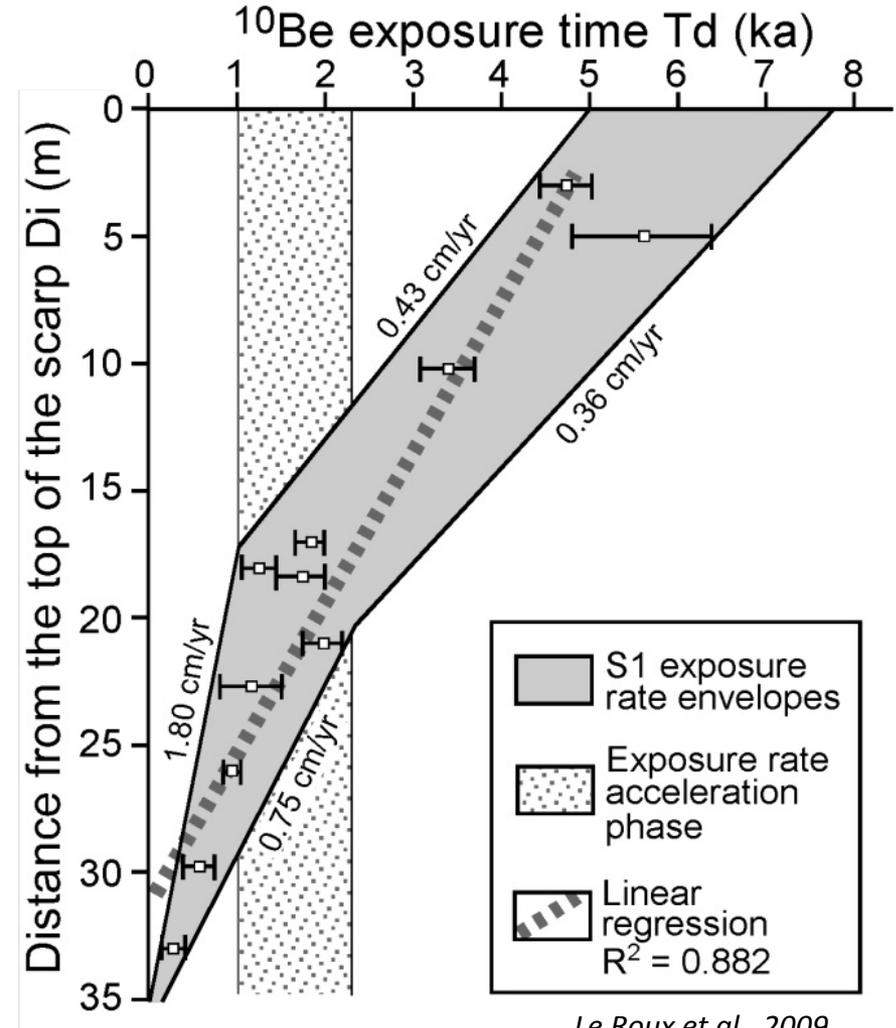


*Le Roux et al., 2009*

### 3-Méthodologie

#### Datations $^{10}\text{Be}$ appliquées au mouvement de Séchilienne :

- Initiation entre 7800 et 5000 ans
- Dynamique continue depuis initiation jusqu'à l'actuel
- Phase d'accélération entre 2300 et 1000 ans
- Après la phase d'accélération les vitesses de dénudation verticale sont similaires à celles obtenues par auscultation (1,3 cm/an)
- Age minimum du retrait de la glace en fond de vallée estimée à 13000 ans
- La déstabilisation n'est pas une conséquence immédiate du relâchement des contraintes suite à la disparition de la glace en fond de vallée



Le Roux et al., 2009

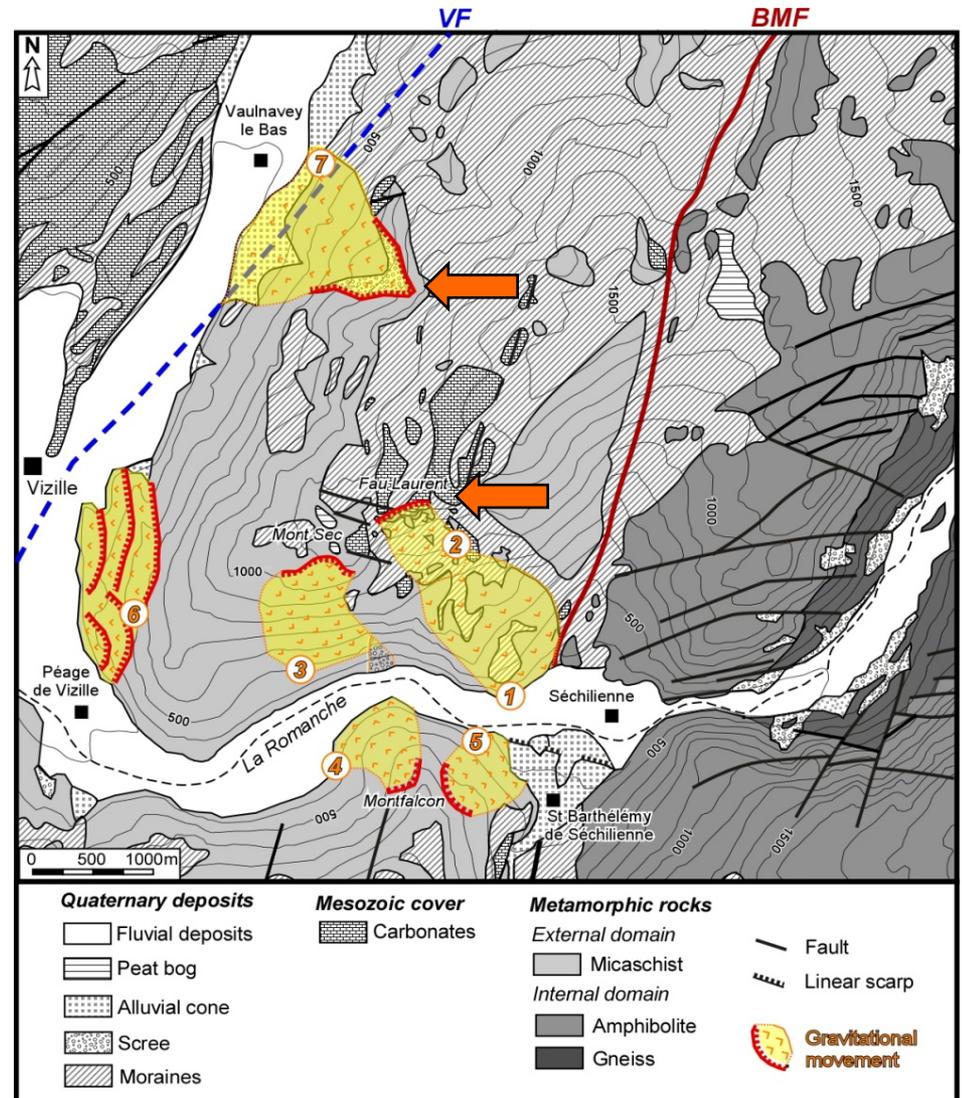
## 4-Objectifs du projet

→ Obtenir de nouvelles contraintes temporelles  $^{10}\text{Be}$  sur les escarpements des mouvements de Fau Laurent et de Vaulnavey (initiation et dynamique)

→ Intégrer ces données avec celles existantes (Séchilienne)

→ Obtenir une vision cohérente de la dynamique de déstabilisation de la terminaison sud de Belledonne

→ Définir le lien entre déglaciation et processus d'instabilité



## 5-Fau Laurent

### Stratégie d'échantillonnage :

→ Niche d'arrachement de + de 500m qui affecte le plateau du Mont Sec avec une hauteur falaise de 100m

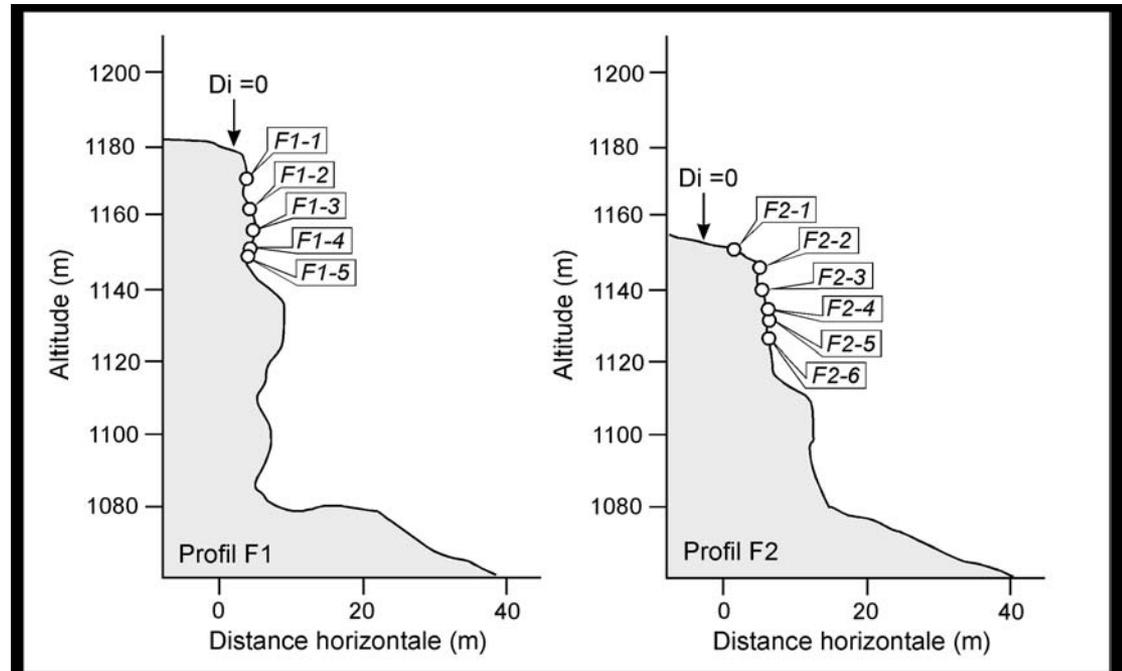
→ Deux profils de datations ont été réalisés dans la partie supérieure

- **profil F1:**

5 échantillons pour une hauteur de 32 m

- **profil F2:**

6 échantillons pour une hauteur de 26 m

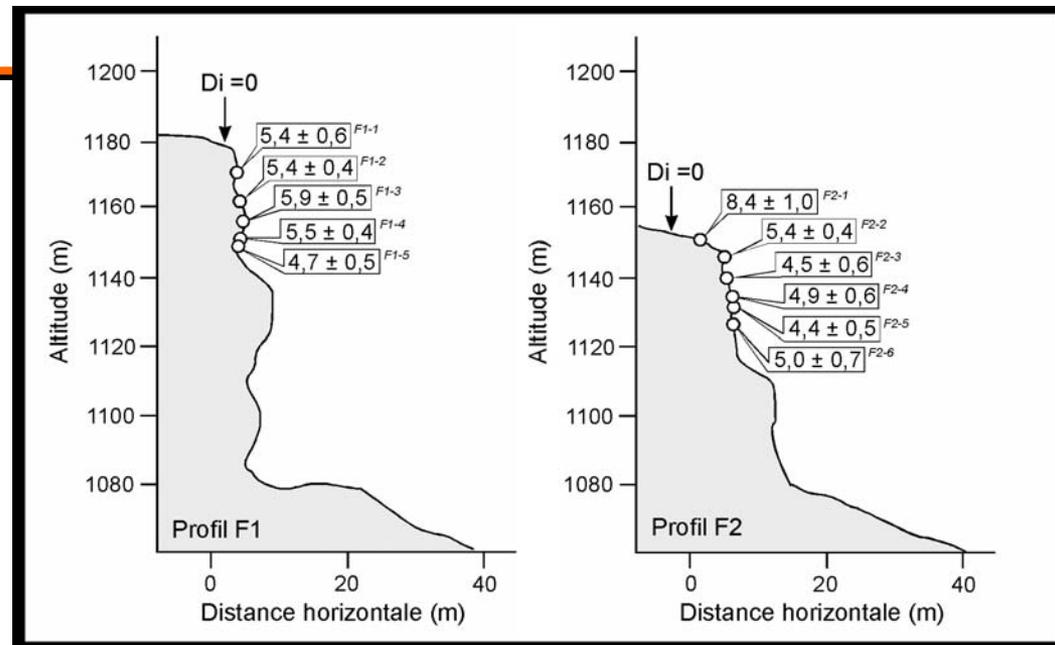


## 5-Fau Laurent

### Résultats :

→ Pour les 2 profils, âges d'exposition diminuent du sommet vers la base et sont dans une même gamme entre 8 et 4 ka

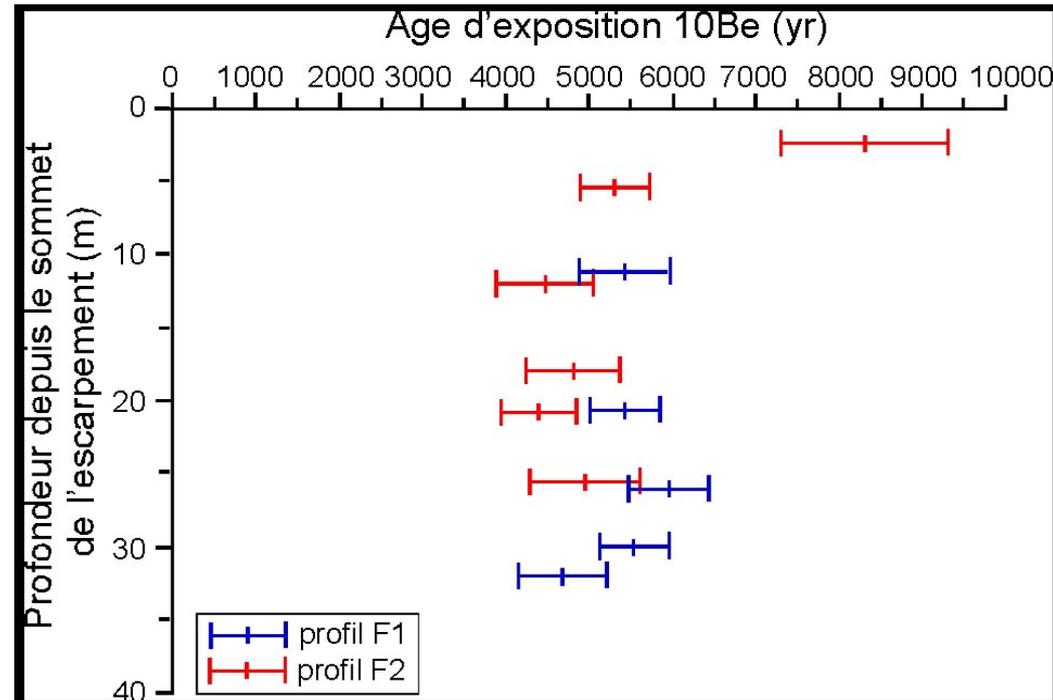
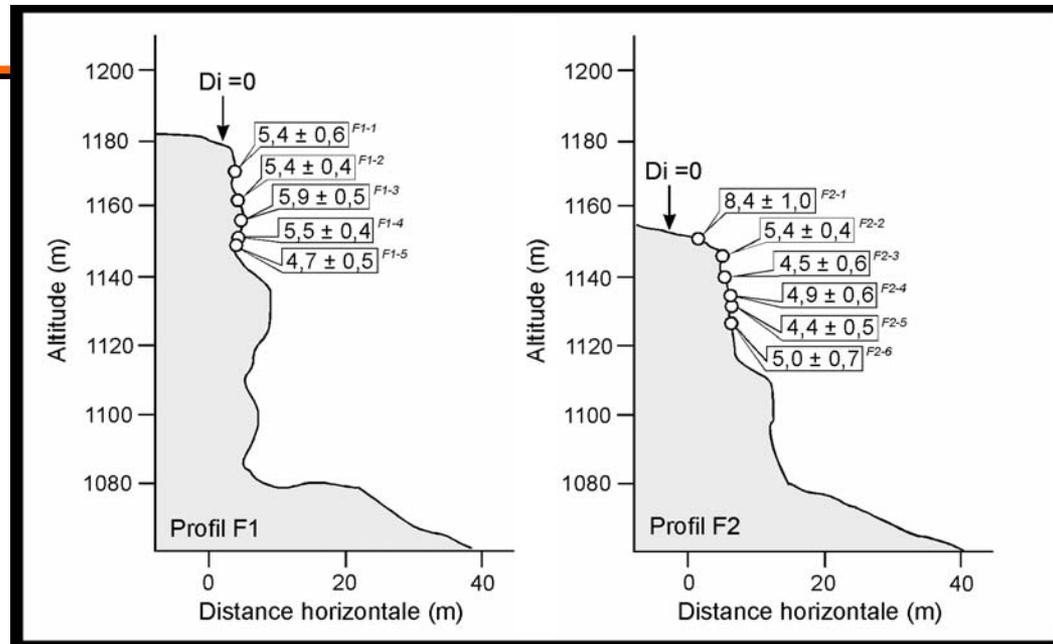
→ Répartition des âges traduit un déplacement vertical le long de l'escarpement (affaissement)



## 5-Fau Laurent

### Résultats :

- Pour les 2 profils, âges d'exposition diminuent du sommet vers la base et sont dans une même gamme entre 8 et 4 ka
- Répartition des âges traduit un déplacement vertical le long de l'escarpement (affaissement)
- Répartition des âges en fonction de la profondeur similaire entre les 2 profils
- Dynamique de tassement synchrone entre F1 et F2



## 5-Fau Laurent

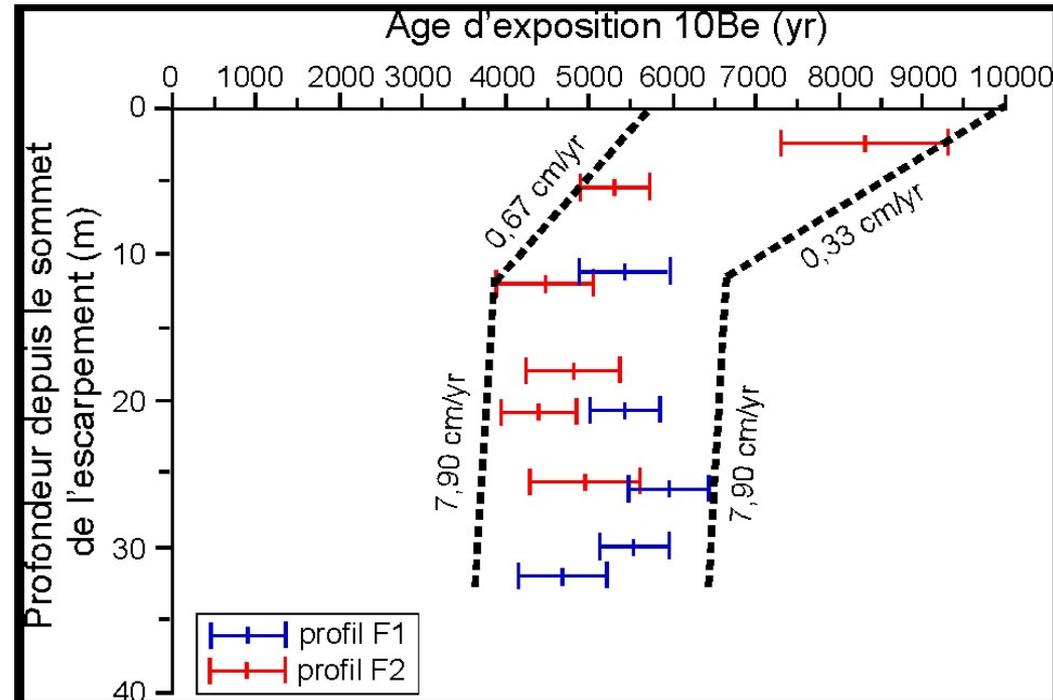
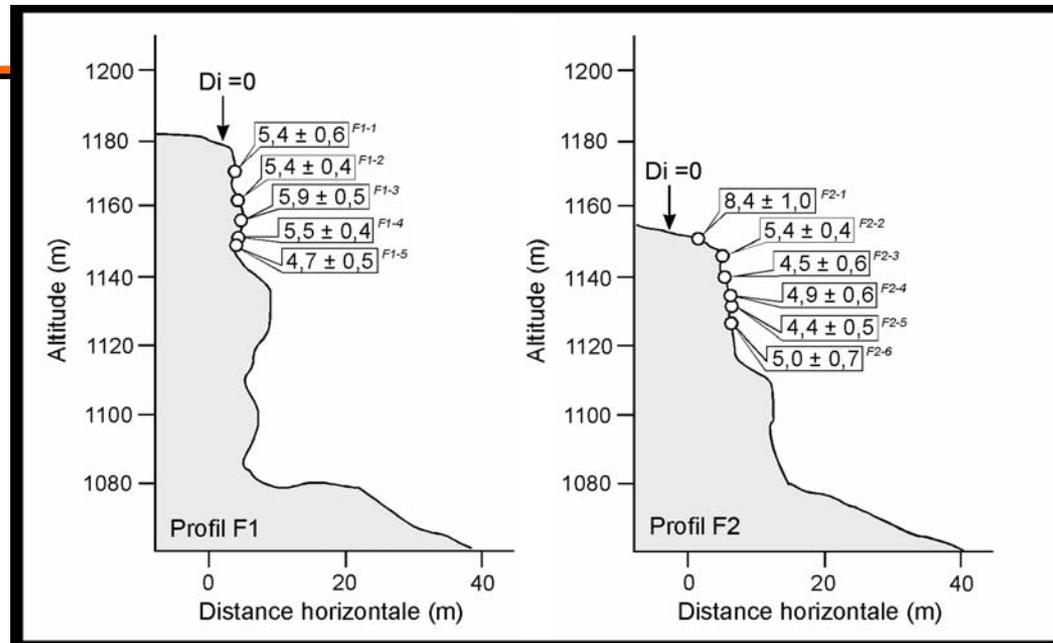
### Résultats :

- Pour les 2 profils, âges d'exposition diminuent du sommet vers la base et sont dans une même gamme entre 8 et 4 ka
- Répartition des âges traduit un déplacement vertical le long de l'escarpement (affaissement)
- Répartition des âges en fonction de la profondeur similaire entre les 2 profils

→ Dynamique de tassement synchrone entre F1 et F2

→ Enveloppes du taux de dénudation entre F1 et F2 montrent :

- vitesse de dénudation faible partie supérieure (0,33 à 0,67 cm/an)
- vitesse de dénudation élevée partie inférieure (7,9 cm/an)
- âge d'initiation entre 10 et 5,8 ka

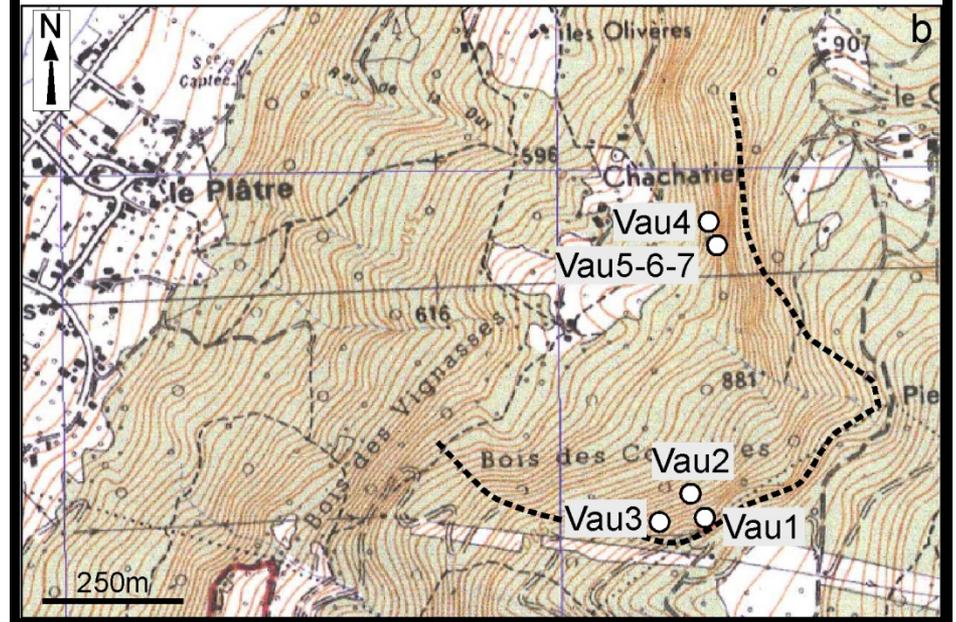
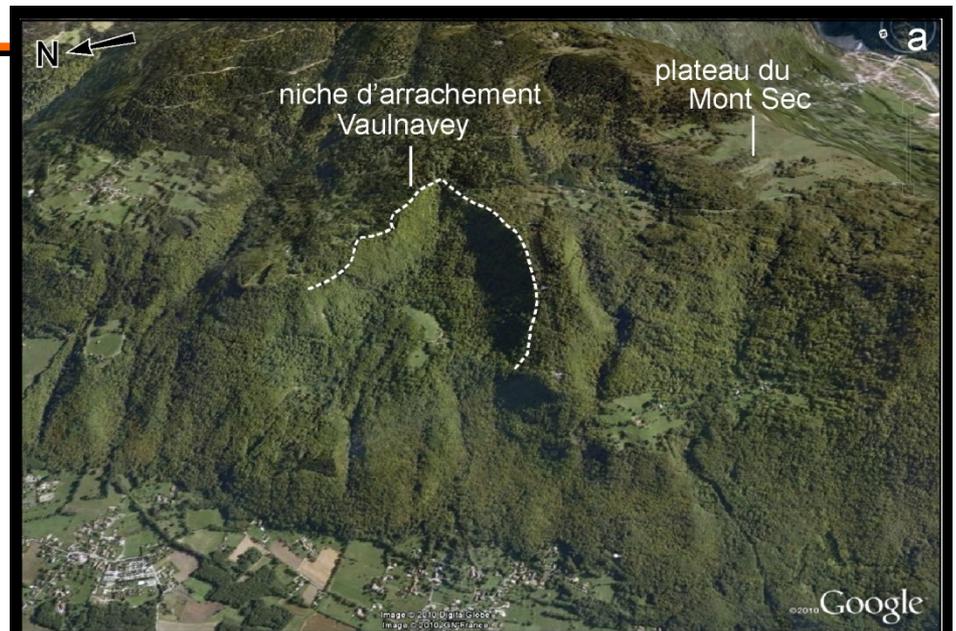


## 6-Vaulnavey

### Stratégie d'échantillonnage :

→ Escarpement en forme de V en bordure W du plateau du Mont Sec (dénivelé 400m) avec une hauteur de falaise de 100m

→ 2 branches d'escarpement avec branche N plus escarpée présentant des indices d'une activité instable récente

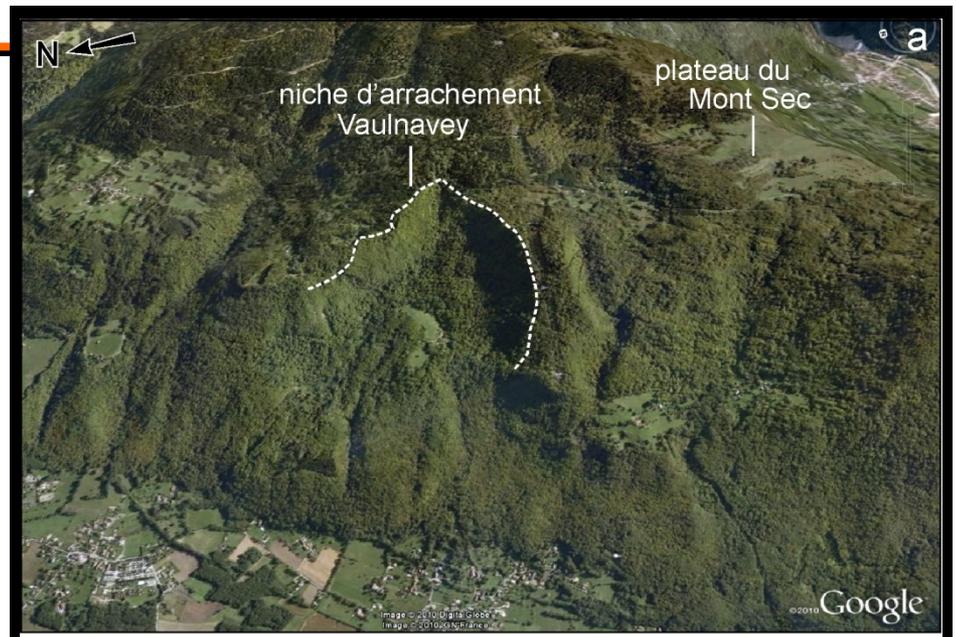


## 6-Vaulnavey

### Stratégie d'échantillonnage :

→ Escarpement en forme de V en bordure W du plateau du Mont Sec (dénivelé 400m) avec une hauteur de falaise de 100m

→ 2 branches d'escarpement avec branche N plus escarpée présentant des indices d'une activité instable récente

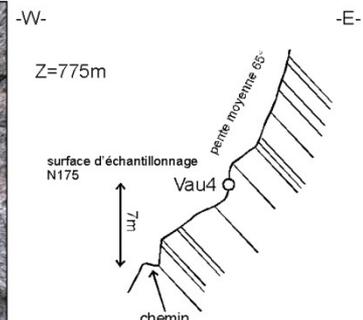
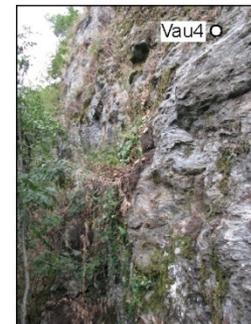
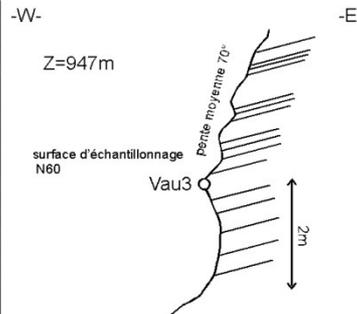
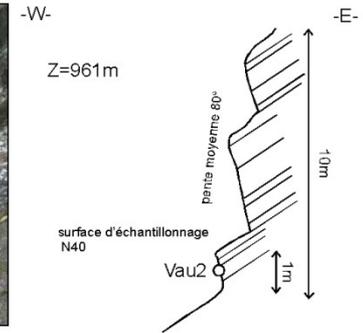
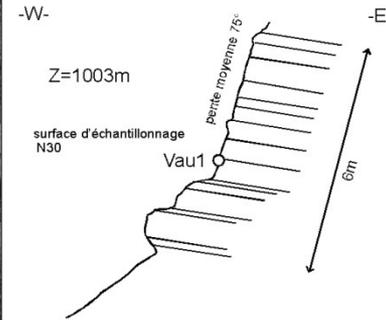


#### - branche sud:

échantillonnage ponctuel de 3 surfaces d'escarpement

#### - branche nord:

échantillonnage ponctuel de 4 surfaces d'escarpement



## 6-Vaulnavey

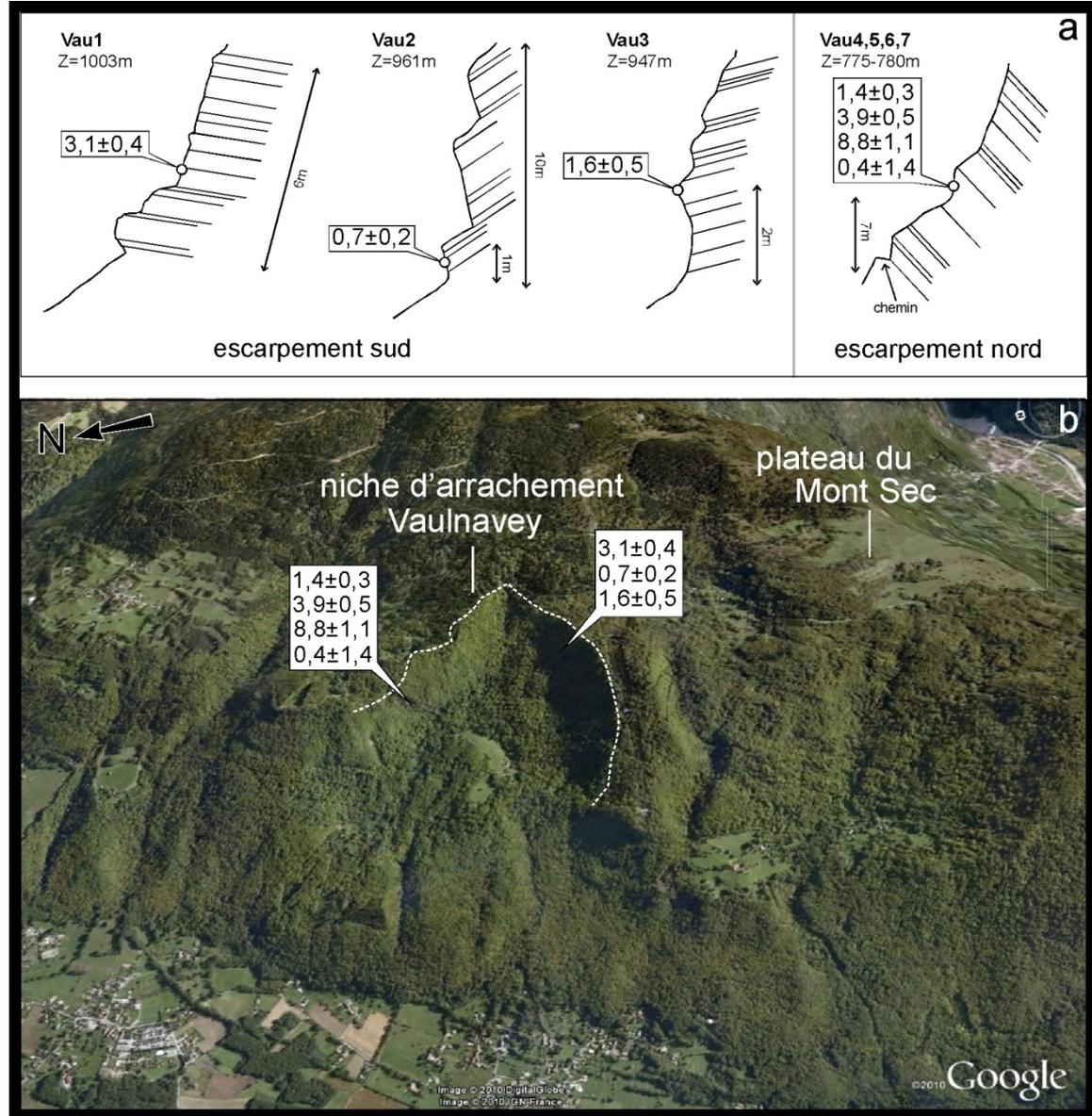
### Résultats :

→ Forte variabilité des âges  $^{10}\text{Be}$  obtenus (entre 8,8 et 0,4 ka) aussi bien pour les branches S que N

→ âge le plus ancien interprété comme l'âge d'initiation de l'instabilité à 8,8 ka

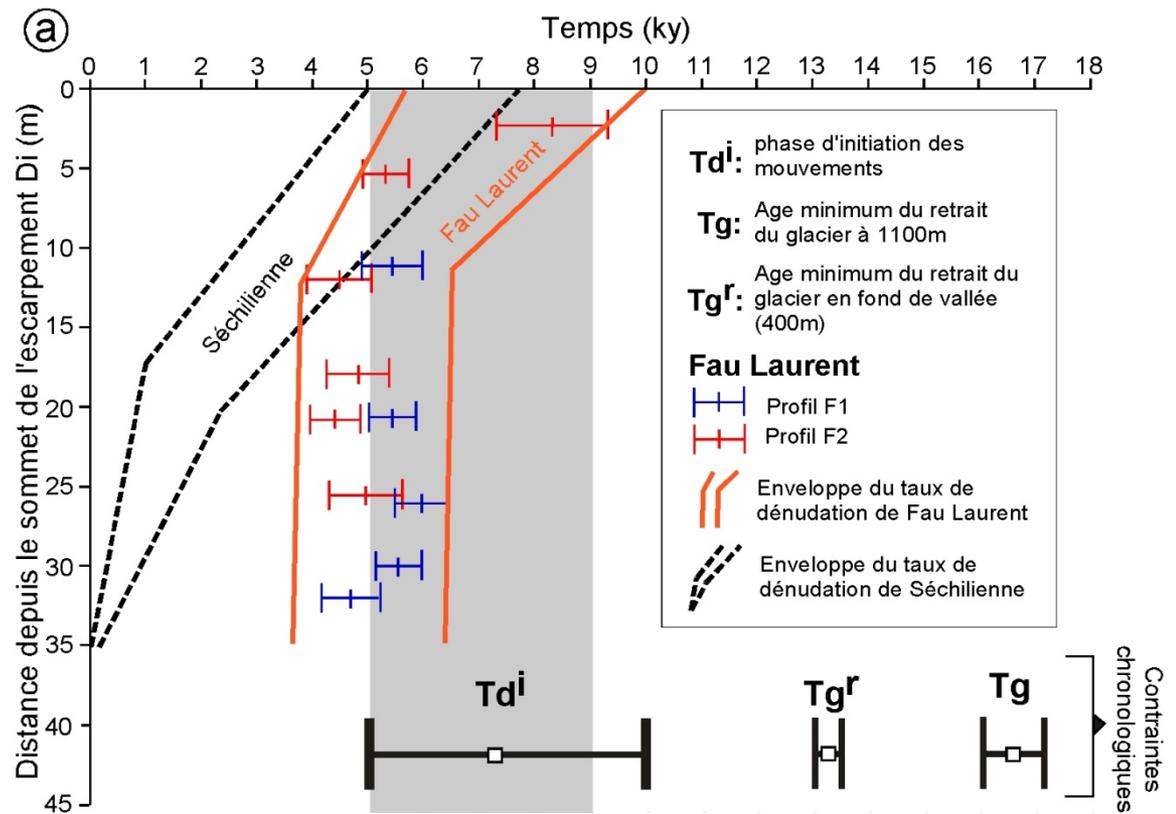
→ âges les plus récents (<1ka) sont interprétés comme la marque d'une activité récente de chute de blocs

→ absence de profils ne nous permet pas de remonter à la dynamique de dénudation



## 6-Discussion

→ Initiation des 3 glissements se fait dans une même gamme temporelle de  $7,5 \pm 2,5$   $^{10}\text{Be}$  ka ( $T_{di}$ )

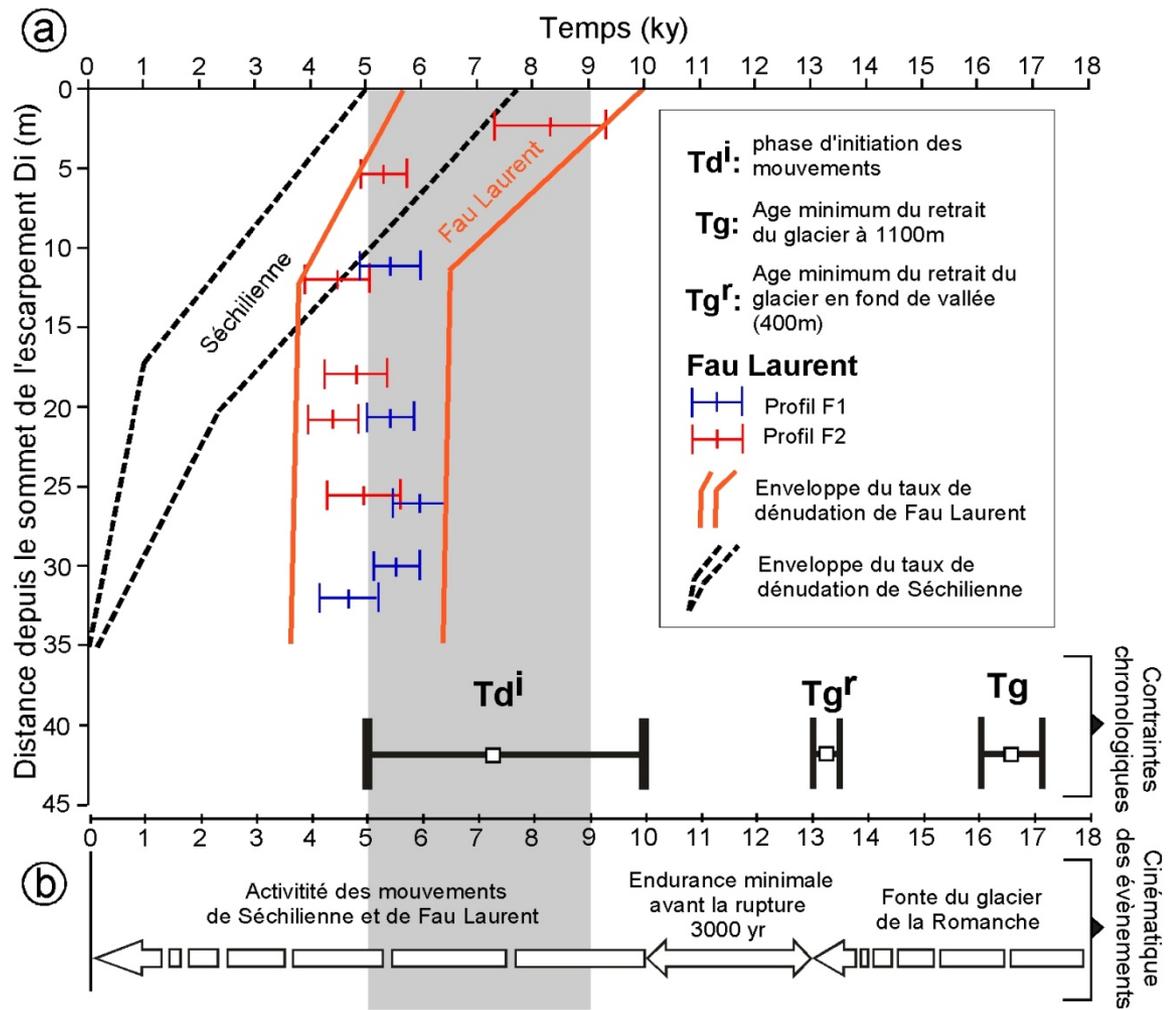


## 6-Discussion

→ Initiation des 3 glissements se fait dans une même gamme temporelle de  $7,5 \pm 2,5$   $^{10}\text{Be}$  ka ( $T_{di}$ )

→ Délais entre le retrait du glacier en fond de vallée (13,3ka) et l'initiation des instabilités est de **3000ans**

→ Il s'agit d'une endurance minimale du massif avant la rupture sorte d'ajustement dynamique entre rebond isostatique et cohésion interne



## 6-Discussion

→ Initiation des 3 glissements se fait dans une même gamme temporelle de  $7,5 \pm 2,5$   $^{10}\text{Be}$  ka ( $T_{di}$ )

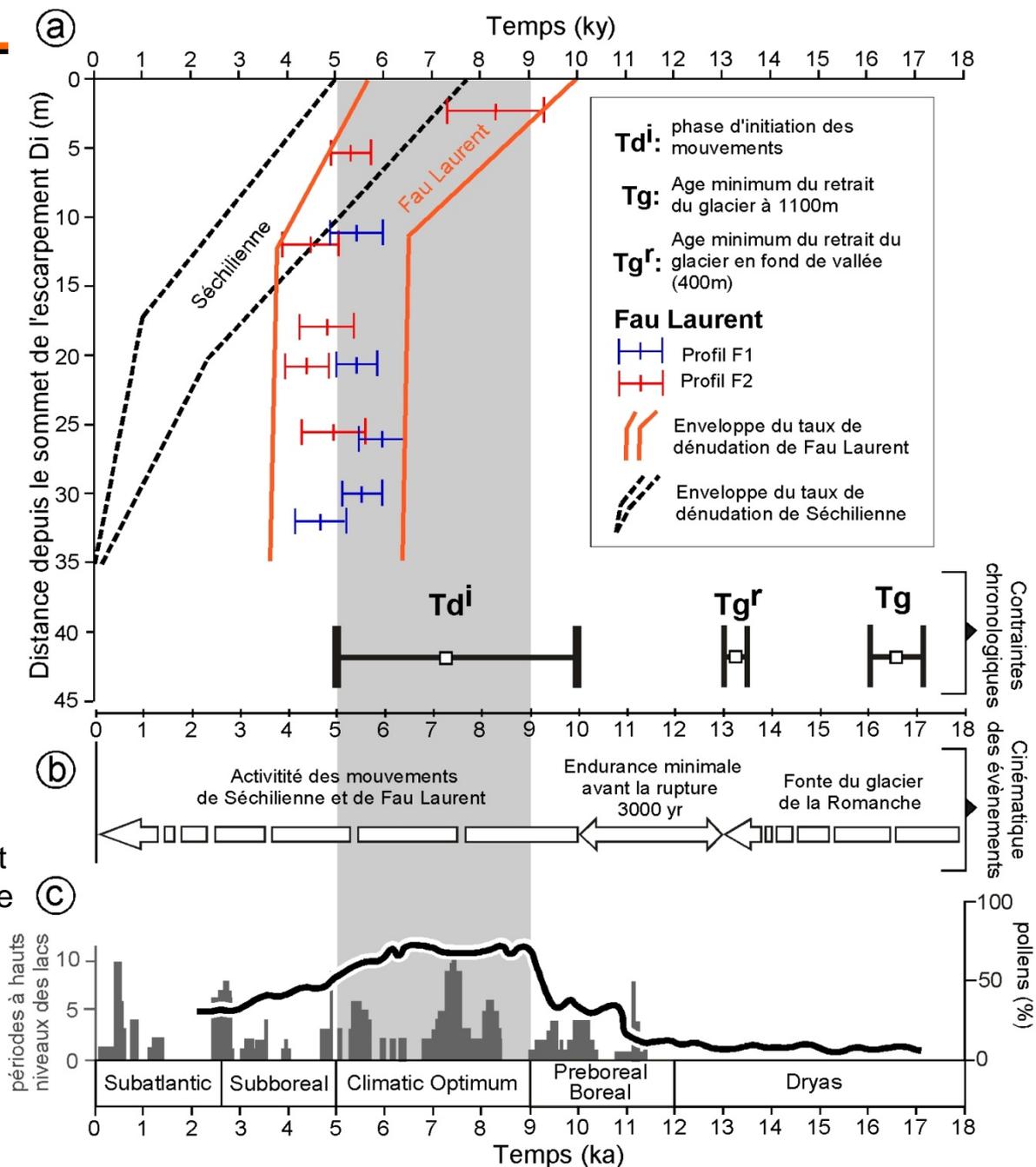
→ Délais entre le retrait du glacier en fond de vallée (13,3ka) et l'initiation des instabilités est de **3000ans**

→ Il s'agit d'une endurance minimale du massif avant la rupture sorte d'ajustement dynamique entre rebond isostatique et cohésion interne

→ l'initiation des 3 mouvements s'est déroulée durant l'**Optimum climatique Holocène** (entre 9 et 5ka) période chaude et humide

→ nous suggérons que le déclenchement de l'activité instable à l'échelle de la partie sud de Belledonne soit contrôlé par ce changement climatique majeur

→ augmentation des précipitations permet de diminuer la résistance mécanique des roches



## 7-Conclusion

- 18 nouvelles datations  $^{10}\text{Be}$  ont été réalisées sur les escarpement de Fau Laurent et Vaulnavay de façon ponctuelle ou le long de profils verticaux
- Ces données permettent de contraindre la phase d'initiation compatible entre les 2 mouvements à  $7,9 \pm 2,1$   $^{10}\text{Be ka}$
- Dans le cas de Fau Laurent les enveloppes de vitesse de dénudation indiquent un déplacement précoce lent suivi d'une phase rapide à  $7,9 \text{ cm/an}$
- Dans le cas de Vaulnavay les datations  $^{10}\text{Be}$  montrent une grande variabilité avec des âges récents (<1000ans) témoignant d'une activité récente associée à la chute de blocs
- La compilation de ces nouvelles données chronologiques avec celles déjà existantes sur Séchilienne montrent que les 3 mouvements se sont initiés pour une même gamme temporelle à  $7,5 \pm 2,5$   $^{10}\text{Be ka}$
- La comparaison des âges d'initiation de la rupture et de l'âge de désenglacement du fond de la vallée implique une endurance du massif de 3000 ans minimum avant la rupture. Ainsi la déstabilisation des versants n'apparaît pas comme une conséquence immédiate du phénomène de rebond isostatique lié à la disparition de la glace dans la vallée de la Romanche (debuttressing).
- La phase d'initiation des mouvements se produit durant la période chaude et humide de l'Optimum climatique Holocène. Ce résultat suggère que les changements de températures ainsi que le régime des précipitations durant cet intervalle de temps à un effet significatif sur le déclenchement et l'affaiblissement des versants rocheux glaciaires.