

# Morphologie des falaises et Risque d'éboulements

**David Amitrano, Didier Hantz – ISTerre  
Thierry Villemin – Edytem**

**Contributeurs : Laurent Troubat, Hilary Dyer**



## Détection et caractérisation des chutes de blocs

### Motivation sociétale et scientifique

**Chutes de blocs = Risque gravitaire majeur en zone urbaine et péri-urbaine**

**Détection « a priori » très difficile**

**Avancées scientifiques bloquées par le manque de base de données fiables et exhaustives**

**Progrès techniques récents permettent d'améliorer significativement la qualité des données**



**Catalogues suffisamment complets et systématique**

**→ avancées significatives dans la compréhension des phénomènes gravitaires**

*Ex Dussauge et al 2003, Dewez\_ al 2009, Tatard et al. 2009, Ravanel et al. 2010*



## Méthodes actuelles d'élaboration des catalogues de chute de blocs

→ Essentiellement basées sur la recherche documentaire

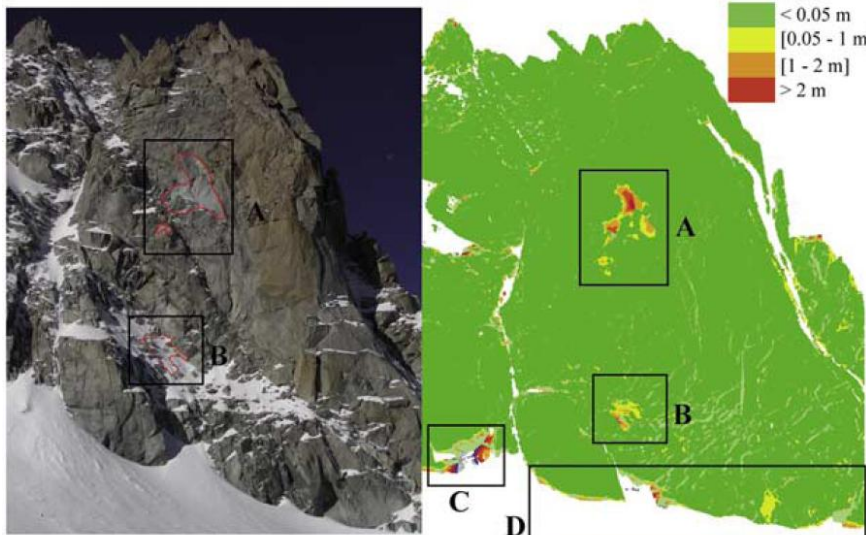
### 2 biais méthodologiques

- **Détection des chutes de blocs**
  - impact sur des ouvrages
  - trace visible dans le paysage
  - témoin direct
- **Estimation des volumes**
  - à partir de la trace de la cicatrice (relation surface/volume ?)
  - à partir du dépôt de la masse éboulée (foisonnement? Épaisseur du dépôt?)

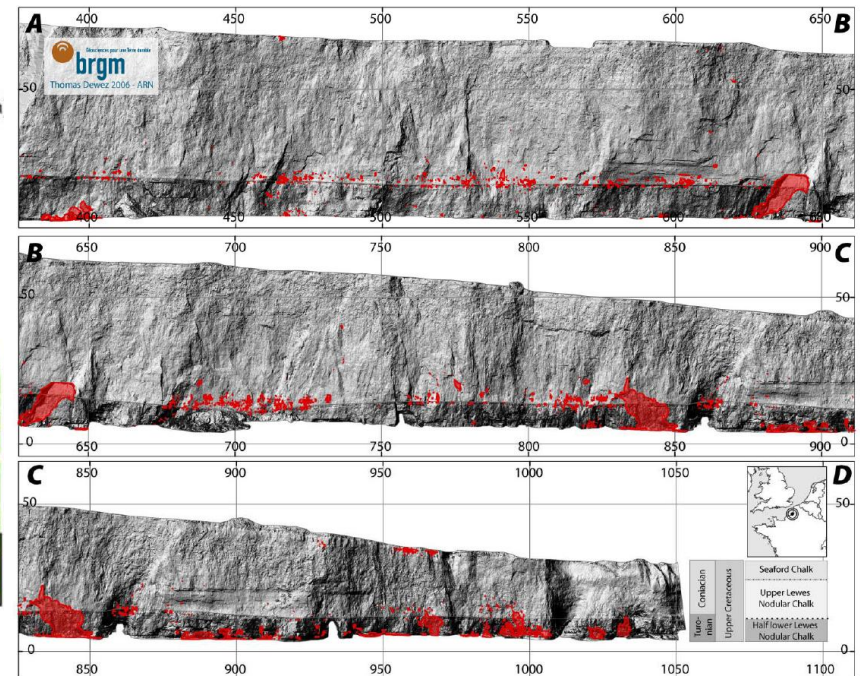


**Nécessité de développer des méthodes  
de détection fiables et systématiques pour progresser  
dans la compréhension des éboulements rocheux**

## Progrès récents dans la détection et caractérisation des chutes de blocs: Méthode différentielle entre 2 Modèles Numériques de Surface (MNS) obtenus par levés Lidar



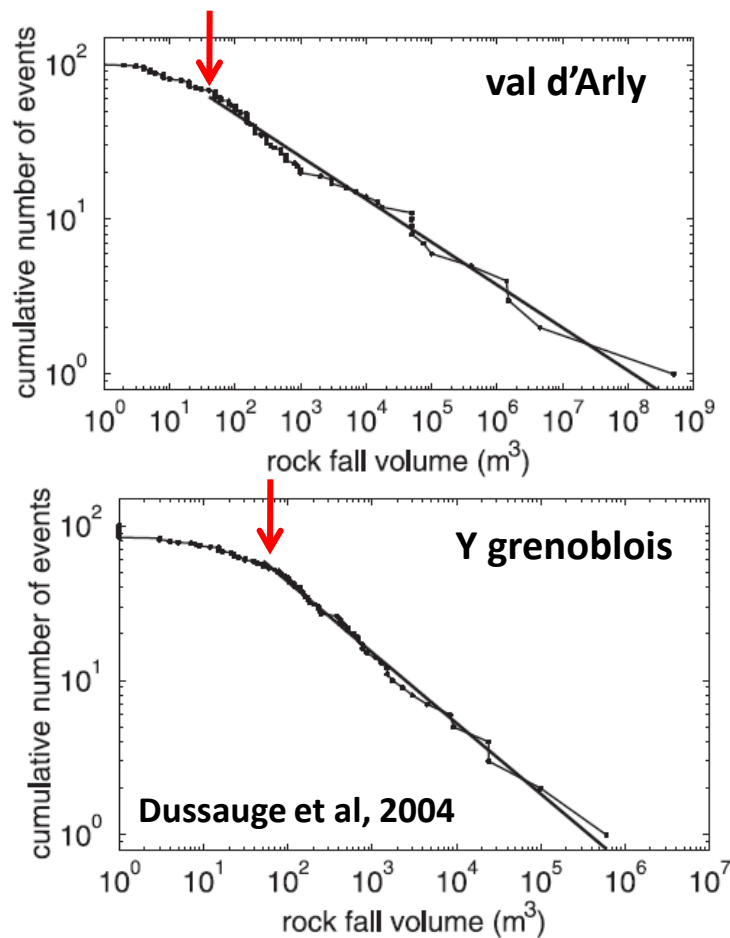
la Tour Ronde, Massif du Mont Blanc (Rabatel et al, 2009).



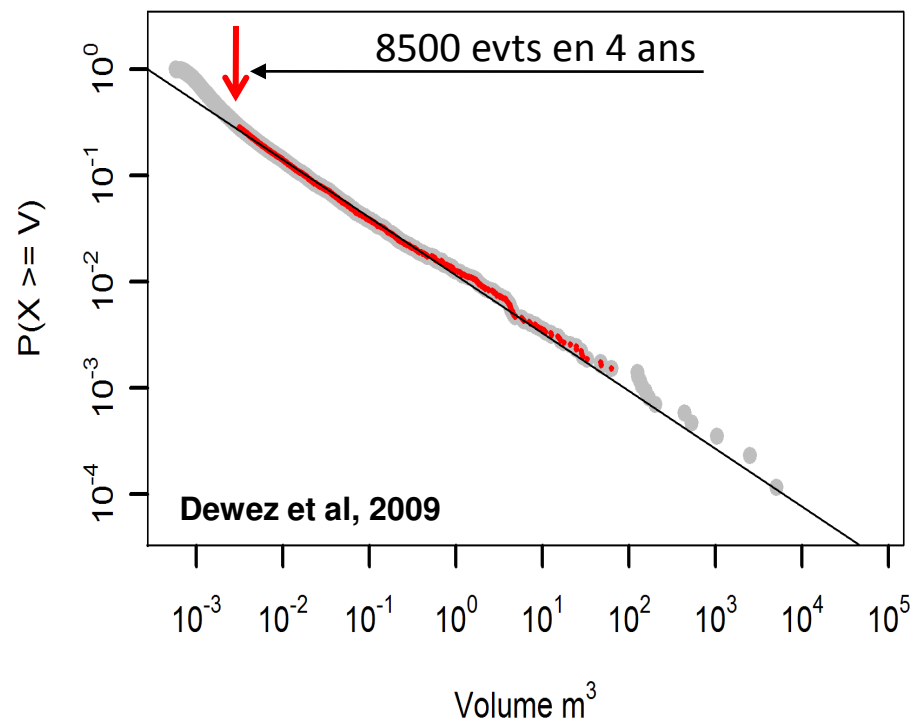
Falaise de côtère de Mesnil Val, Haute-Normandie  
(Dewez et al, 2009).

## Gain potentiel significatif en terme de détection

### Méthode recherche documentaire



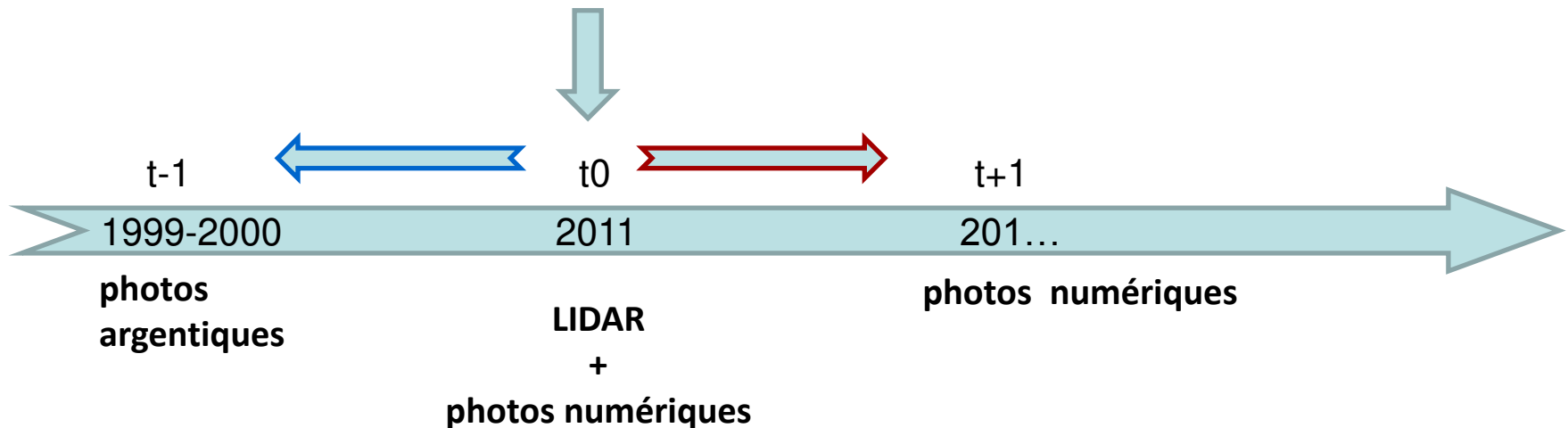
### Méthode différentielle entre 2 MNS



**Abaissement significatif du seuil de détection  
réduction du biais d'échantillonnage**

## Objectifs du projet :

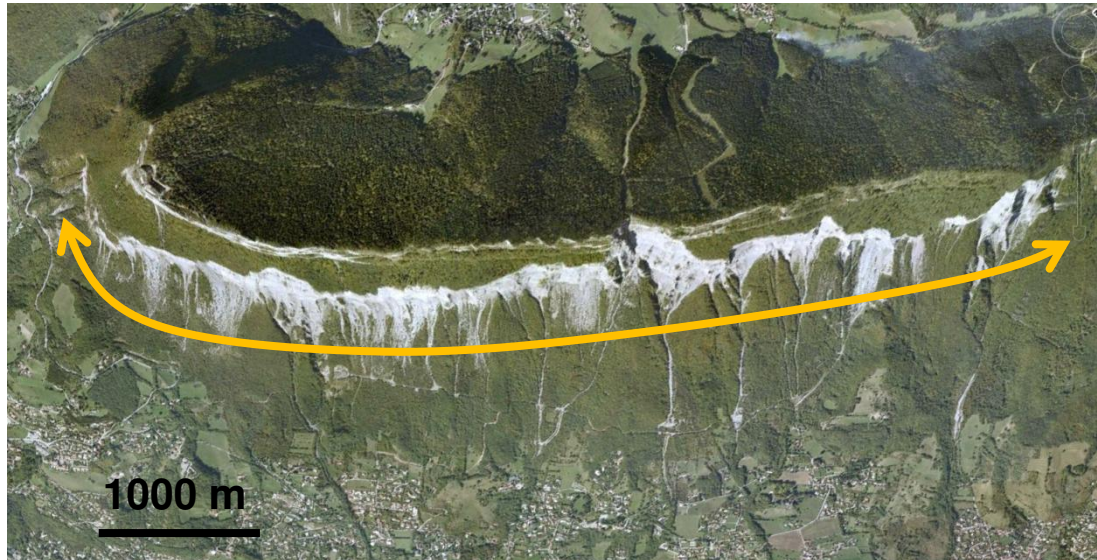
- **Faire une mesure de référence pour l'estimation de l'érosion future (Lidar + photo numériques) sur un site pilote (St Eynard)**
- **Développer des méthodes de mesures internalisables à moindres coûts (reconstruction du relief par photogrammétrie)**
  - **estimation d l'érosion future (différentiel Lidar/Photo)**
  - **estimation de l'érosion passée (utilisation de clichés argentiques passés)**



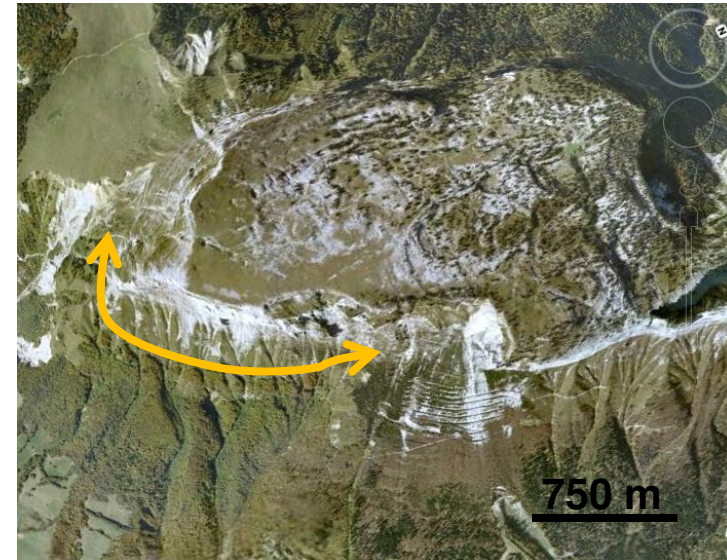


**Mesures de référence (Lidar + photo numériques)  
sur le site pilote du St Eynard et la Dent de Crolles**

St Eynard



Dent de Crolles



**Mesures réalisées par Sintégra**



t0

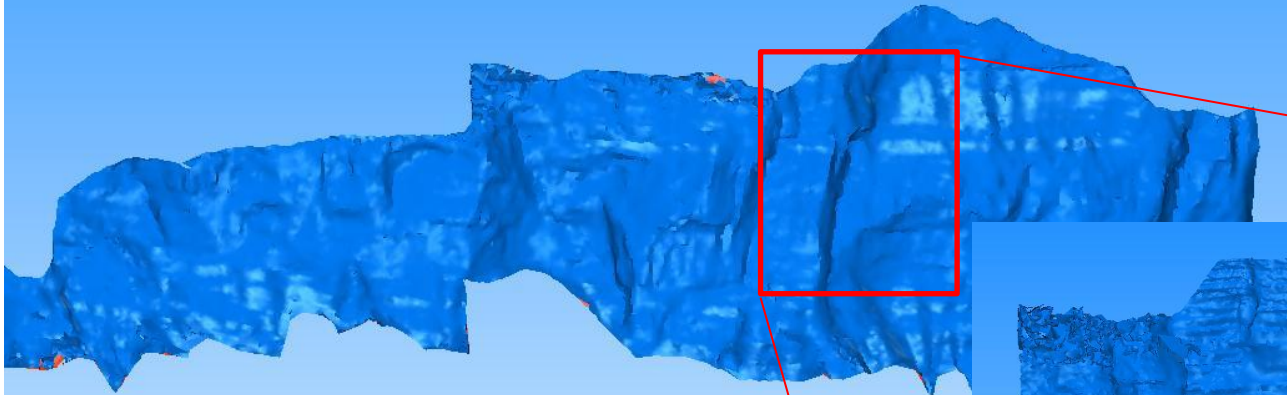


2011

**LIDAR +  
photos numériques**

***Mesure de référence (Lidar + photo numériques)  
sur le site pilote du St Eynard et la Dent de Crolles***

St Eynard, falaise inférieure, partie sud



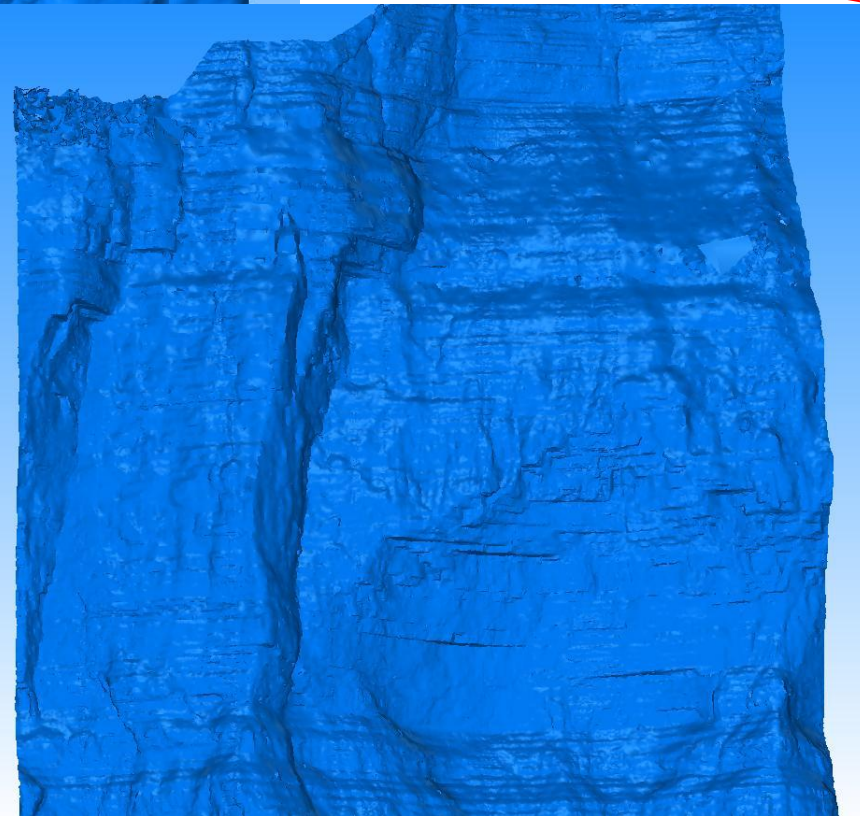
5 km de falaises, 400 m de hauteur  
Densité ~ 25 pt / m<sup>2</sup>



t<sub>0</sub>

2011

**LIDAR +  
photos numériques**

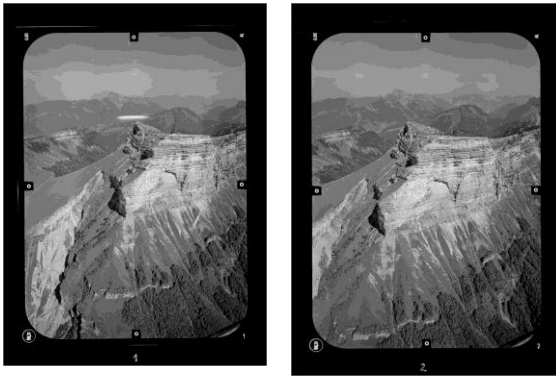




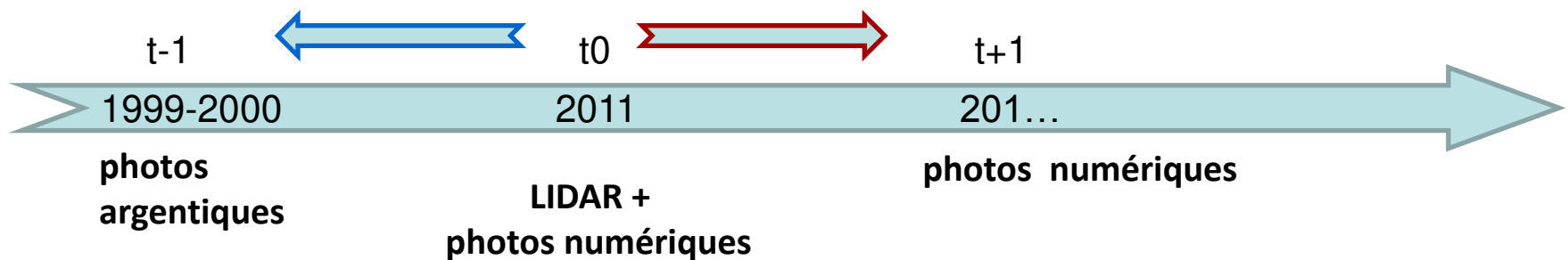
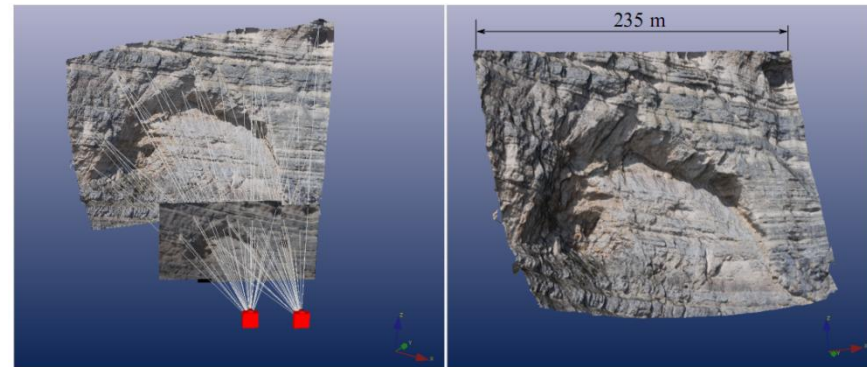
## Développement de méthodes de mesures Reconstruction du relief par photogrammétrie

- *estimation d'érosion future (différentiel Lidar/Photo)*
- *estimation de l'érosion passée (utilisation de clichés argentiques passés)*

Campagne aéroporté 1999-2000

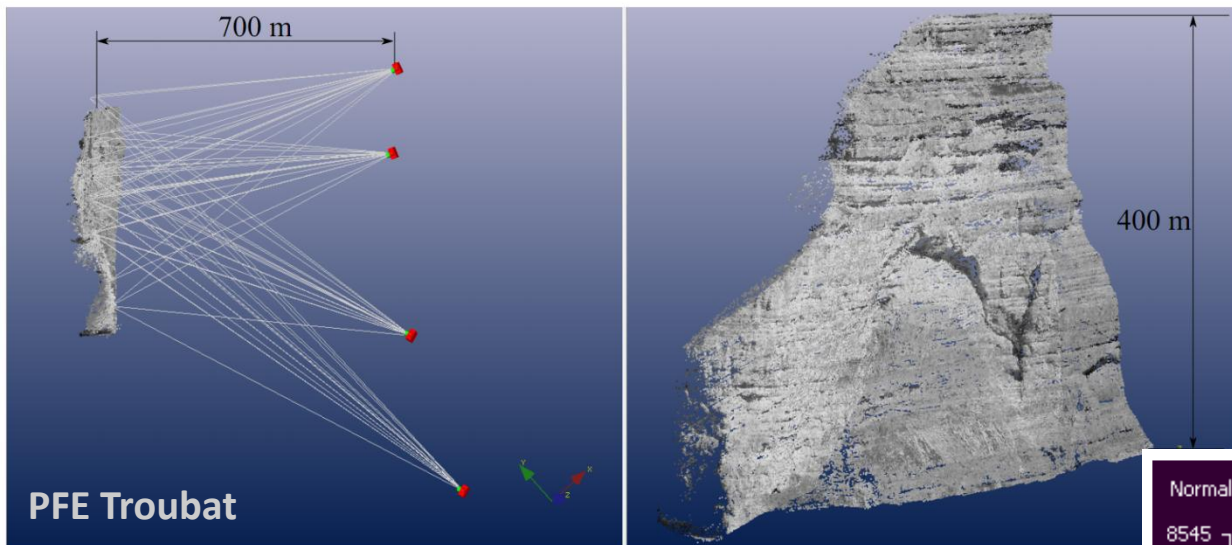


Campagne aéroporté 2011



## Développements méthodologiques : Valorisation des photos argentiques

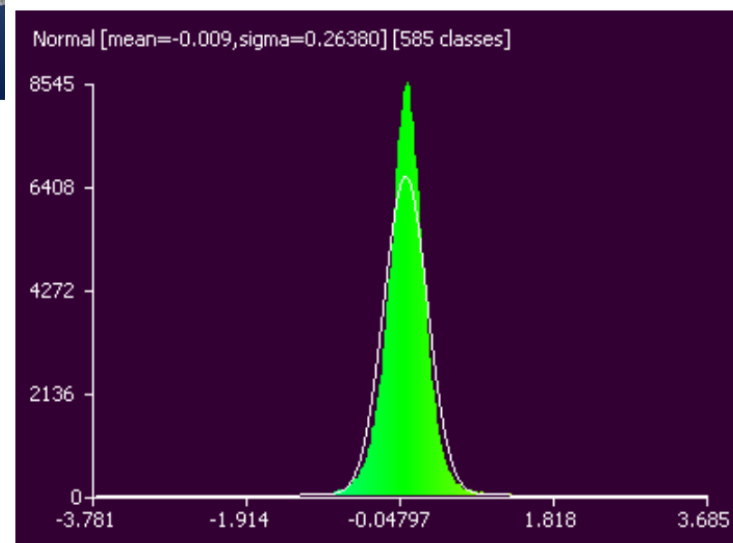
### Différentiel Lidar / Photogrammétrie argentique



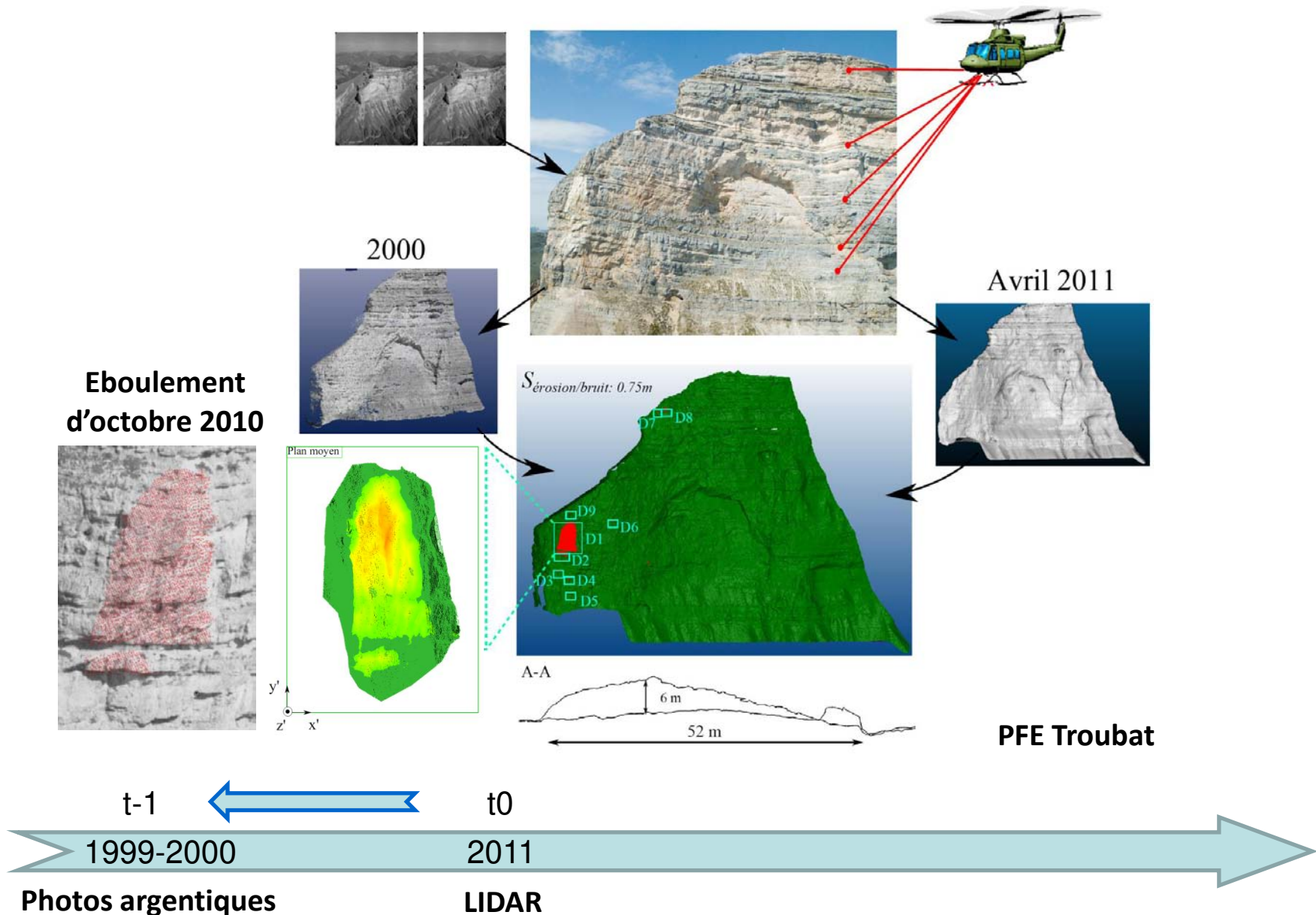
### Écarts entre Lidar et photogrammétrie argentique

Moyenne  $\sim -0.009$  m

Écart type  $\sim 0.26$  m



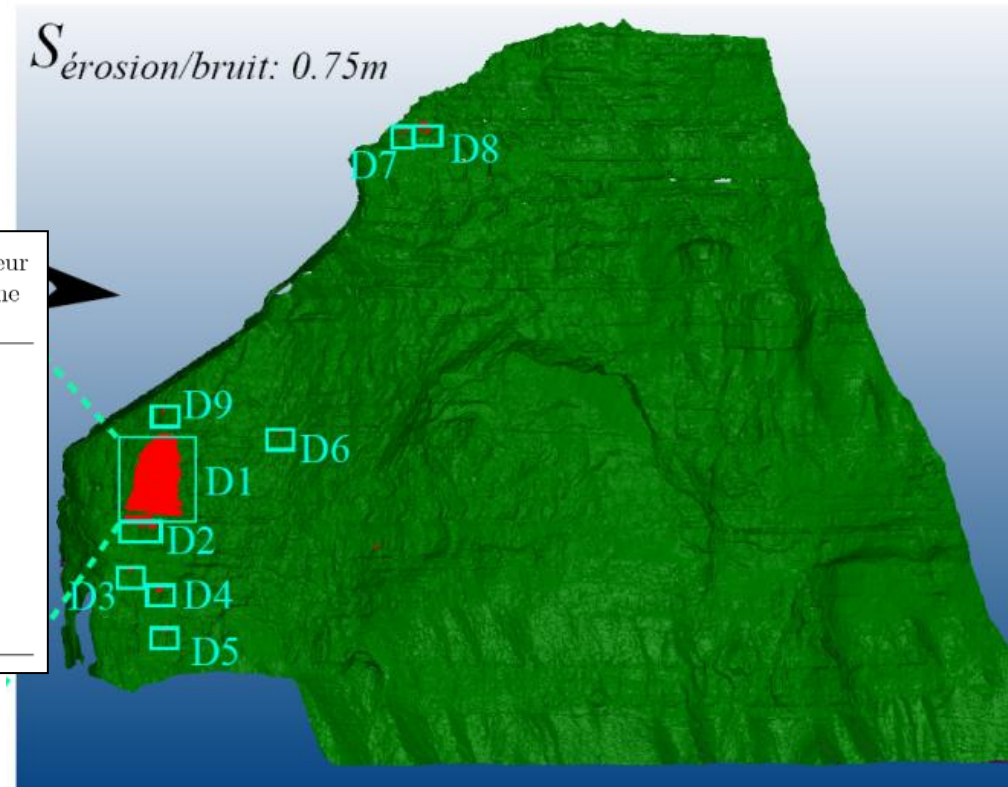
## Développements méthodologiques : Différentiel Lidar / Photogrammétrie argentique





Recensement des éboulements 2000/2011: Différentiel Lidar / Photogrammétrie argentique,

ID	Volume ( $m^3$ )	Précision volume ( $m^3$ )	Surface ( $m^2$ )	Périmètre ( $m$ )	Épaisseur maxi ( $m$ )	Épaisseur moyenne ( $m$ )
D1	3865	12	1147	198	8.0	3.4
D2	219	3.4	92	54	4.1	2.3
D3	18	1	9	16	2.5	2.0
D4	25	1.4	16	20	2.1	1.6
D5	16	1.3	13	18	1.7	1.2
D6	6	0.9	7	12	1.4	0.9
D7	3	0.9	7	12	1	0.7
D8	48	1.5	19	28	3.3	2.5
D9	6	1.2	13.5	18	1.2	0.8

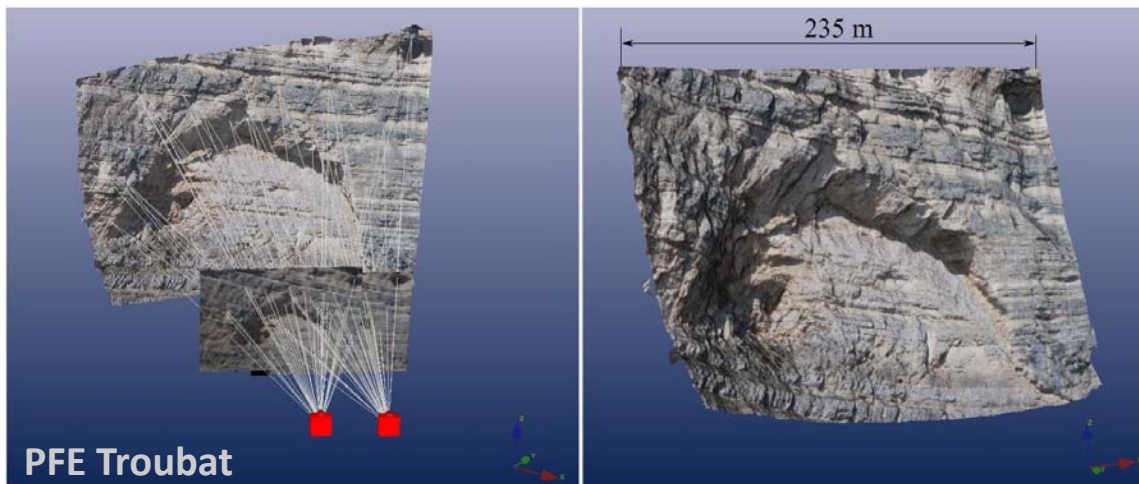


PFE Troubat

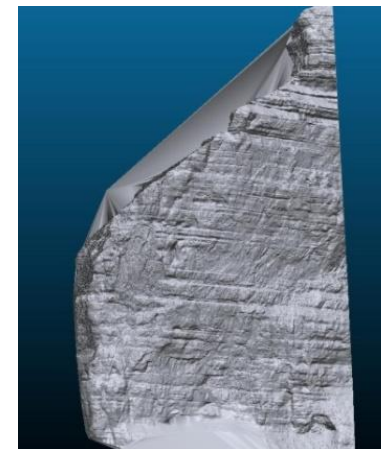


Développements méthodologiques : Comparaison Lidar / Photogrammétrie numérique

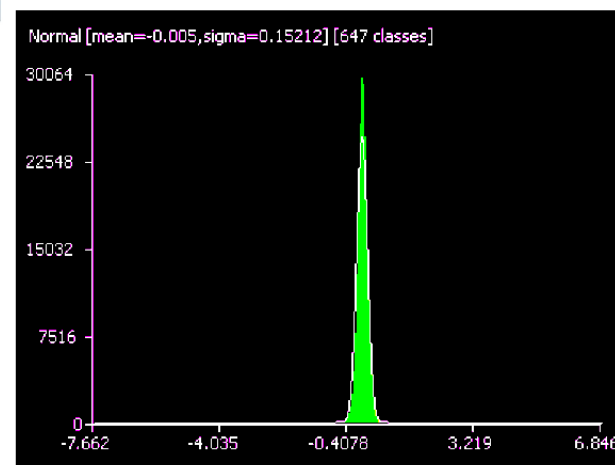
## Photos numériques



## Lidar



## Ecart entre Lidar et photogrammétrie numérique

Moyenne  $\sim -0.005$  mEcart type  $\sim 0.15$  m

t-1

t0

t+1

1999-2000

2011

201...

LIDAR + photos numériques

photos numériques

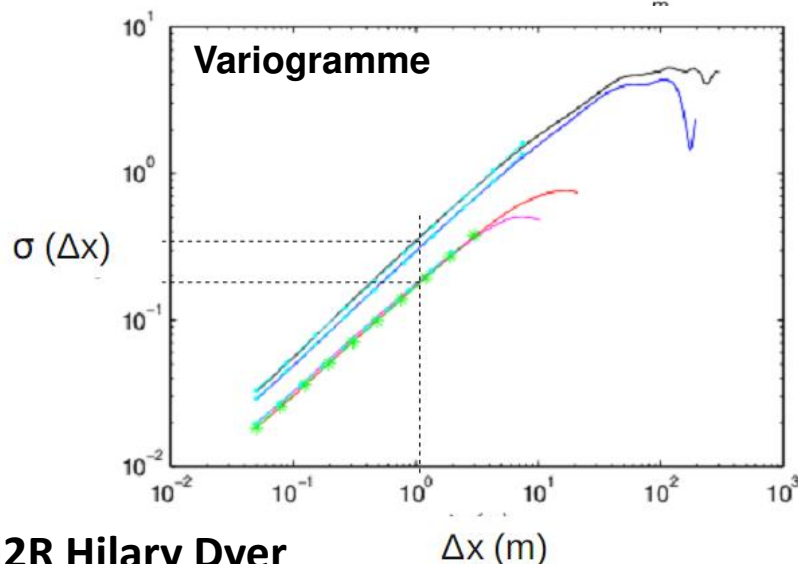
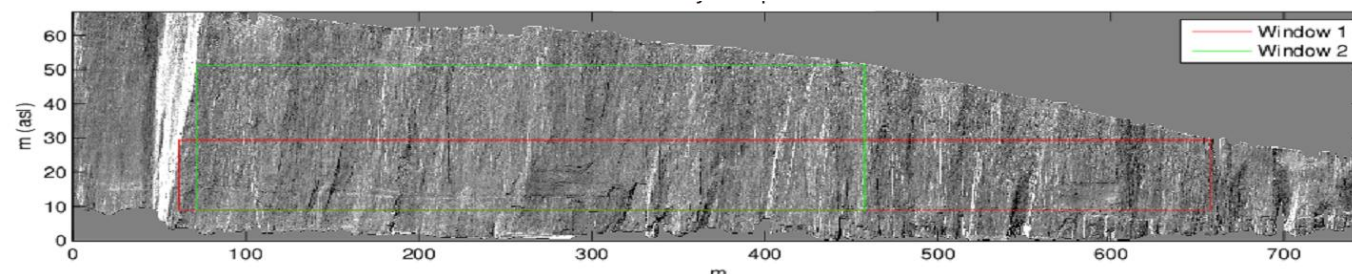
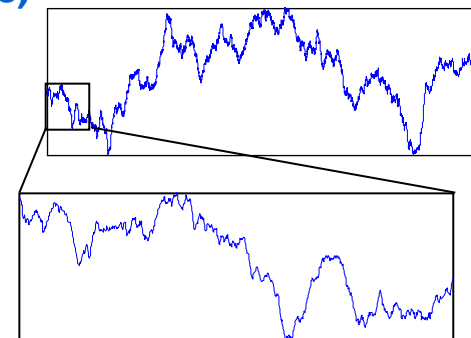
## Aspects plus fondamentaux : Propriétés morphologiques des falaises, lien entre la morphologie des falaises et les chutes de blocs

### Invariance d'échelle de la rugosité, Auto-affinité

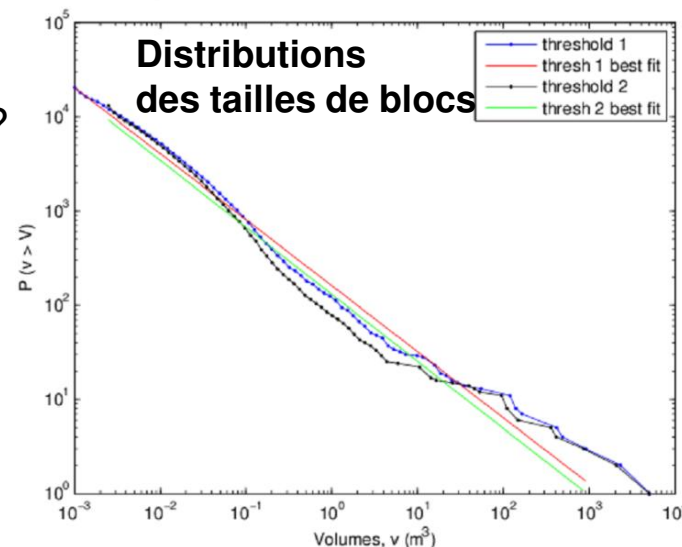
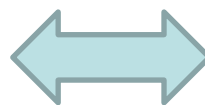
$$h(\lambda x, \lambda y) = \lambda^H h(x, y), \quad H = \text{exposant de Hurst}$$

Propriété universelle des surfaces de ruptures

### Cas des Falaises, Auto-affinité + anisotropie

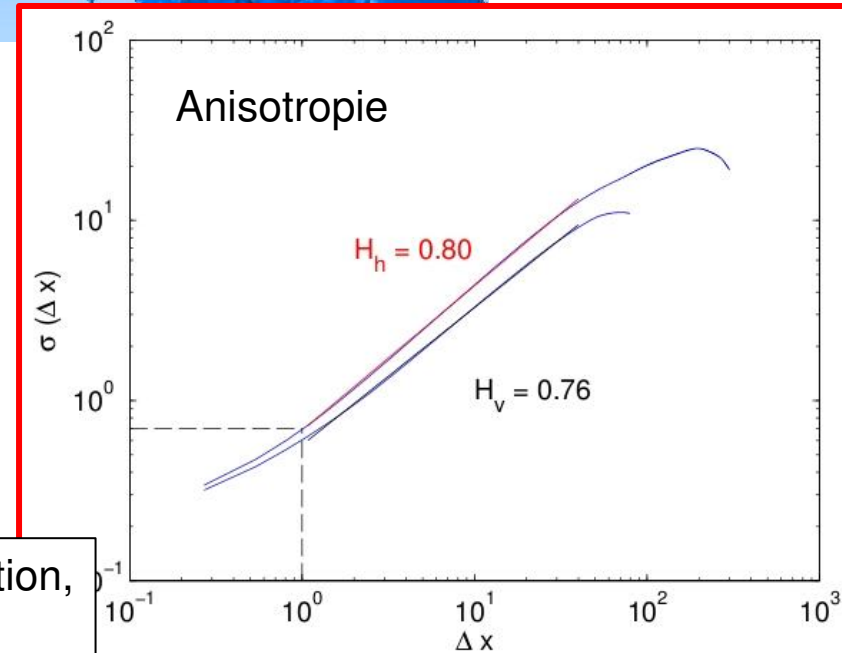
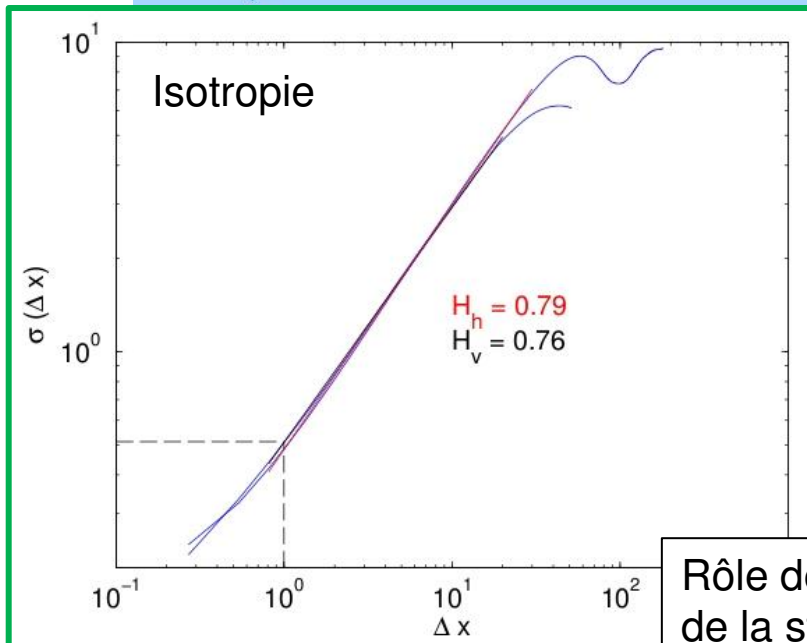
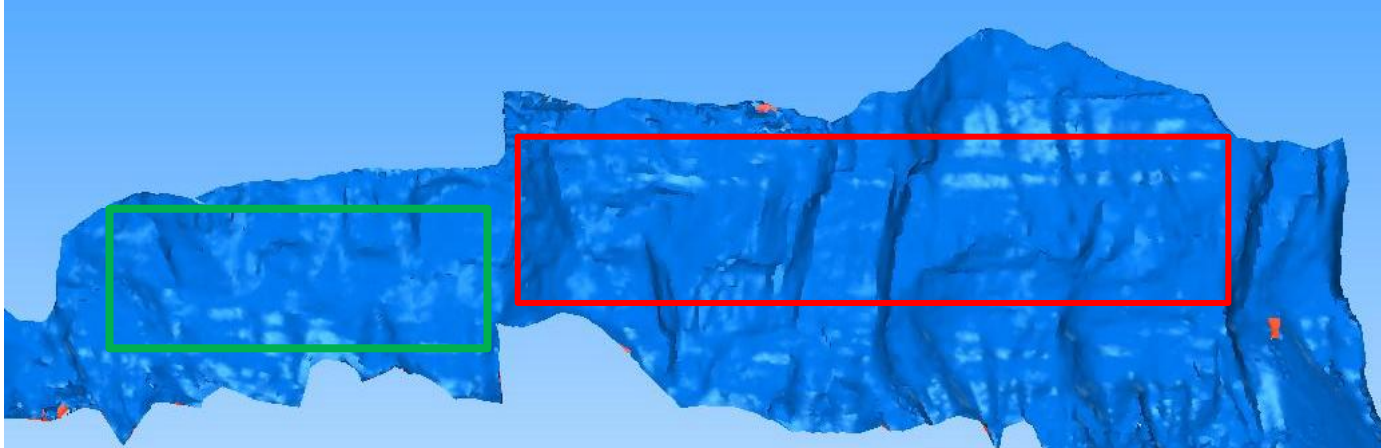


Relations ?



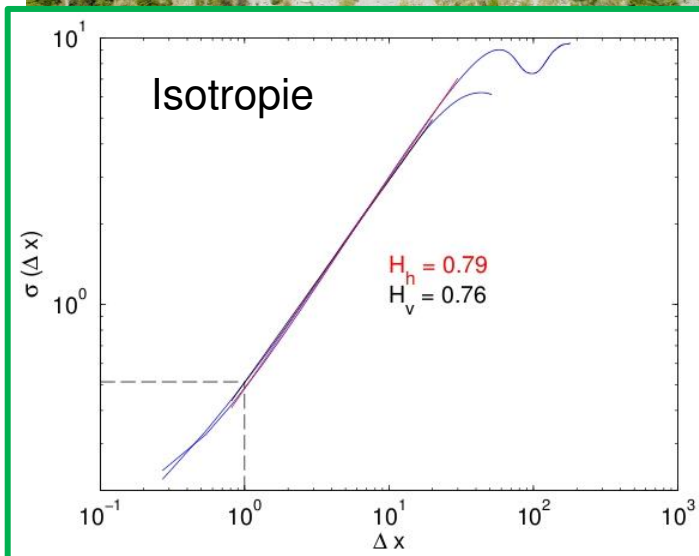
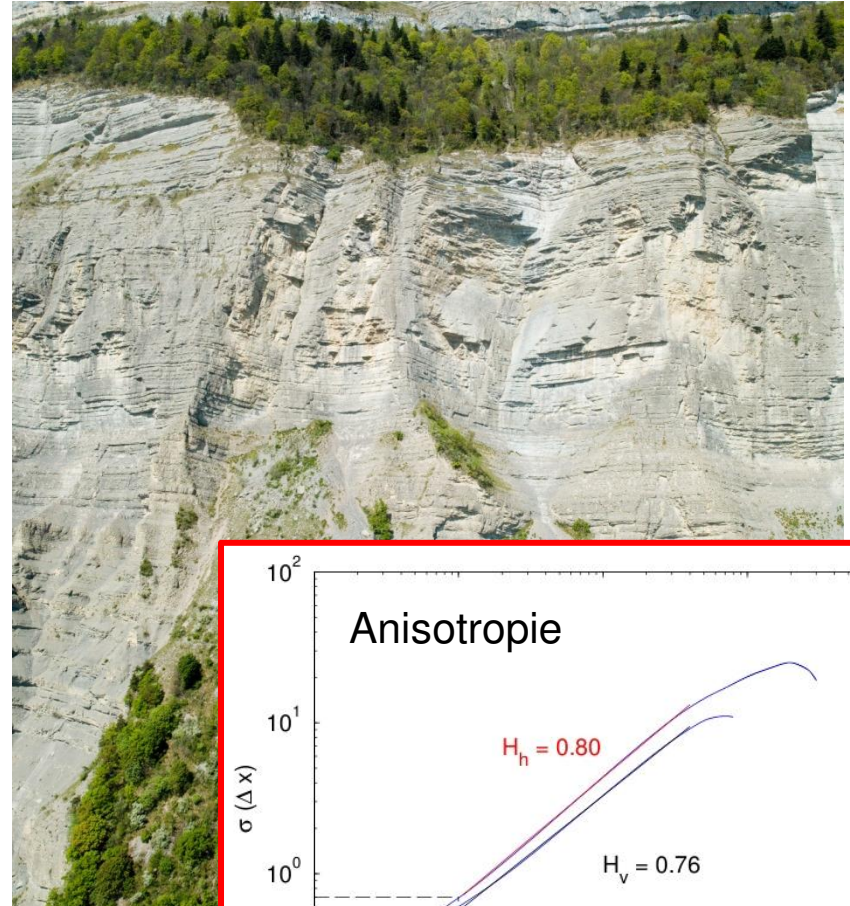
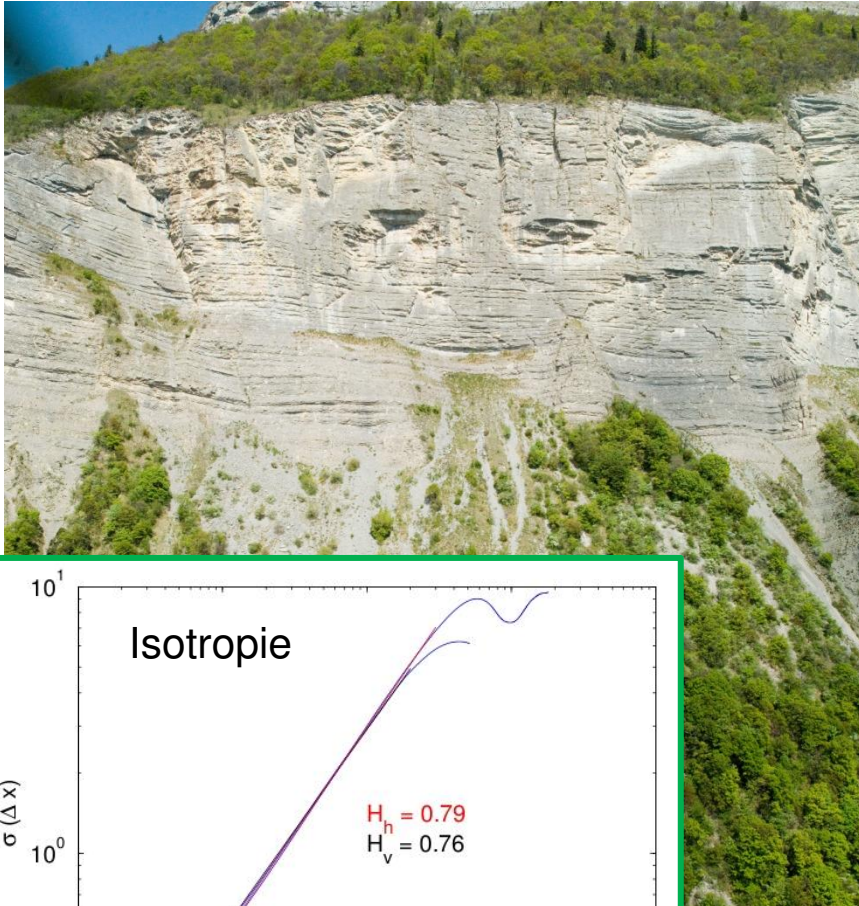


## Aspects plus fondamentaux : Propriétés morphologiques des falaises, lien entre la morphologie des falaises et les chutes de blocs

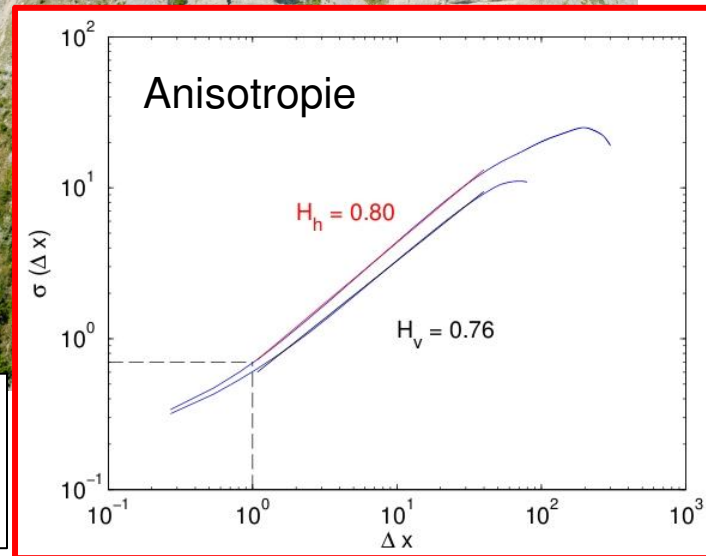


Rôle de la fracturation,  
de la structure,  
de la tectonique ?

## Aspects plus fondamentaux : Propriétés morphologiques des falaises, lien entre la morphologie des falaises et les chutes de blocs



Rôle de la fracturation,  
de la structure,  
de la tectonique ?





Retombées attendues :

## Relation entre l'activité d'érosion et les évolutions récentes du climat

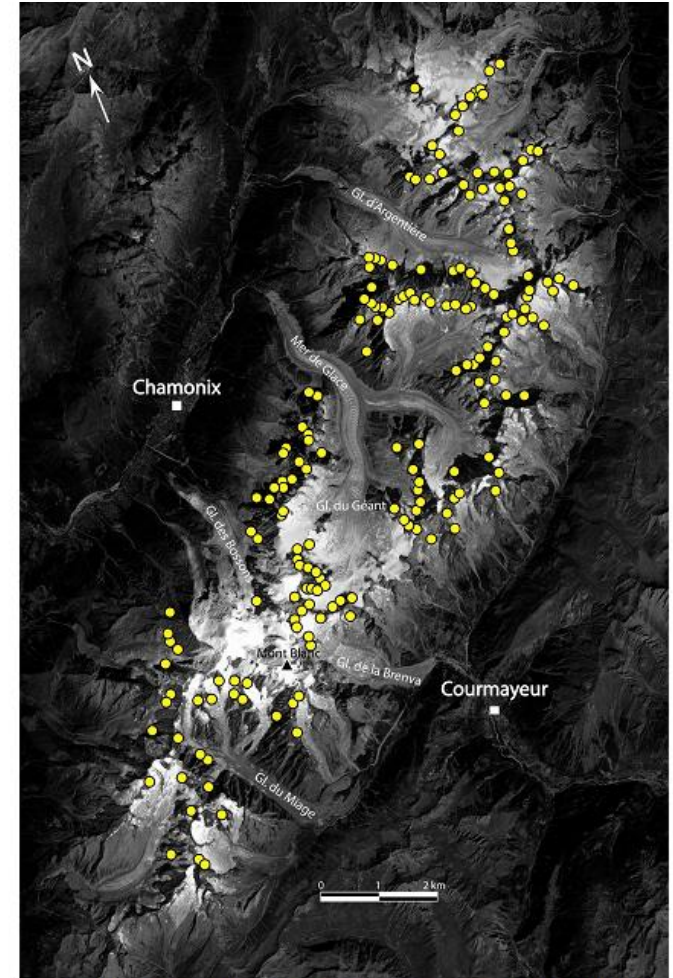
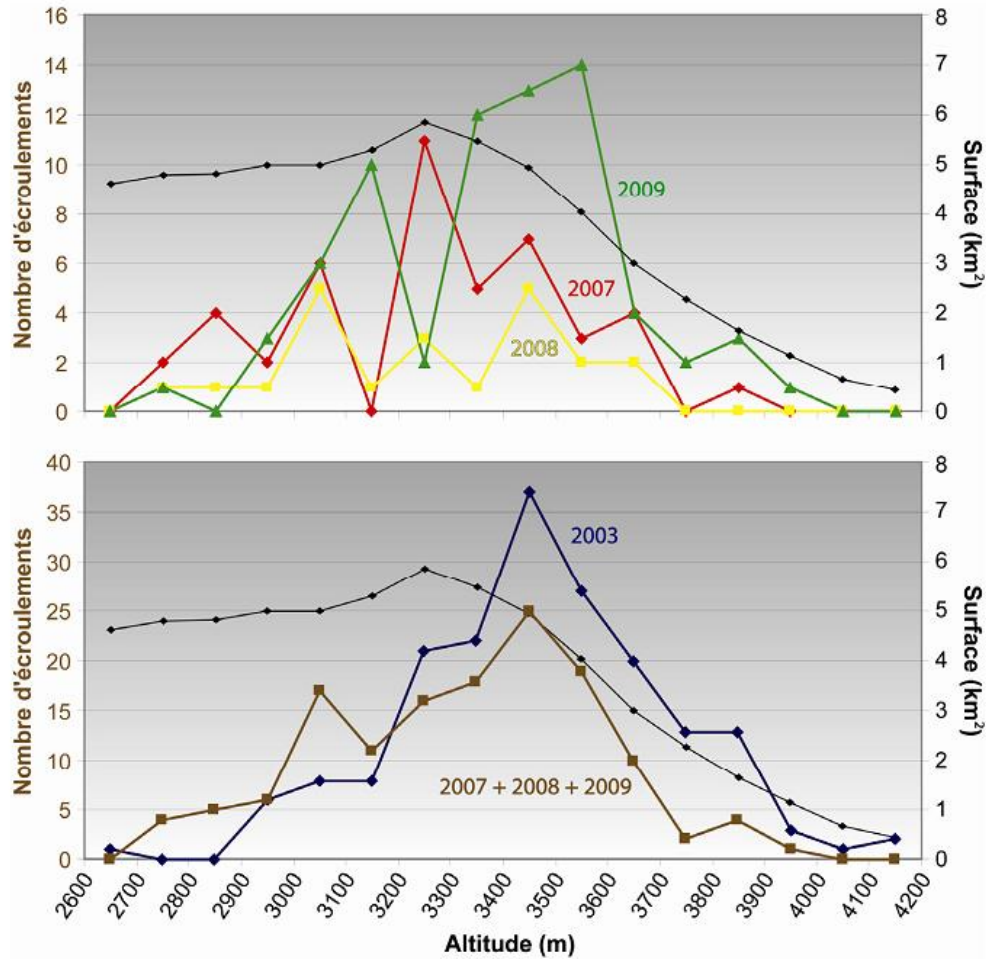


Fig. 8.14 – Position des 182 écoulements de 2003 sur un secteur de l'image satellite SPOT-5 panchromatique 051/257 du 23 août 2003 (10 h 50 TU). Position of the 182 rockfalls of 2003 on a sector of the panchromatic SPOT-5 satellite image 051/257 of the 23 August 2003 (10:50 GMT).



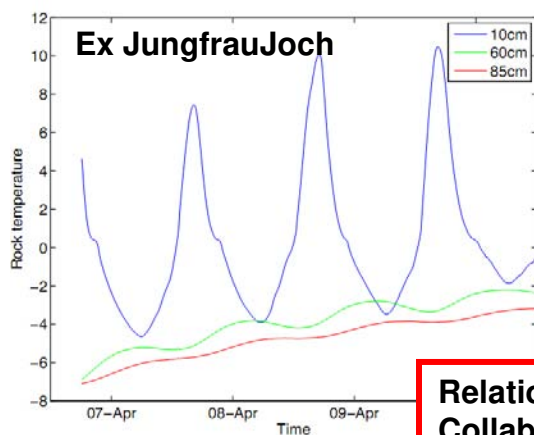
Perspectives :

## Développement possible vers un observatoire des falaises

Couverture photo et Lidar



- Station météo, température de la roche à différentes profondeurs

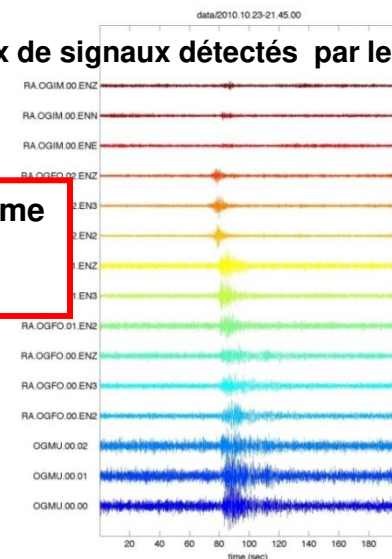


Relation avec le climat  
Collab. Univ. Zurich, S. Gruber

- Détection sismologique des chutes de blocs

Relation énergie sismique/volume  
Technique en développement  
sur Séchilienne

Ex de signaux détectés par le RAP



## Conclusion :

Réalisation d'un état 2011 de la morphologie pour deux sites rocheux de l'Y grenoblois  
- possibilité d'estimer précisément l'érosion dans le futur

Mise au point d'une méthodologie associant photogrammétrie argentique, numérique  
et Lidar

- valorisation de clichés argentiques et/ou numériques
- possibilité d'estimer l'érosion passée sur une dizaine d'années

Mise en œuvre

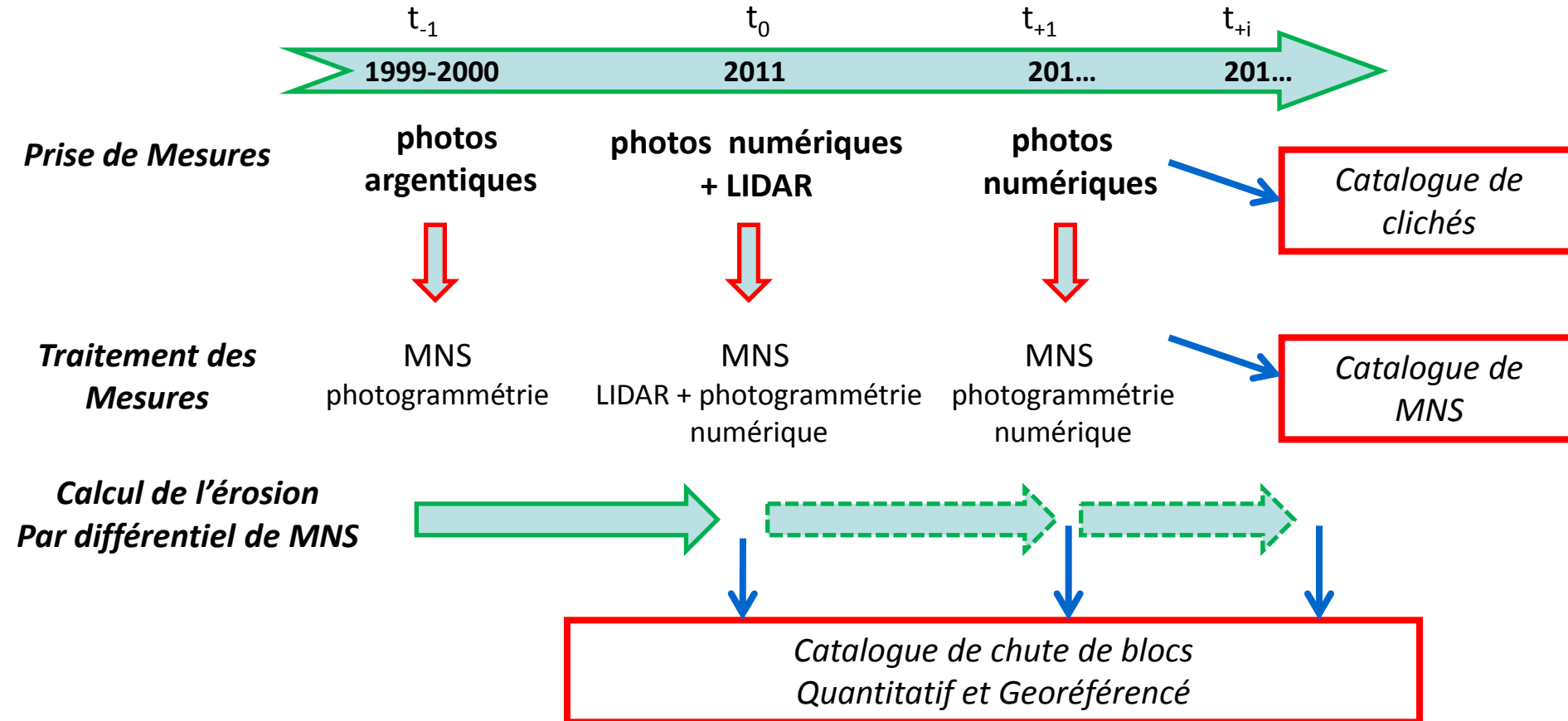
- éboulement de la dent de Crolles d'octobre 2010
- en cours: éboulement du Néron (aout et décembre 2011) ,  
éboulement de Crolles (15 janvier 2012)

Prolongement

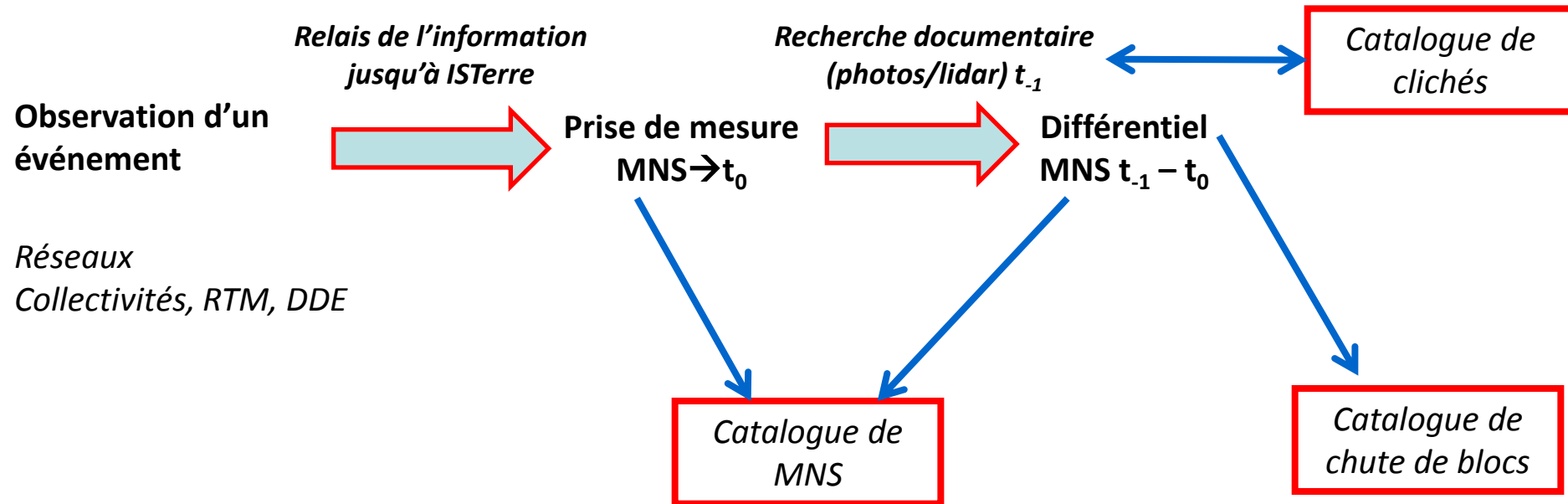
Atelier d'observation (soutenu par l'OSUG)





**OMIV- Observatoire des falaises****Schéma d'intervention périodique à intervalle régulier (Y grenoblois)**

**Partenariat :** Edytem, Symme, Université de Savoie (mesures Lidar, photogrammétrie, catalogues Savoie/Haute Savoie)  
 BRGM (différentiels Lidar, falaises côtières Normandie)  
 Membres du groupe OMIV (catalogues de clichés)

**Observatoire des falaises****Schéma d'intervention sur des événements exceptionnels**

**Partenariat : RTM, DDE, collectivités territoriales (relais d'information)**

**Réseaux RAP et SISMALP (Détection sismologique des chutes de blocs majeurs)**

**Membres du groupe OMIV (relais d'information)**