

Datation ^{10}Be et utilisation en géomorphologie

Vincent Regard, LMTG, Toulouse

regard@lmtg.obs-mip.fr

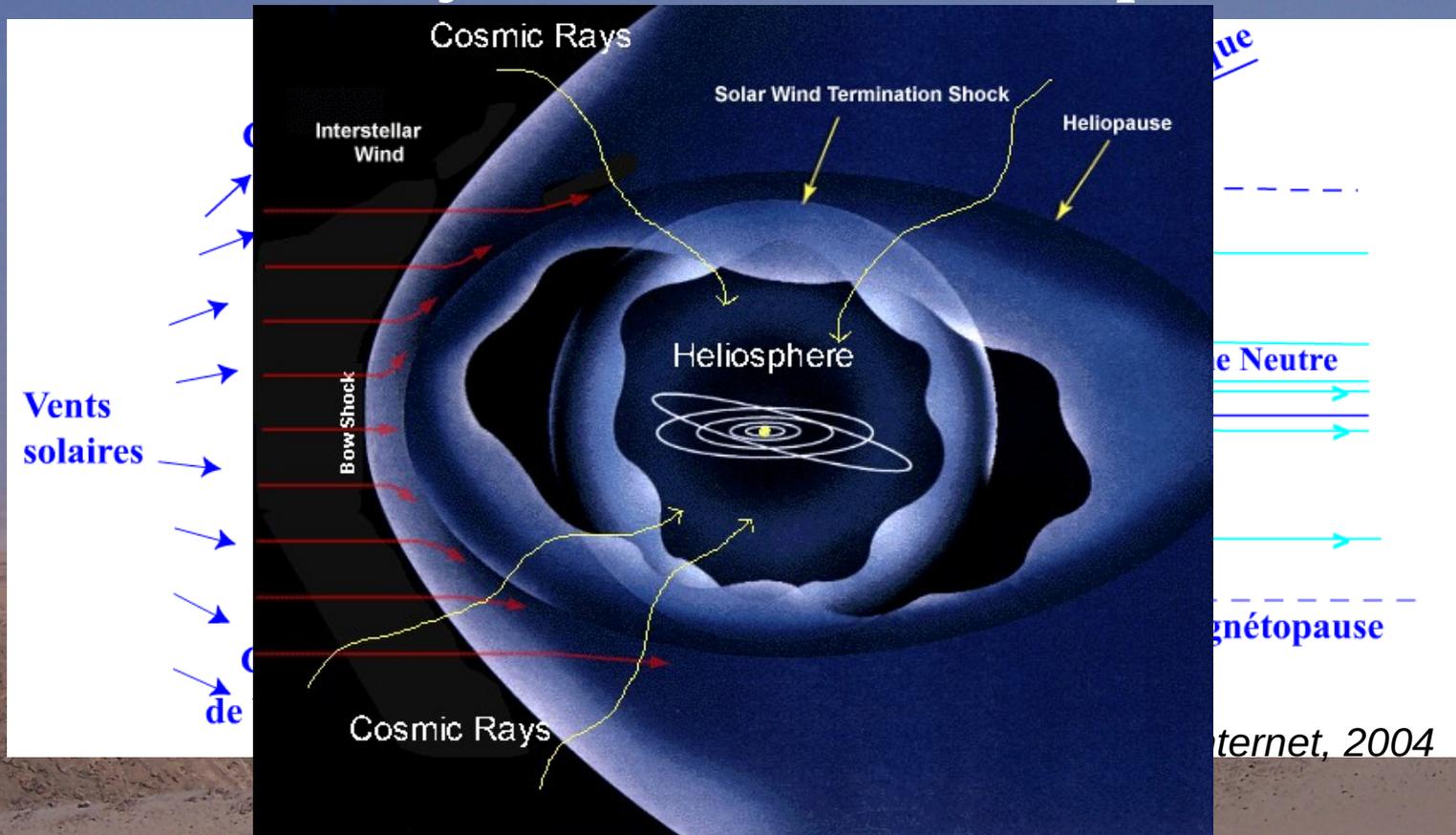
Résultats de... S. Carretier, M. Saillard, R. Vassallo...



Principe



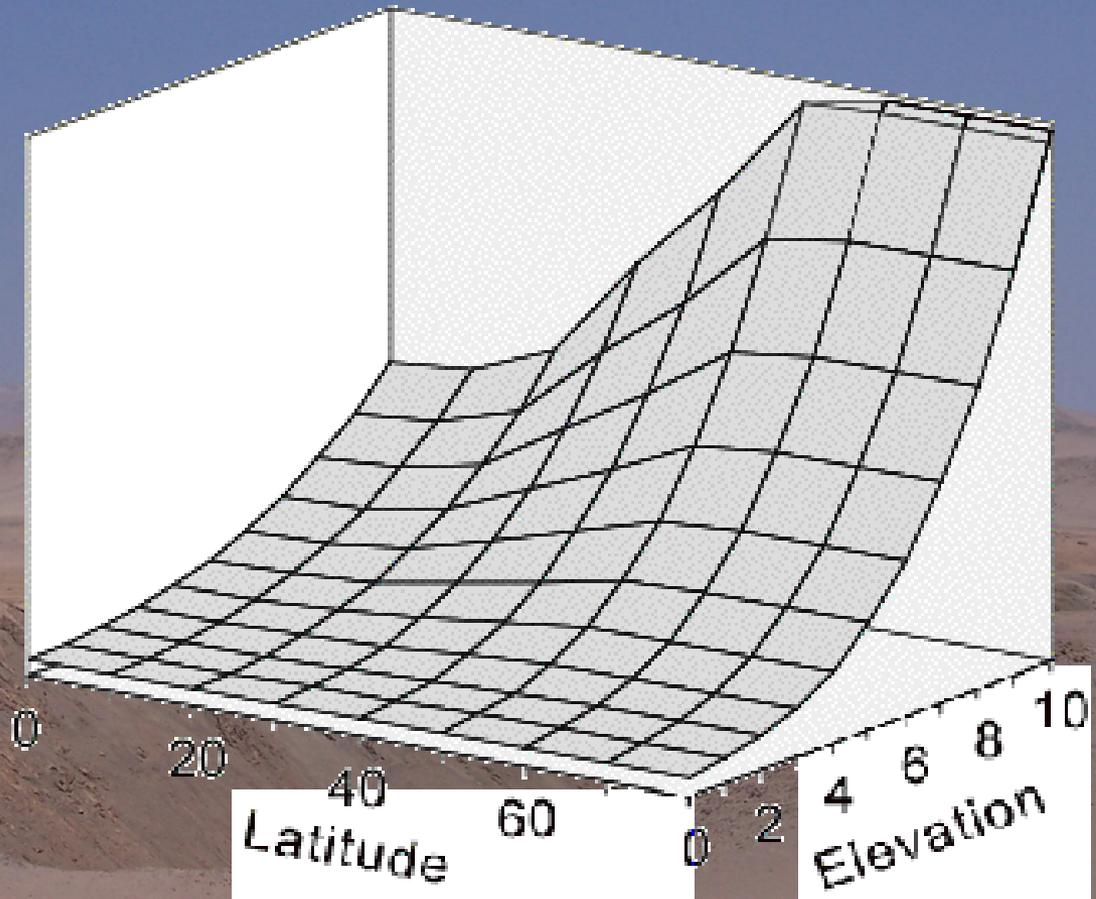
Le rayonnement cosmique



- **Rayonnement cosmique** : protons 99% + noyaux He 1%
Composante solaire + extrasolaire

Variation avec la latitude (magnétique)

- **Production** ($P(t)$): varie en fonction de :
 - la latitude
 - l'altitude

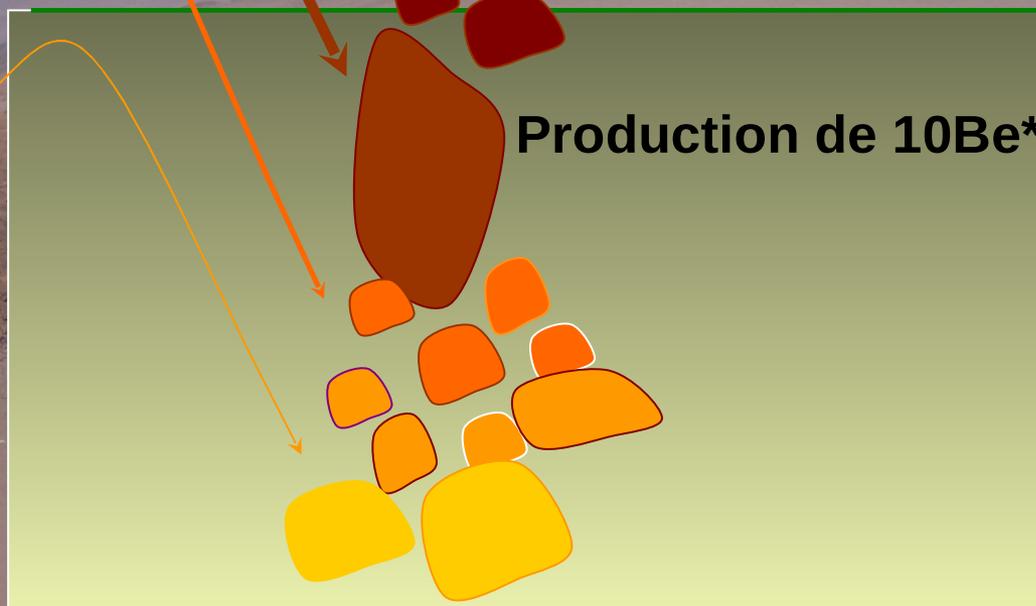


Le rayonnement cosmique finalement arrive à la surface...

La **partie infime** arrive à la surface (moins de $10^{-3}\%$) : particules secondaires (neutrons et muons)

^{10}Be produit *in-situ* : réactions dans un cristal (par ex. quartz), le ^{10}Be reste emprisonné dans la matrice cristalline

Surface



Le rayonnement cosmique finalement arrive à la surface...

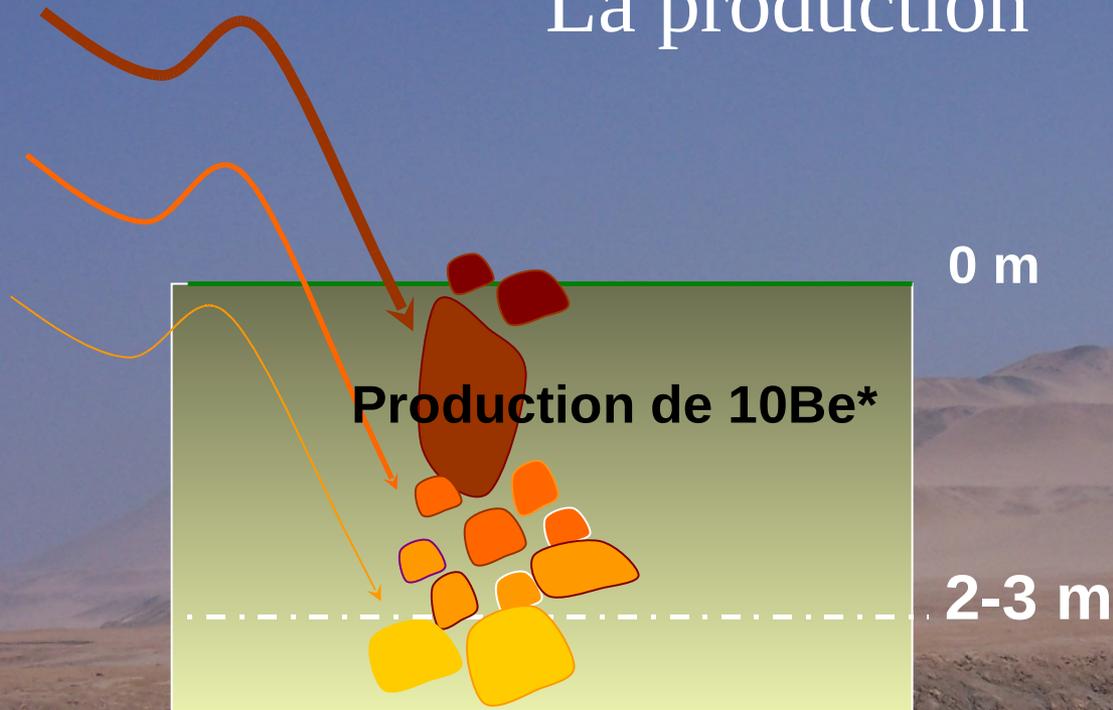
Autres cosmonucléides produits *in-situ* : ^3He , ^{14}C , ^{21}Ne , ^{26}Al , ^{36}Cl

Surface

Profondeur de pénétration : de l'ordre du mètre



La production

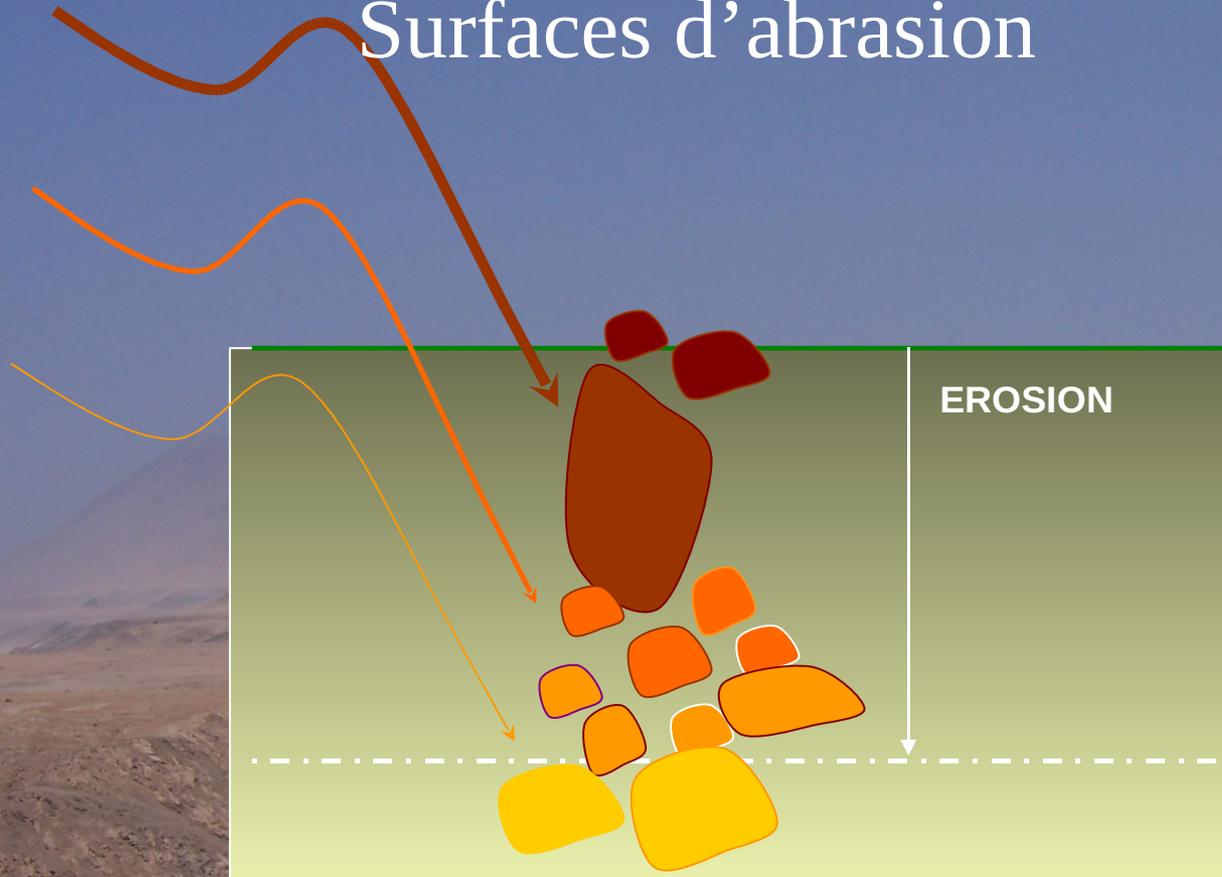


- **Production** ($P(t)$): varie en fonction de :
 - la latitude
 - l'altitude
 - la profondeur d'enfouissement de l'échantillon
- **Désintégration** ($-\lambda \cdot C(t)$) : le ^{10}Be est radioactif. $\lambda = 1,35 \cdot 10^6$ ans



Utilisation 1 – datation de surfaces

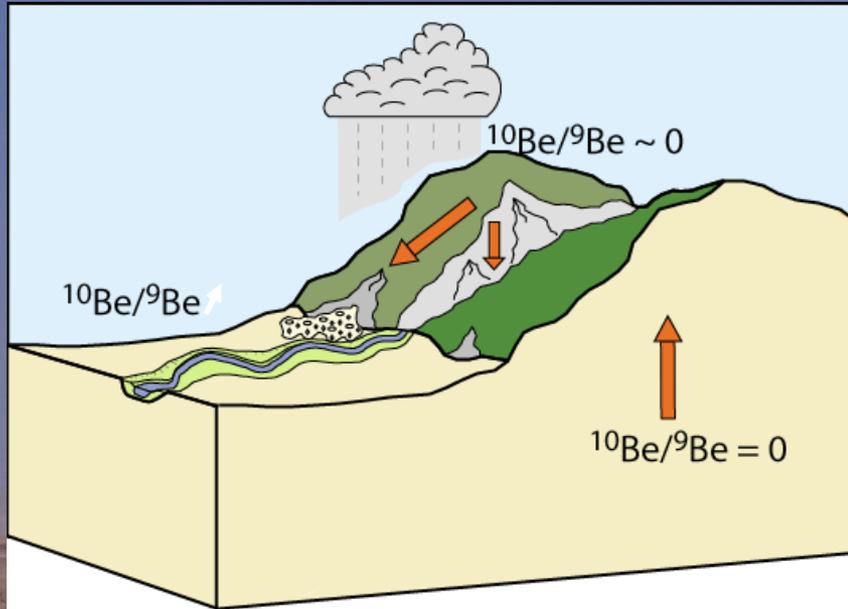
Surfaces d'abrasion



$[^{10}\text{Be}]$ initiale ~ 0

$[^{10}\text{Be}]$ mesurée = $f(t)$

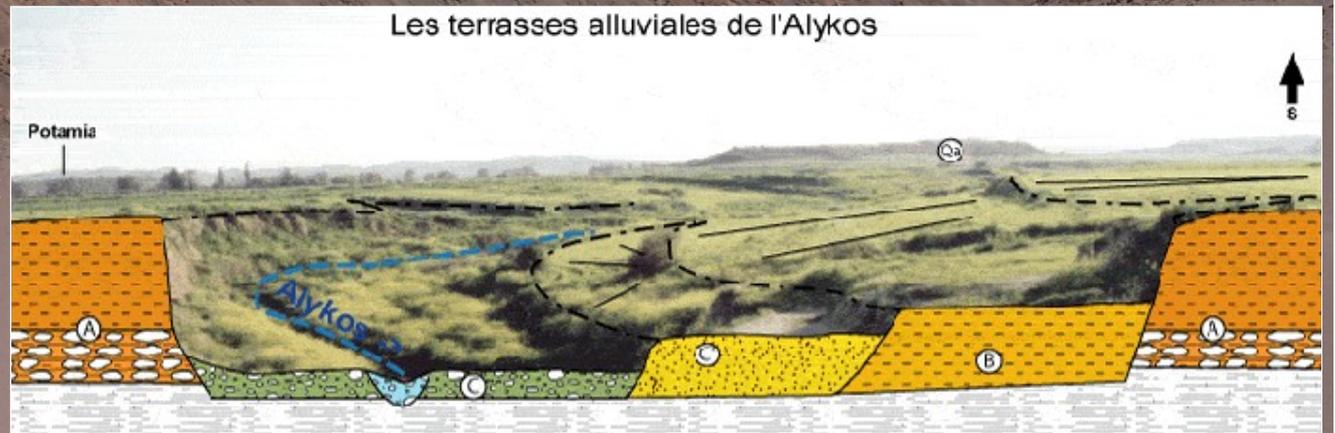
Surfaces alluviales



Problème : éviter l'héritage ($C_0 \neq 0$)
=> Multiplication des échantillons

*Dessin modifié
d'après Ehlers
et al., JGR,
2003*

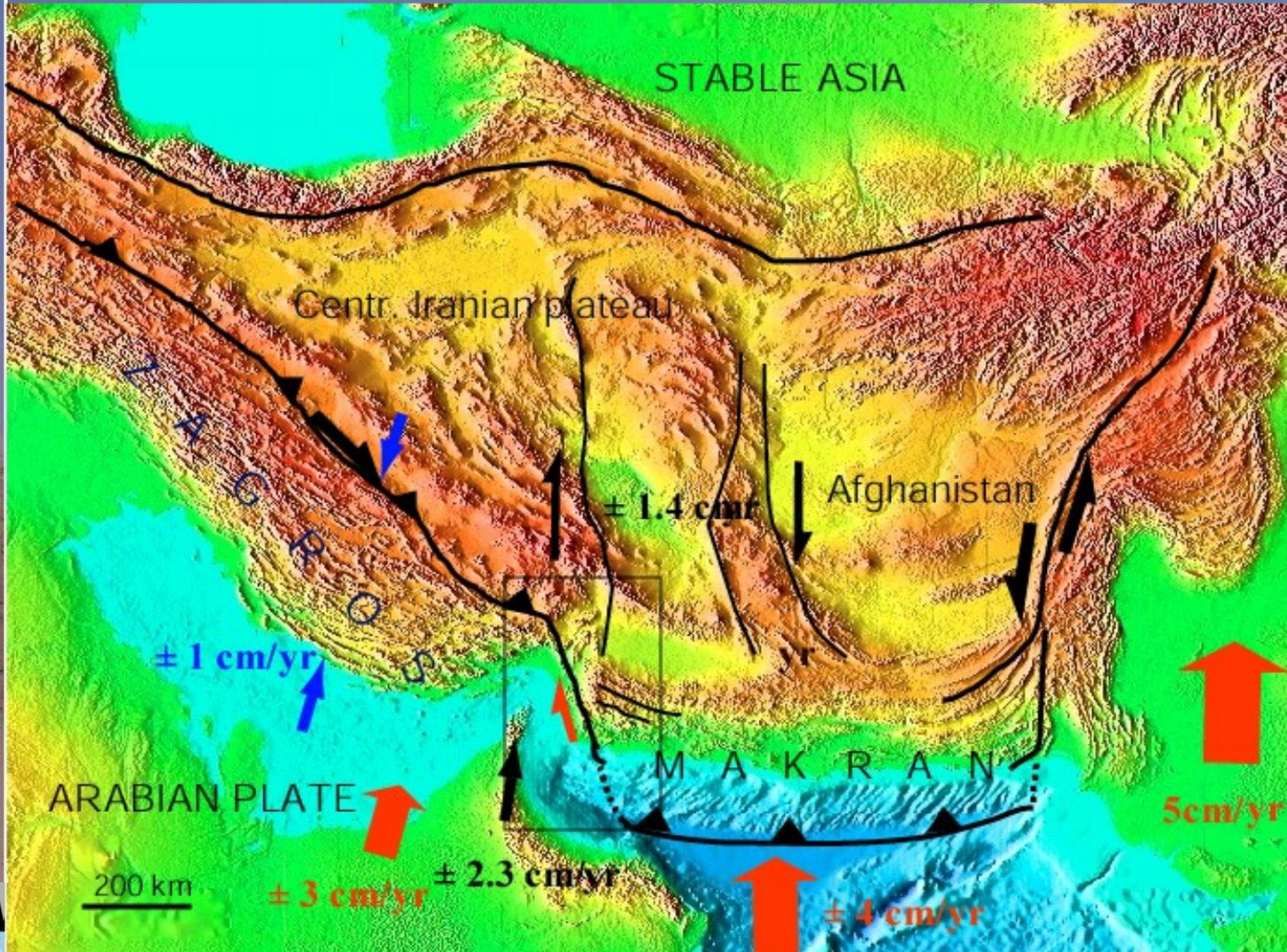
*Devilleers, pers.
comm., 2004*



Vincent Regard



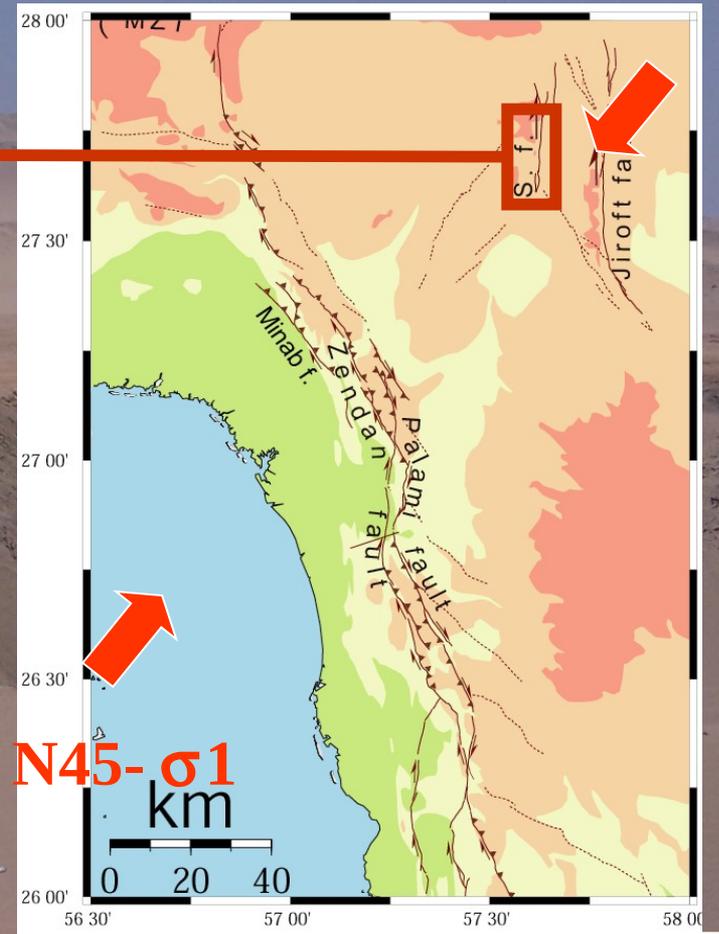
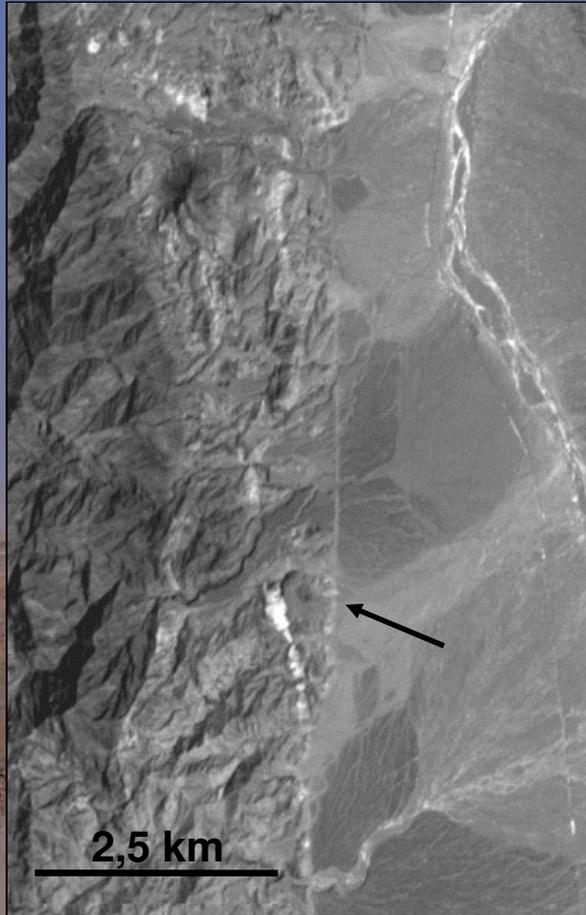
Exemple de la transition Zagros-Makran



Localisation de la déformation

Tectonique :

Localisation de la déformation : cartographie et géométrie des failles actives
=> déformation distribuée.



Quantification de la déformation et de la cinématique

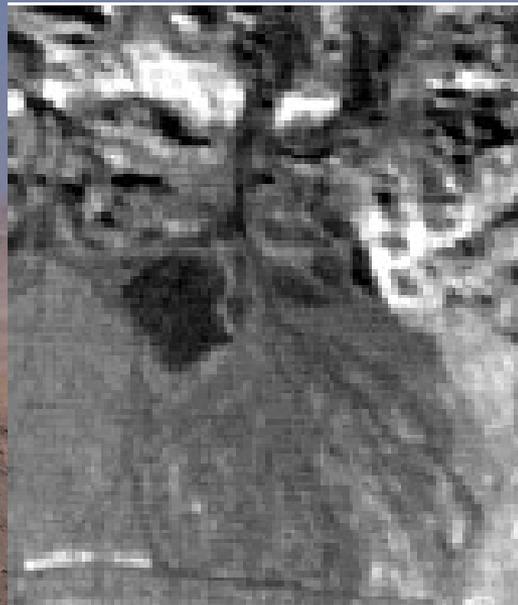
=> Régime transpressif



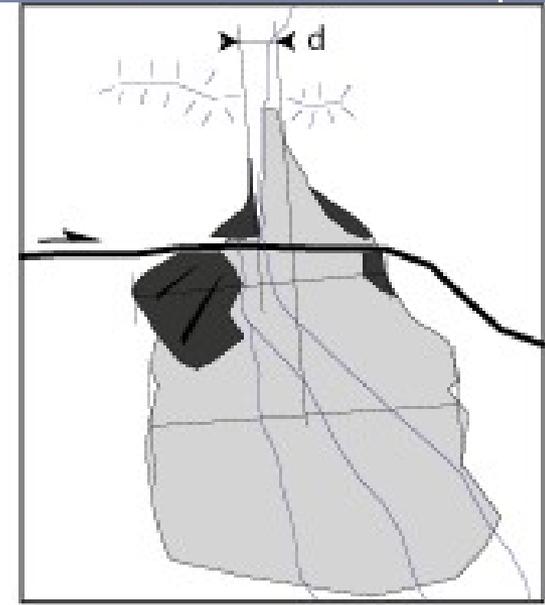
Offset of geomorphic features

Evidences

Evidence of quaternary formations crosscut by the faults



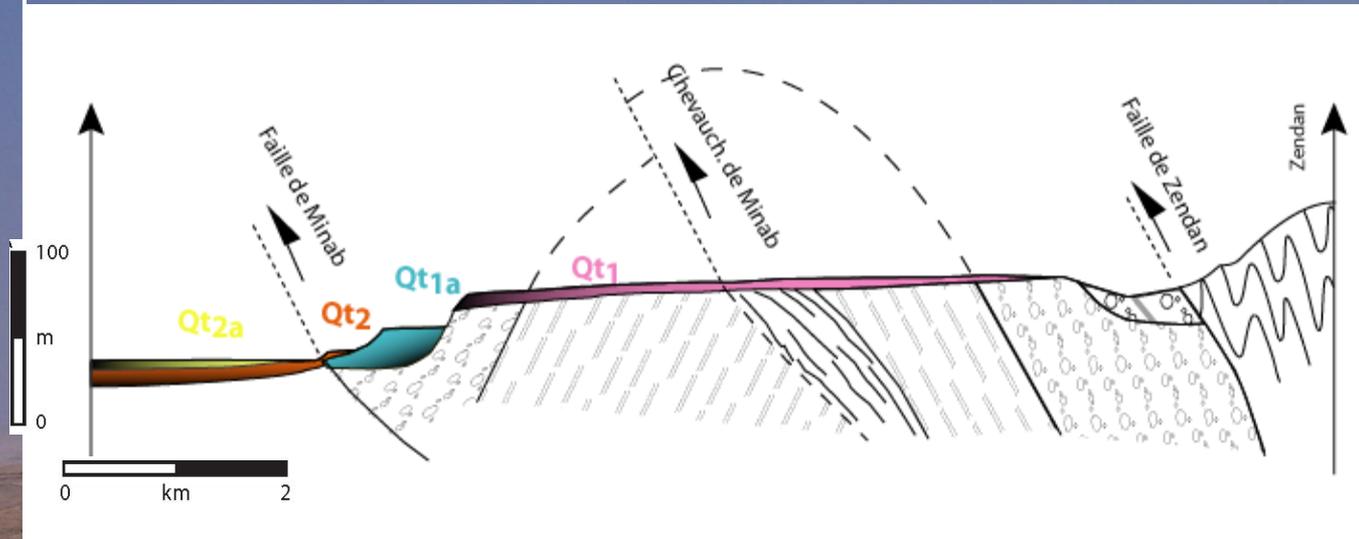
— 250 m N →



— 250 m N →

Regard *et al.*, *Geophys. J. Int.*, 2005

Dating



Late quaternary
formations

→ ^{10}Be ages

They record when the alluvial formation **deposition ended**.

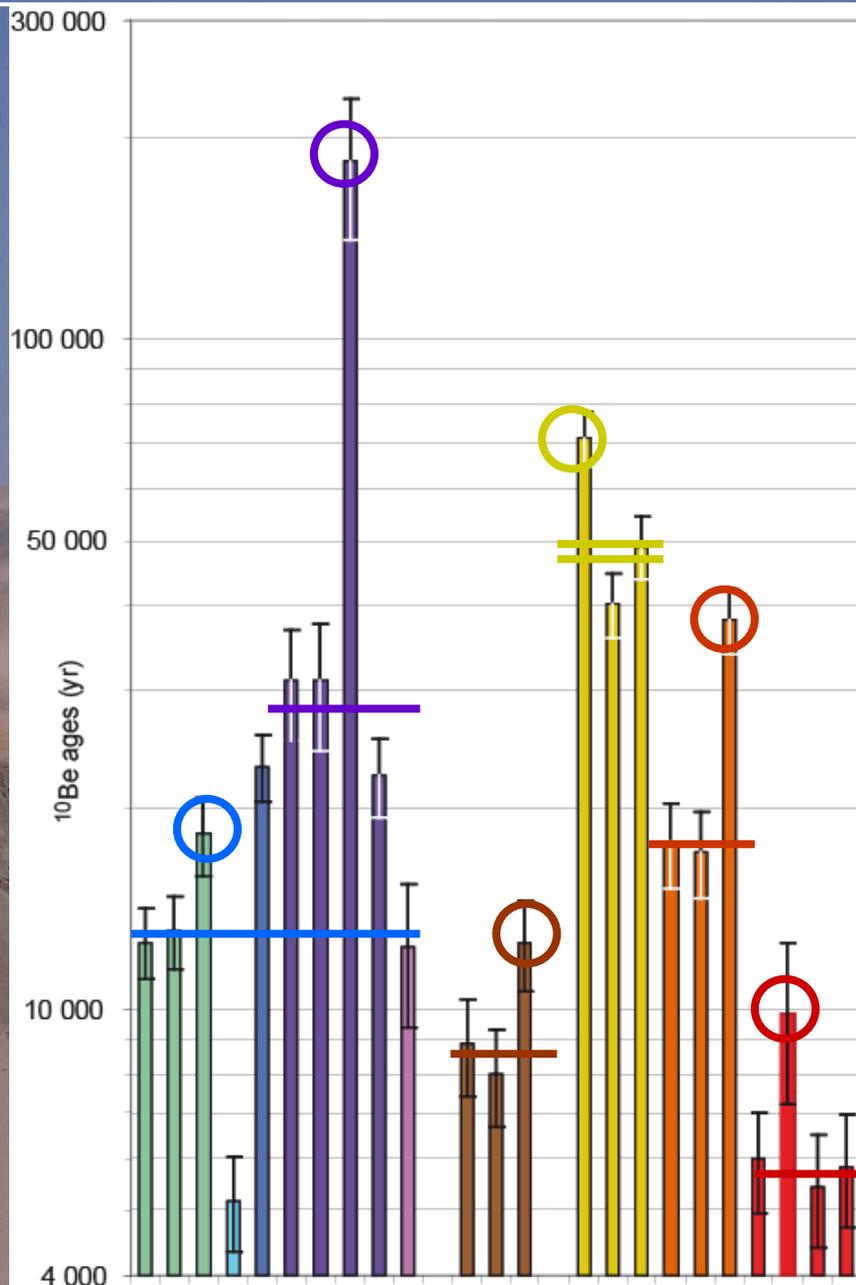
Method: sample recollection at the formation surface (Fan/Terrace)

^{10}Be : detail

Ages found:

- ⇒ 49.6 ± 3.0 ky
but 44.0 ± 3.4 ky without outlier
- ⇒ 25.2 ± 2.5 ky
- ⇒ 17.5 ± 1.8 ky
- In various localities
- ⇒ 20.1 ± 1.5 ky

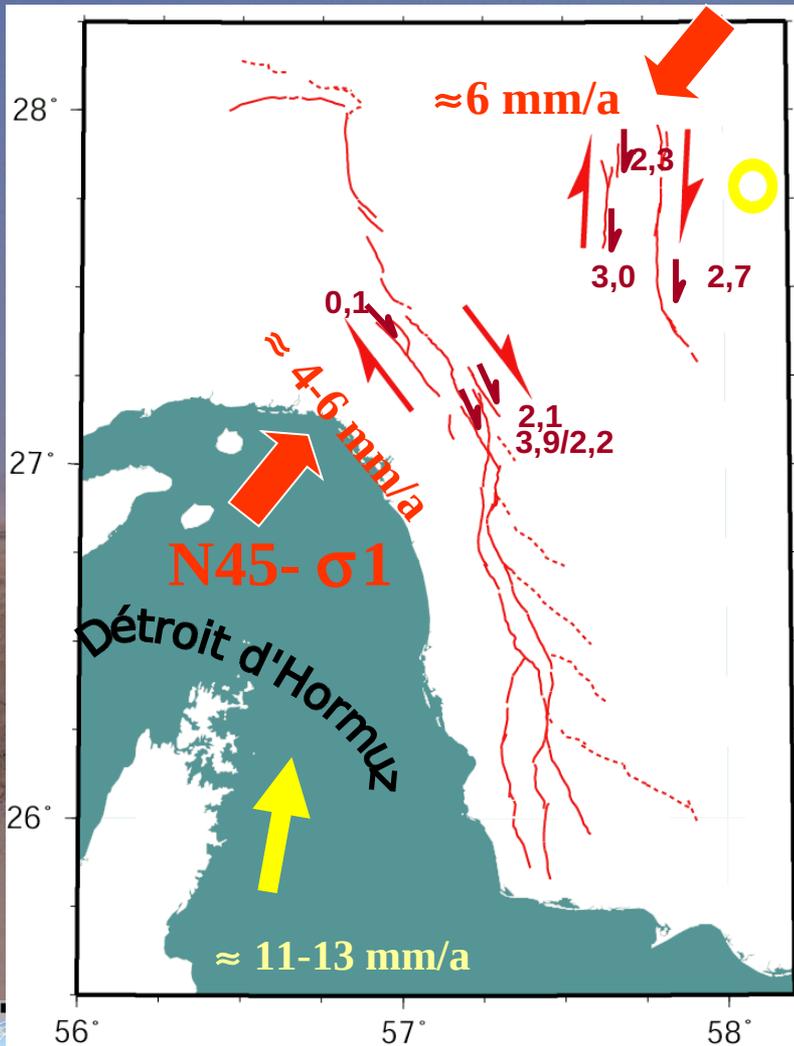
- ⇒ 12.8 ± 1.0 ky
- ⇒ 8.4 ± 1.0 ky
- ⇒ 5.6 ± 0.6 ky



Regard et al., *Palaeo3.*, 2006



Vitesses des failles



Faille	V. décrochante		V. de convergence		Convergence (géogr. .)				
	mm/a +/-		mm/a +/-		DN		DE		
					mm/a +/-		mm/a +/-		
Minab	0,13	0,09	0,43	0,40	0,36	0,35	0,23	0,27	
Zendan	a	3,92	0,68	4,25	0,97	4,24	0,98	0,20	1,38
	b	2,24	0,40	2,43	0,57	2,43	0,57	0,12	0,79
Pala mi	2,09	0,27	2,09	0,27	2,16	0,31	0,10	0,37	
TOTAL Minab - Zendan fault system	a	6,35		7,35	2,68	7,22	2,16	1,38	3,00
	b	4,68		5,56	2,26	5,41	1,75	1,29	2,41
Sabzevaran	2,98	0,76	2,99	0,77	2,99	0,77	0,00	0,41	
Kahnuj	2,31	0,95	2,34	0,99	2,26	0,97	0,57	0,59	
Jiroft	2,69	0,66	2,79	0,76	2,65	0,75	0,88	0,74	
TOTAL Jiroft - Sabzevaran fault system		5,67		5,70	1,68	5,63	1,52	0,87	1,15
TOTAL	a			13,05	4,34	12,85	3,68	2,25	4,15
	b			11,25	3,90	11,04	3,27	2,17	3,56

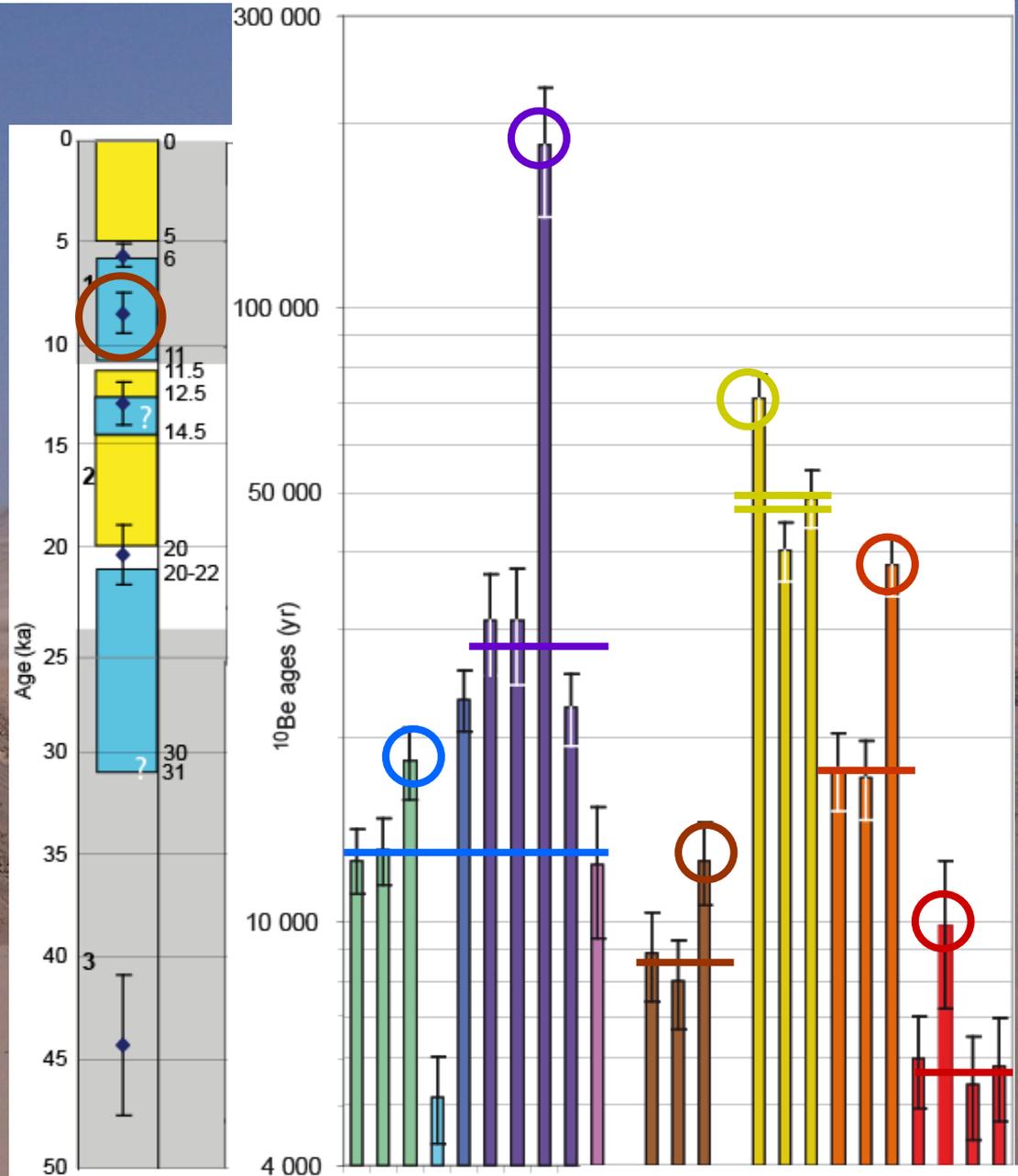
Vitesses ← rejets + datations

^{10}Be : detail

- ⇒ 44.0 ± 3.4 ky
- ⇒ 20.1 ± 1.5 ky
- ⇒ 12.8 ± 1.0 ky
- ⇒ 8.4 ± 1.0 ky
- ⇒ 5.6 ± 0.6 ky

Link ^{10}Be ages – climate

- End of deposition at the transition between **hot and wet** and **cold and dry** climatic periods
- Exception: the 8.4ky event

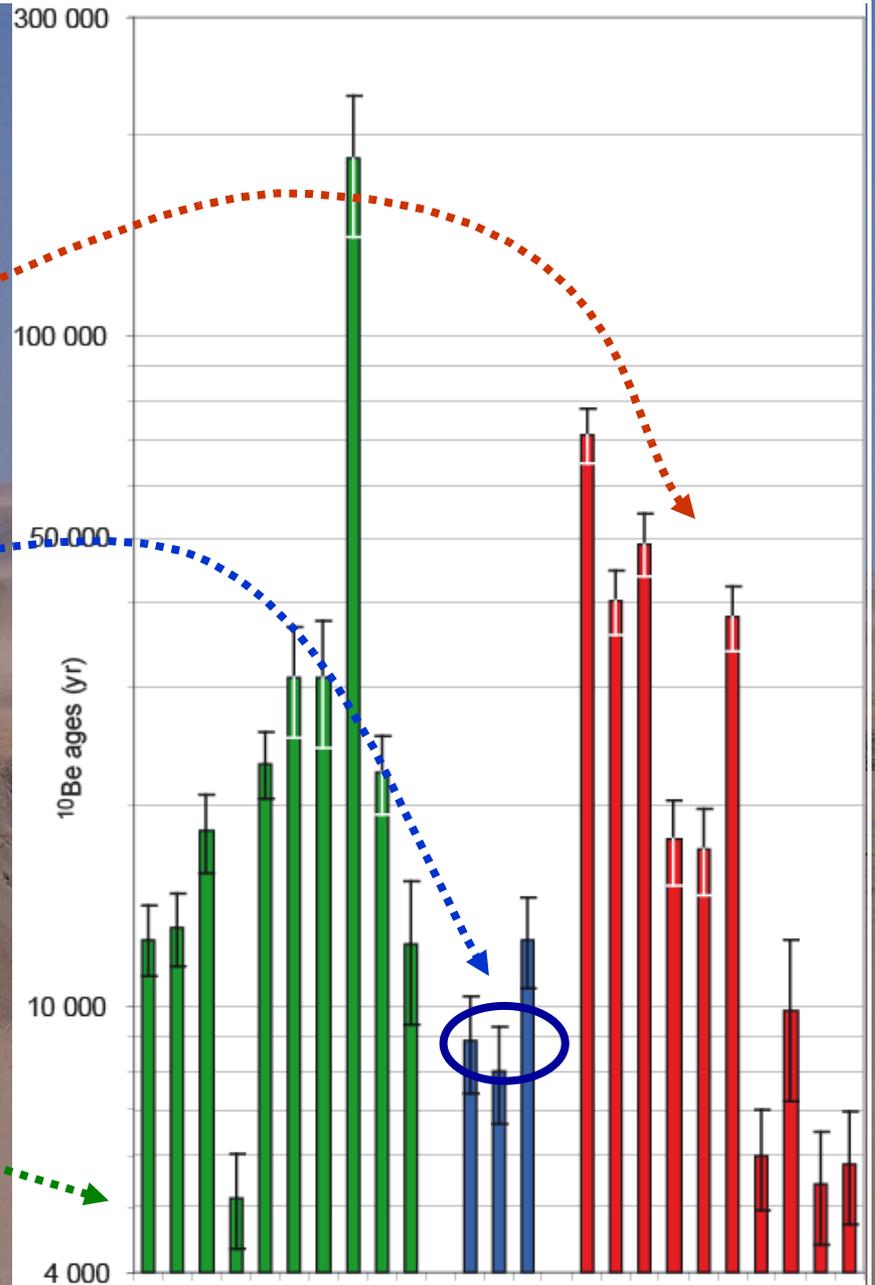
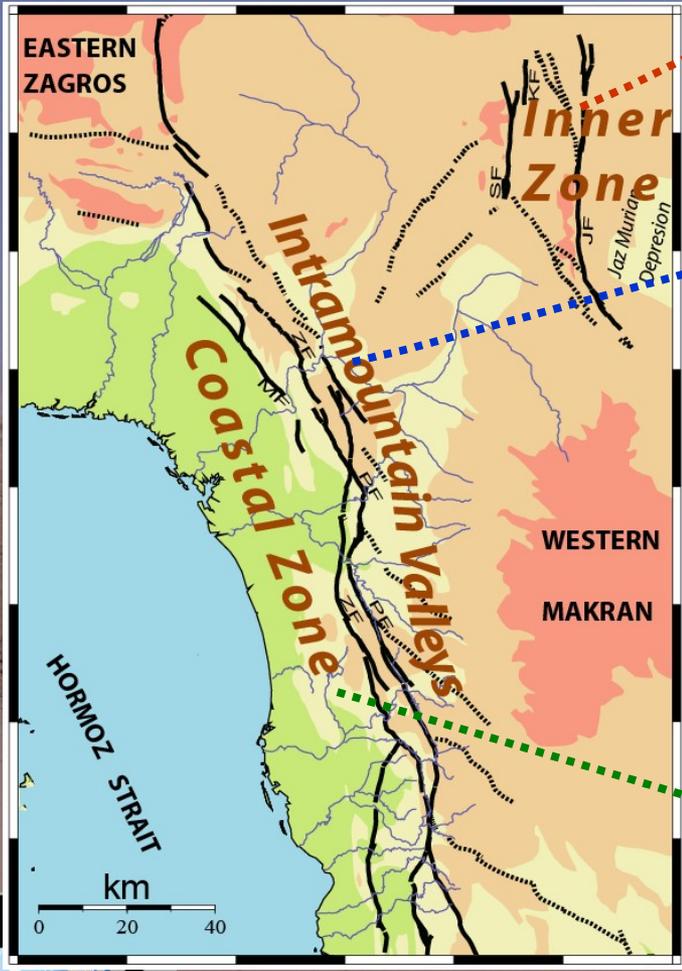


Regard et al., Palaeo3., 2006



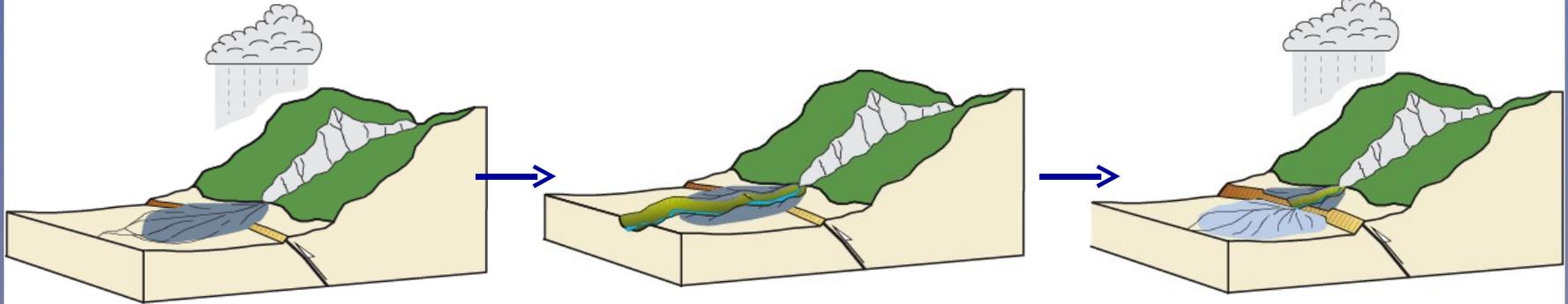
^{10}Be : detail

→ 8.4ky event only once recorded



Implications

Usual scenario

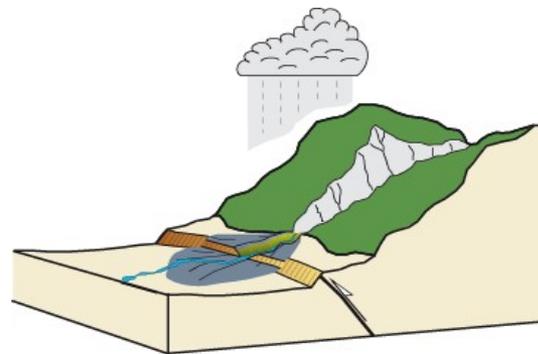


1-wet period

2-arid period, fault offsets

3 wet period, new drainage organisation, offsets fossilised-arid period, fault offsets

Exceptional scenario



2-earthquake with substantial offset



Morphologie côtière

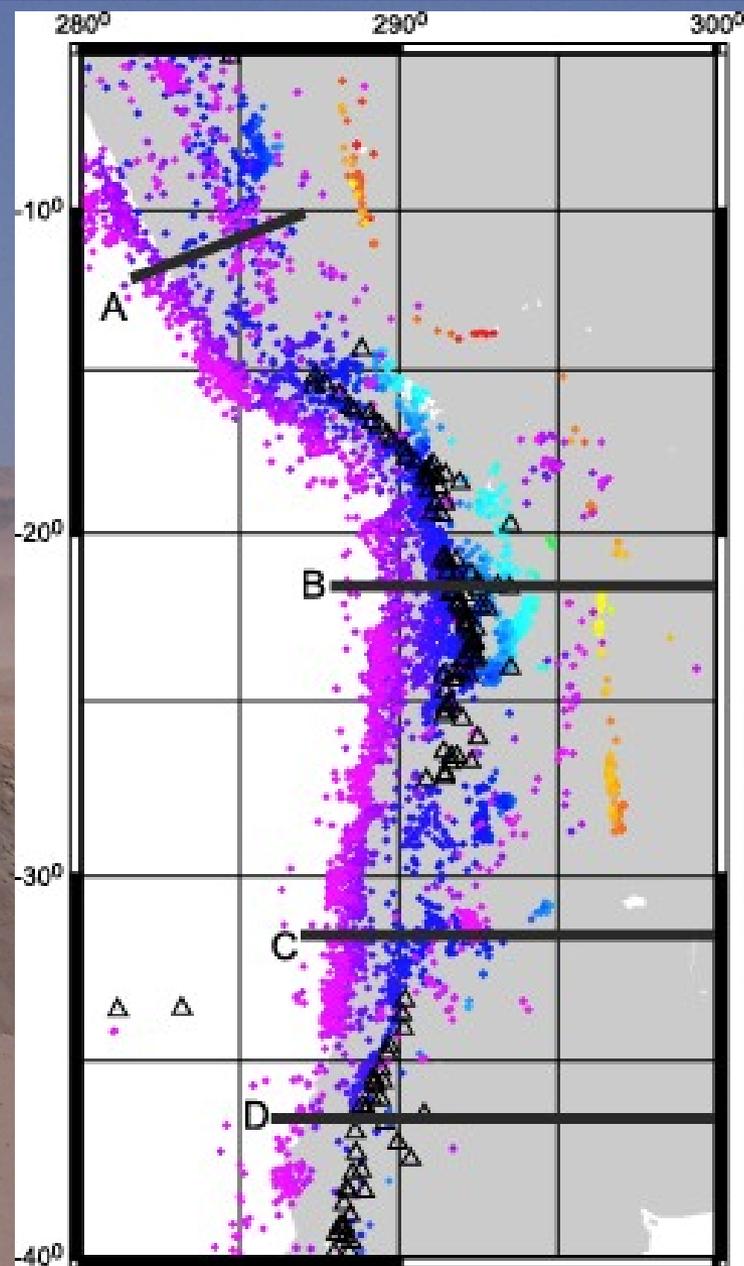
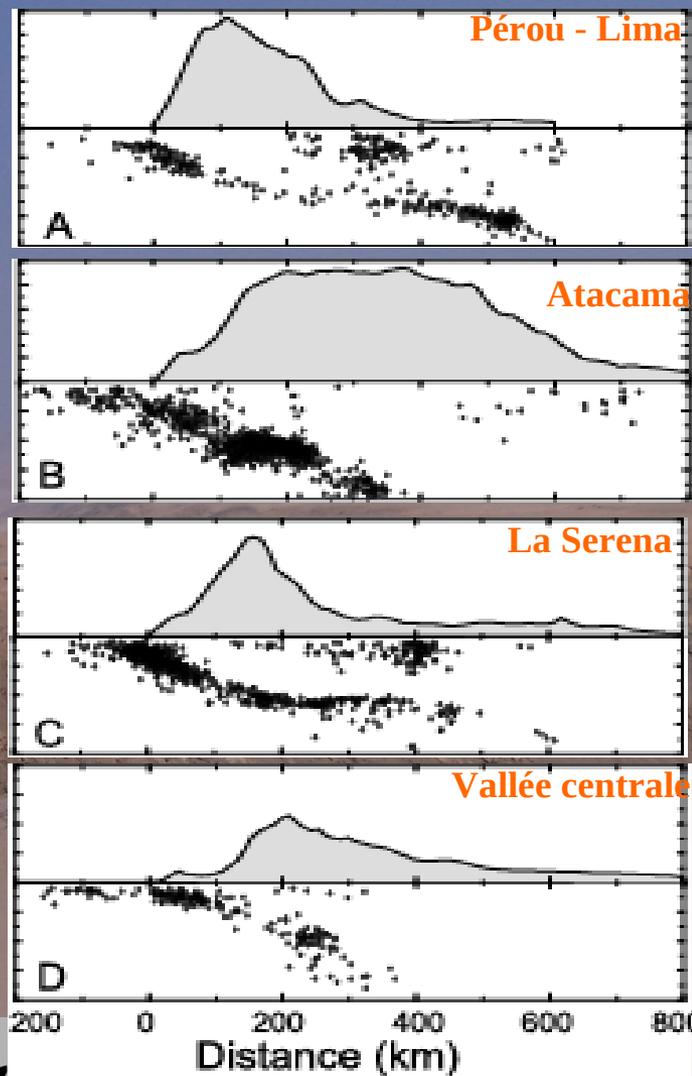
*Datation du soulèvement de terrasses marines
le long des côtes du Pérou et du Chili*

Thèse de Marianne Saillard

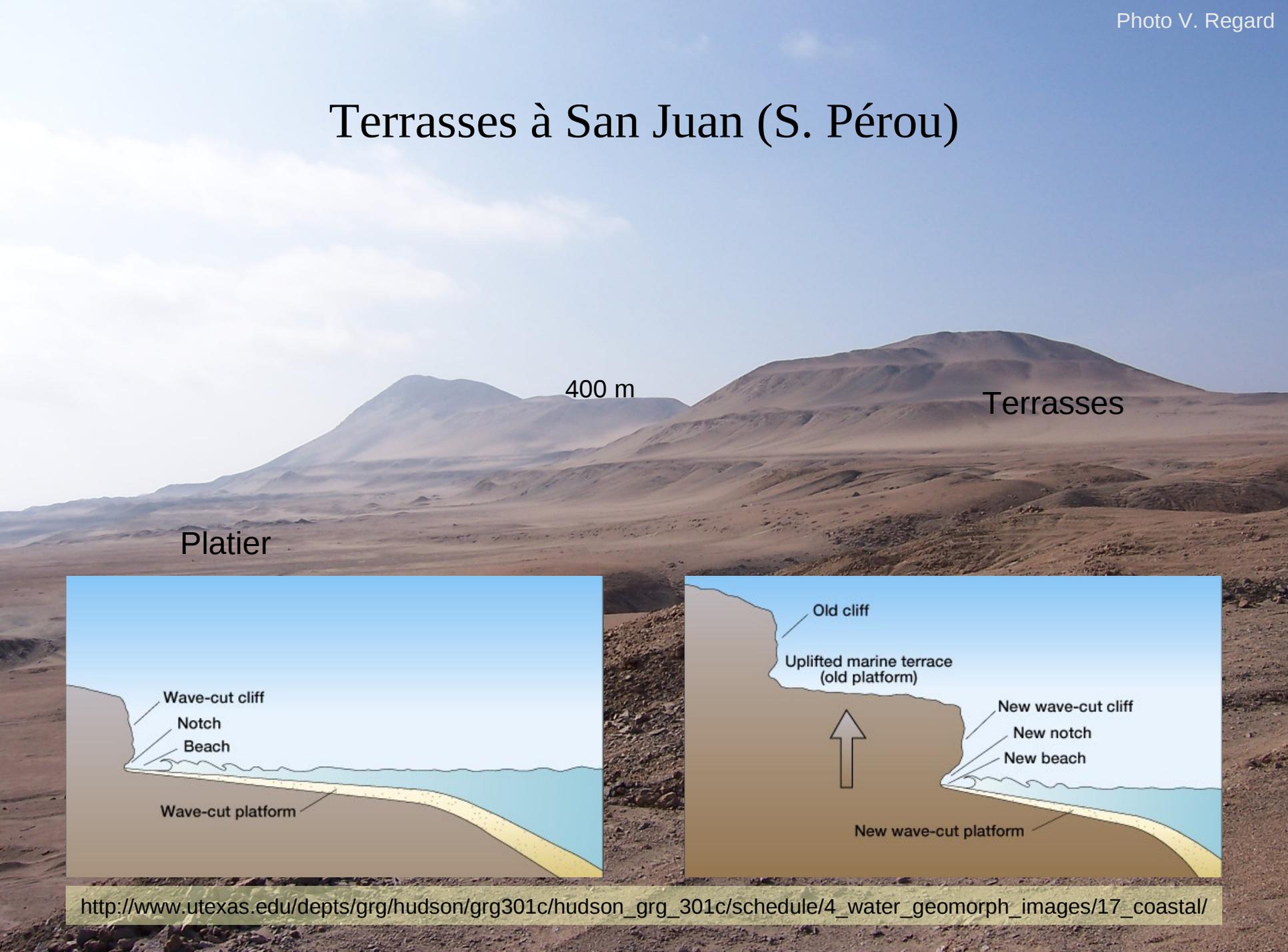
saillard@lmtg.obs-mip.fr



Subduction en Amérique du Sud



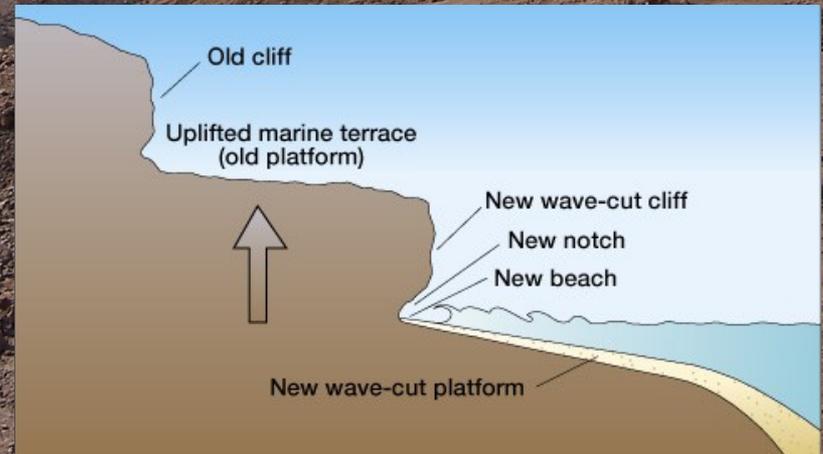
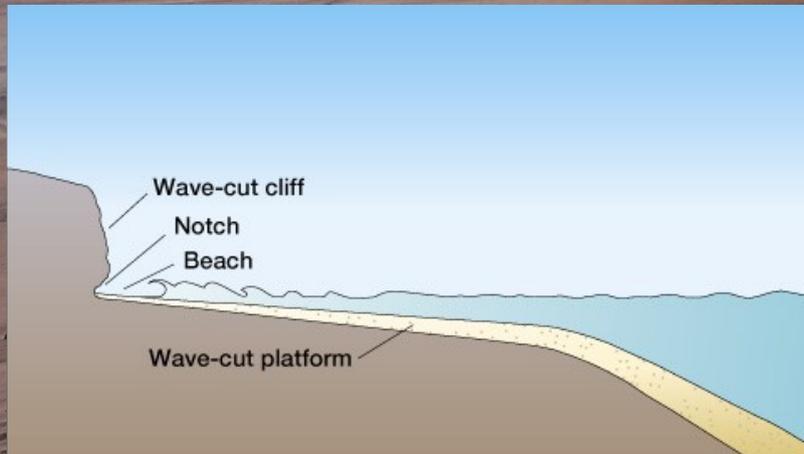
Terrasses à San Juan (S. Pérou)



Platier

400 m

Terrasses



Morphologie cotière

Au CHILI – ride Juan Fernandez

Type de surfaces:

⇒ Surface d'abrasion marine

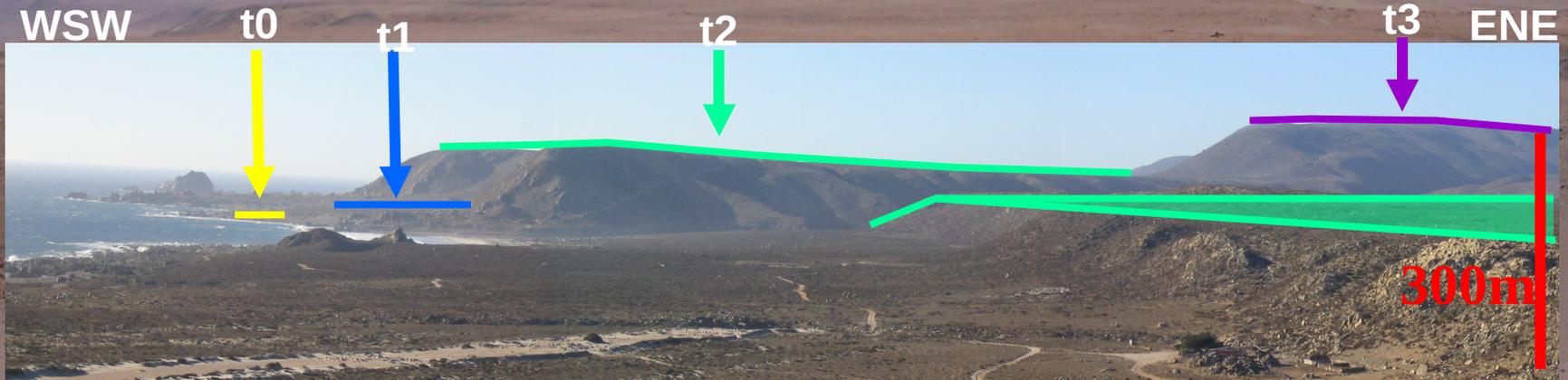
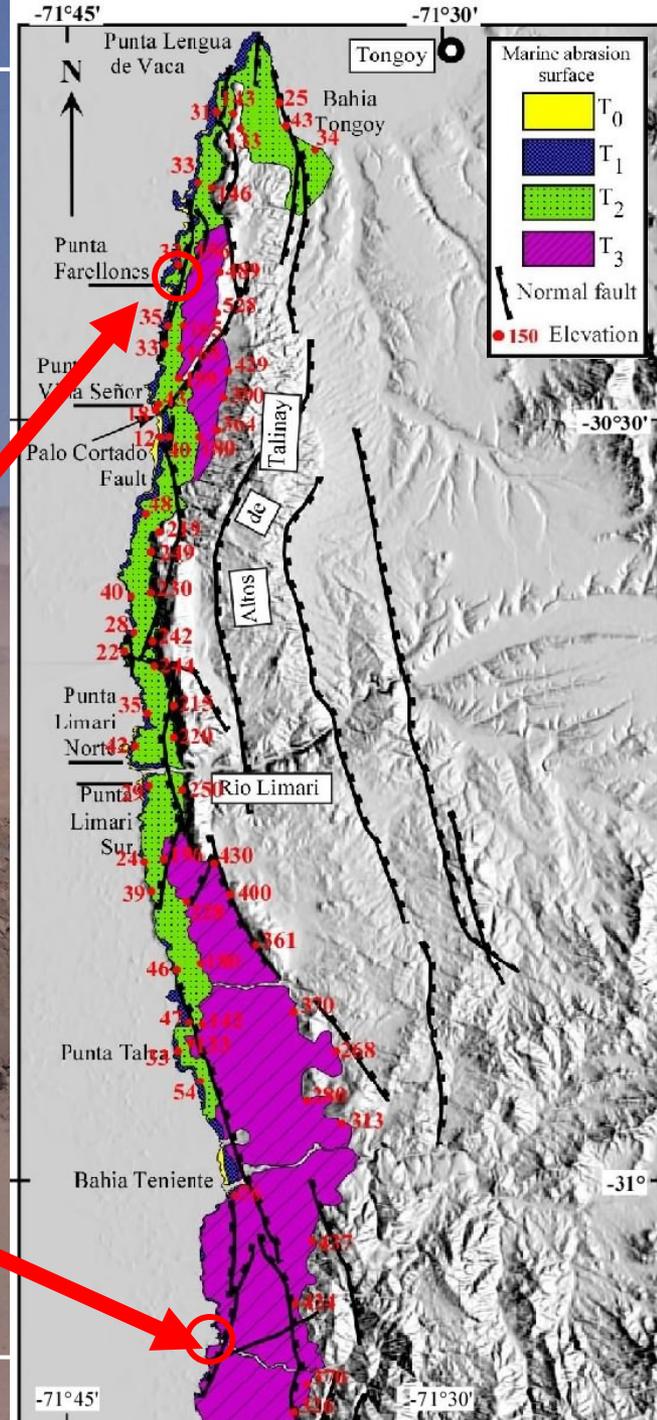
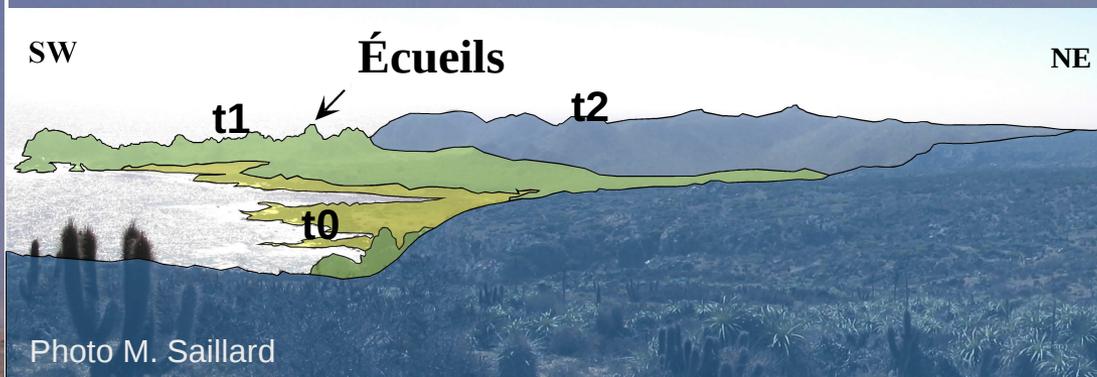


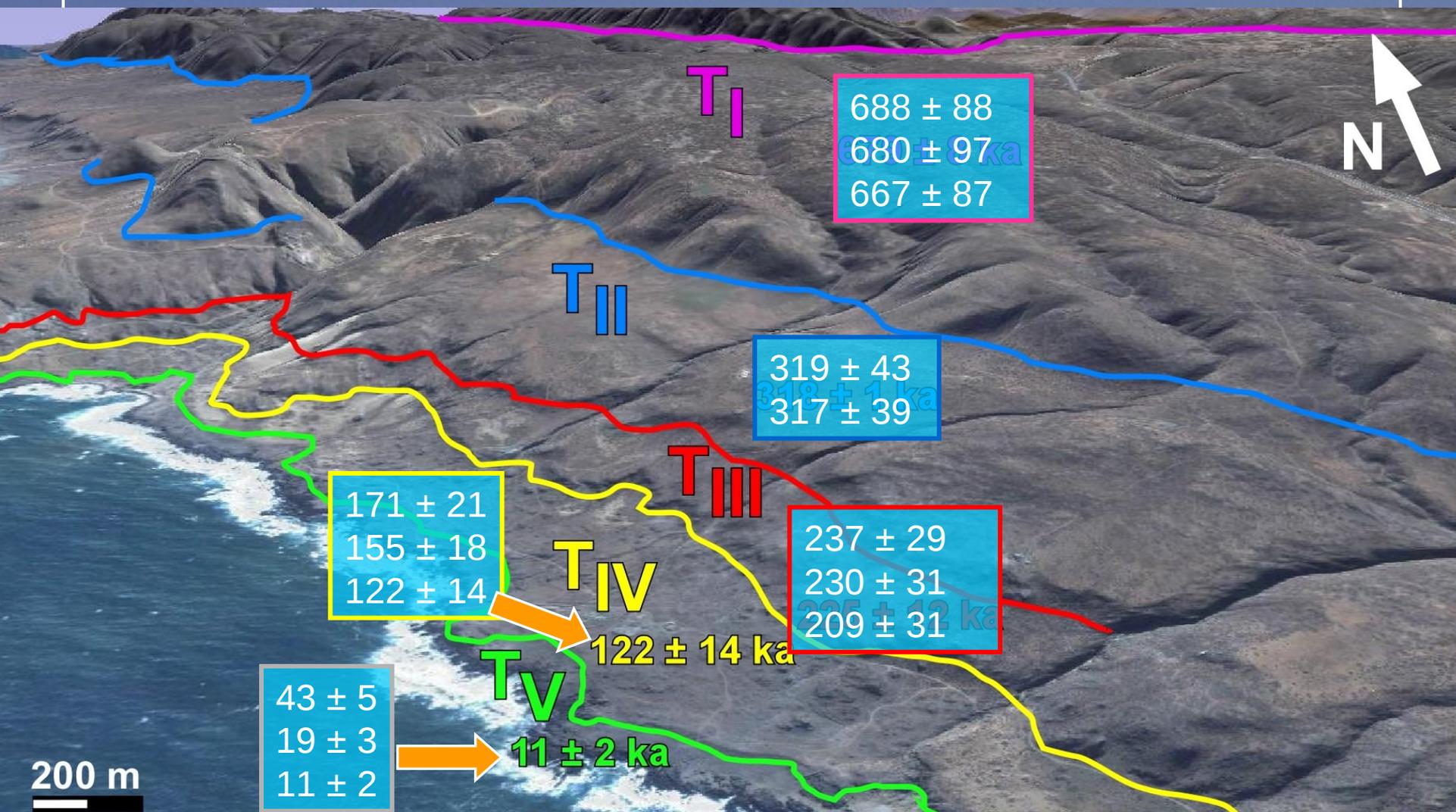
Photo M. Saillard

Cartographie

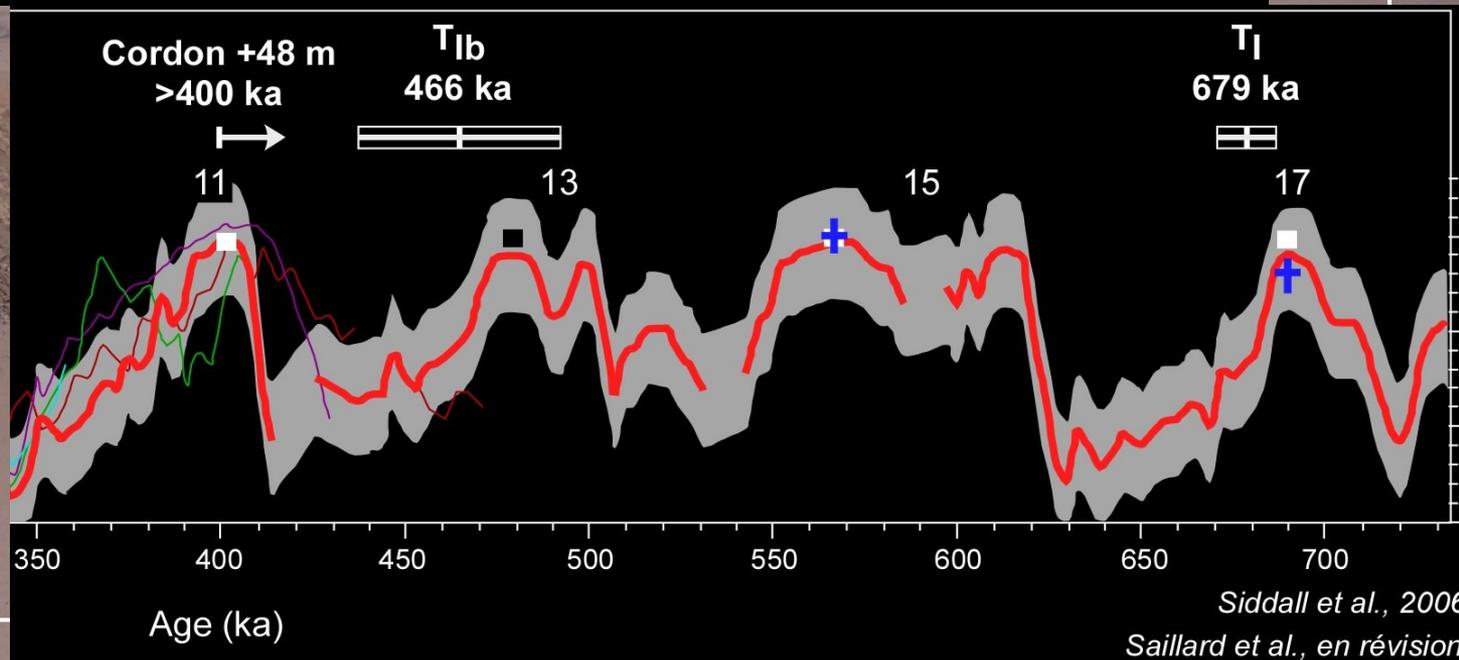
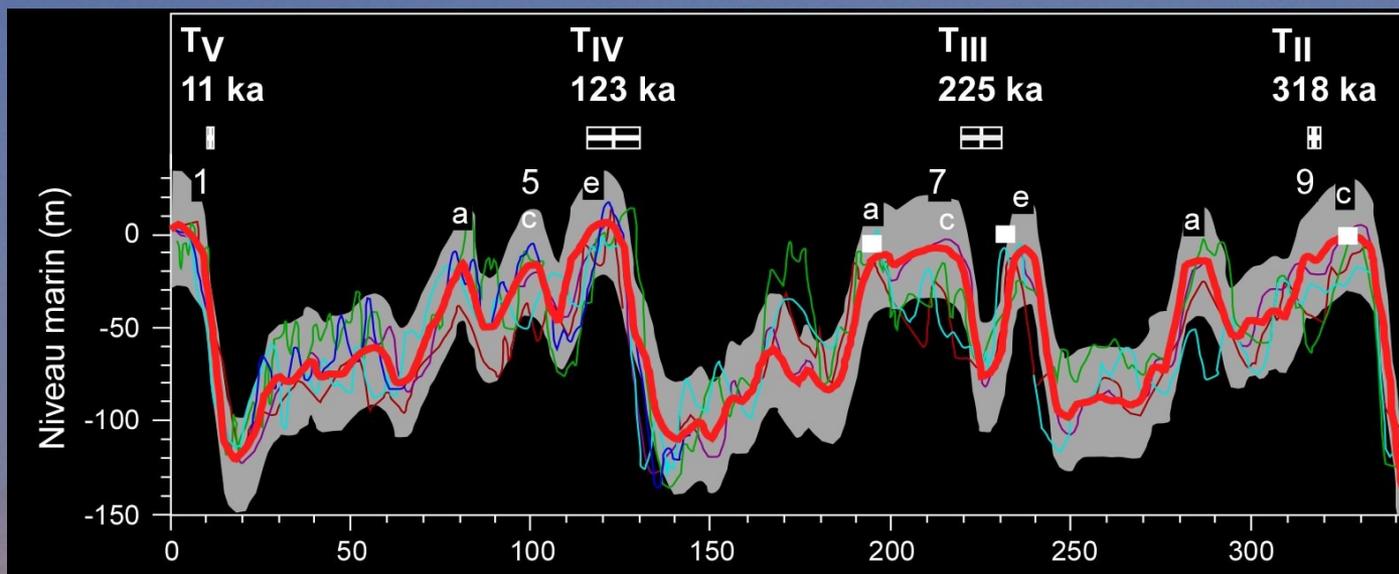
⇒ 4 niveaux le long de la zone d'étude de 5 à 528 m d'altitude



^{10}Be des terrasses marines de la marge andine



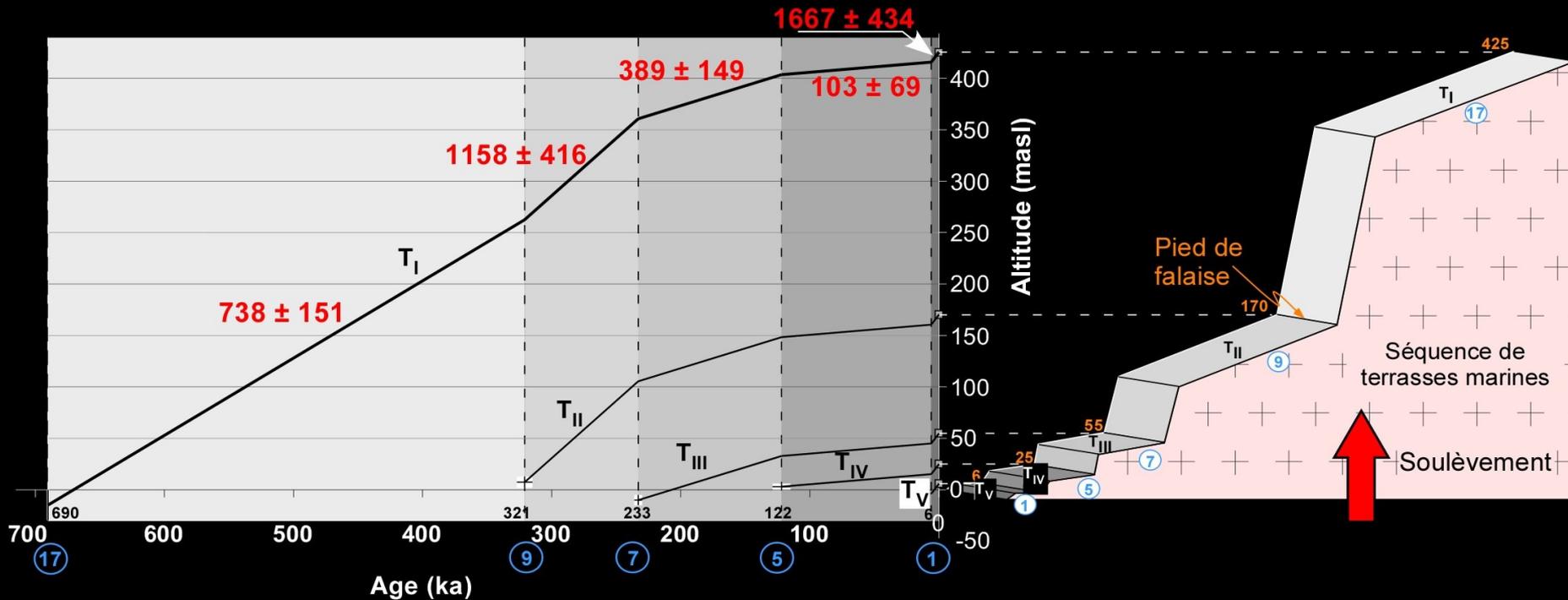
Corrélations des terrasses marines aux stades isotopiques :



- Murray-Wallace (2002)
Sea-level estimate
- + Pirazzoli et al. (1991)
Sea-level estimate
- Lea et al. (2002)
- Siddall et al. (2003)
- Waelbroeck et al. (2002)
- Labeyrie et al. (1987)
- Shackleton (2000)
- Scaled benthic isotopes from V 19-30, after Cutler et al. (2003)



Vitesse variables



738 ± 151 Vitesse de soulèvement (mm/ka)

T_I Nom de la terrasse marine

⑪ Stades isotopiques marins

■ ■ ■ ■ Barres d'erreur sur l'altitude et l'âge du haut niveau marin



Baie de
San Nicolas

FEH

Cerro El Huevo
+492 m



Baie de
San Juan



San Juan

FDL

FSJ

Cerro Tres Hermanas

+380 m

FTH

5 km



FEH : Faille El Huevo
FDL : Faille de Lomas

FSJ : Faille de San Juan
FTH : Faille Tres Hermanas



Cerro El Huevo
492m

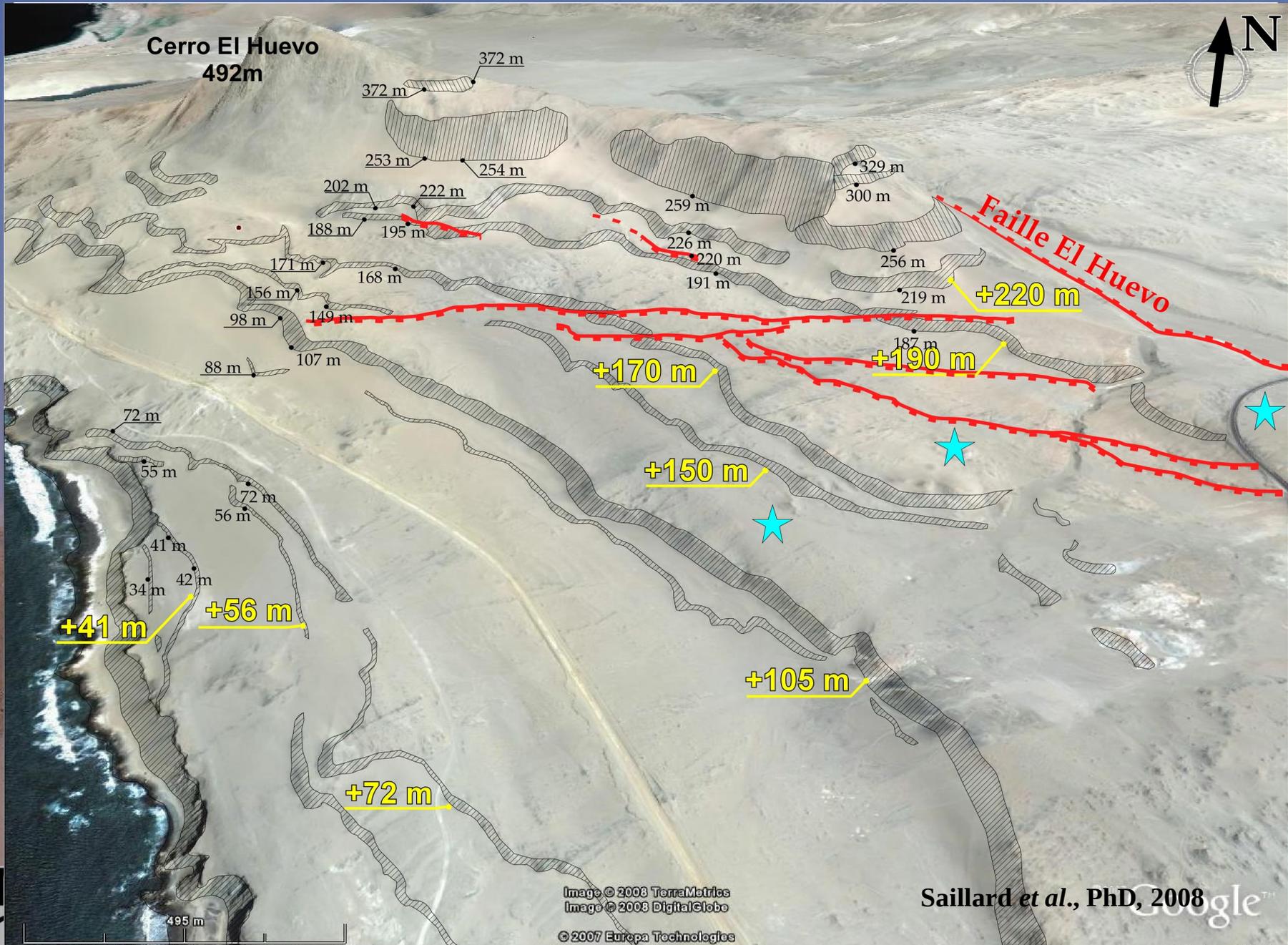


495 m

Image © 2008 TerraMetrics
Image © 2008 DigitalGlobe

© 2007 Europa Technologies

Saillard *et al.*, PhD, 2008 





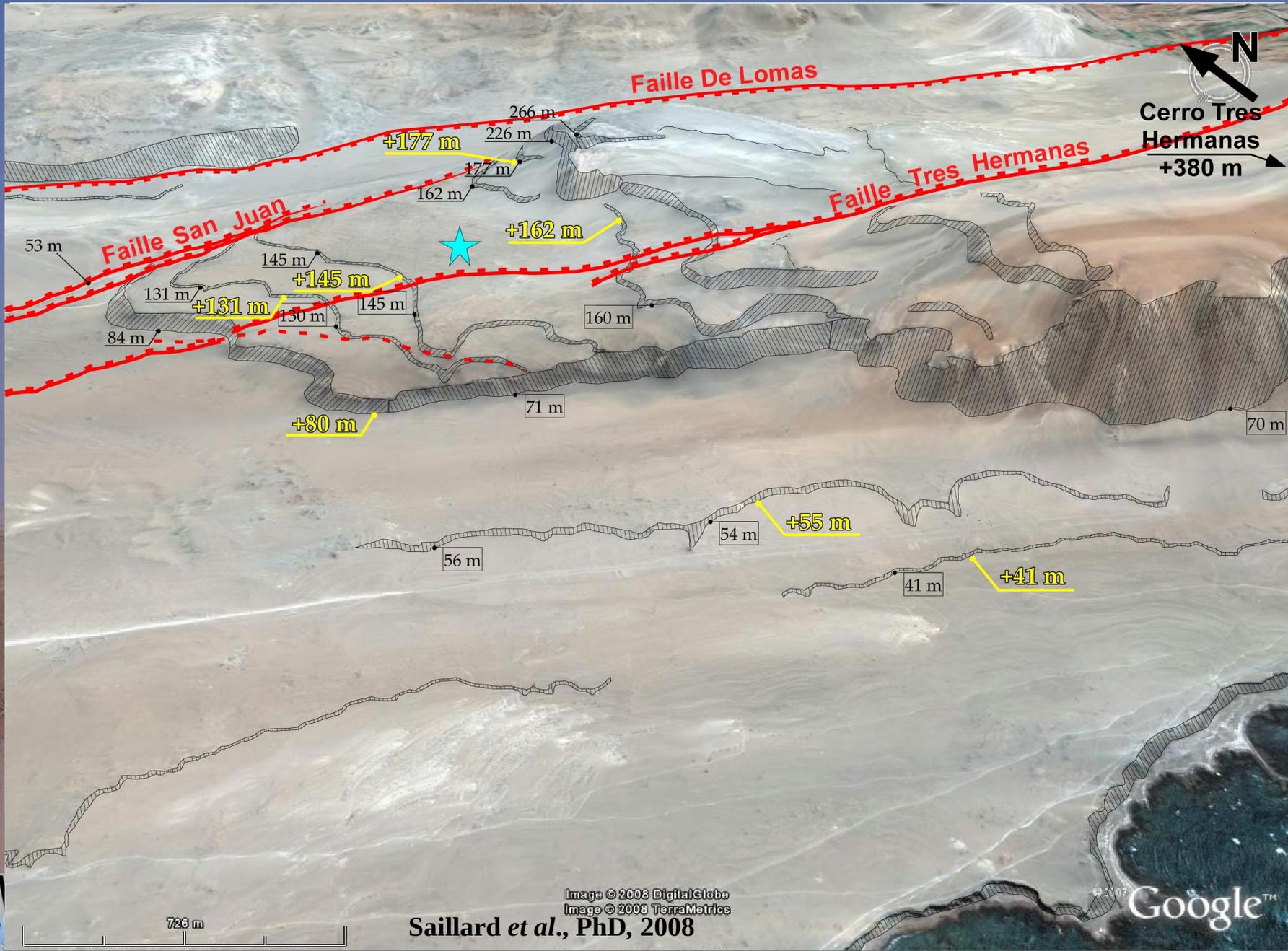
N
Cerro Tres
Hermanas
+380 m

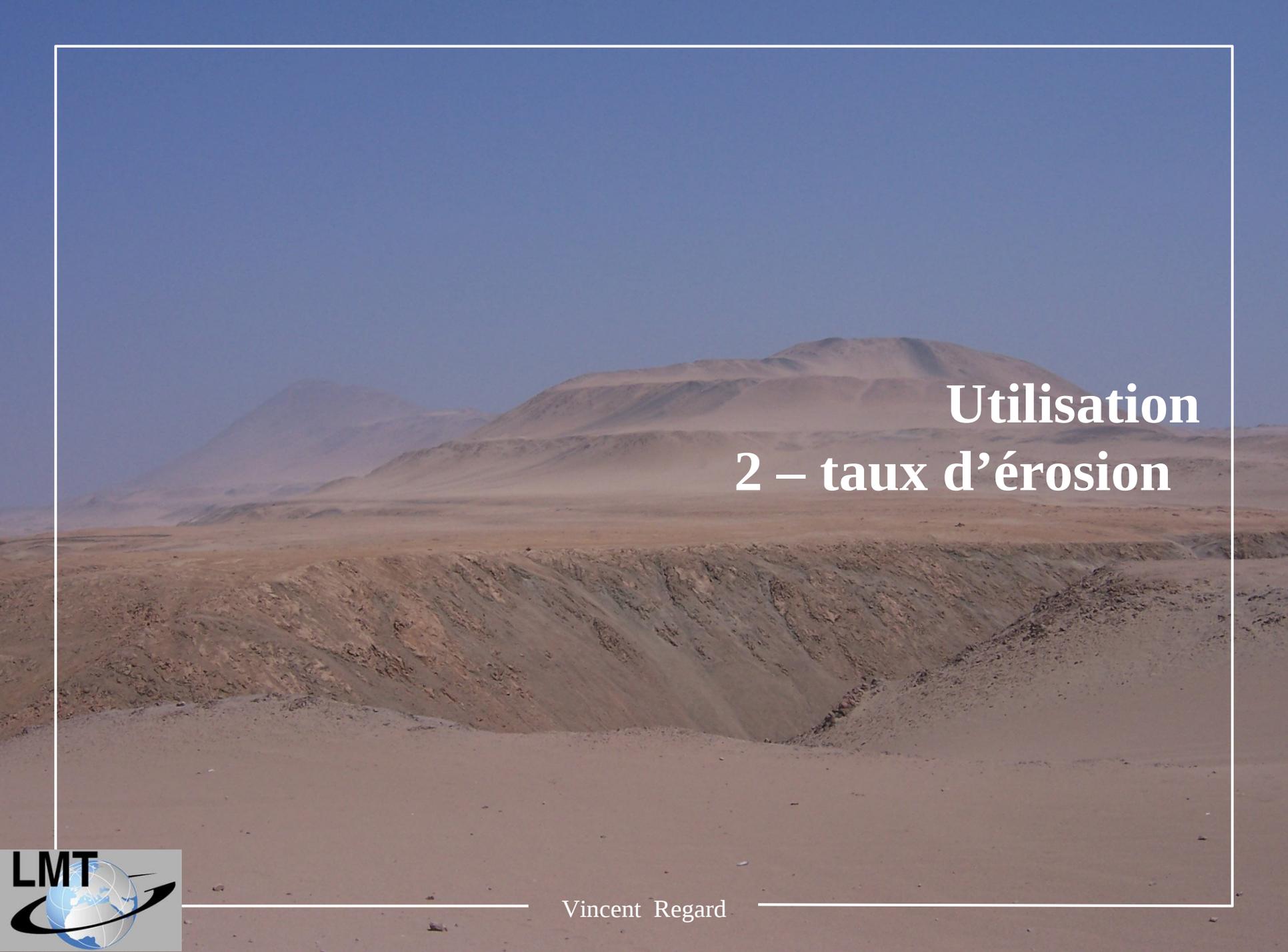
720 m

Image © 2008 DigitalGlobe
Image © 2008 TerraMetrics

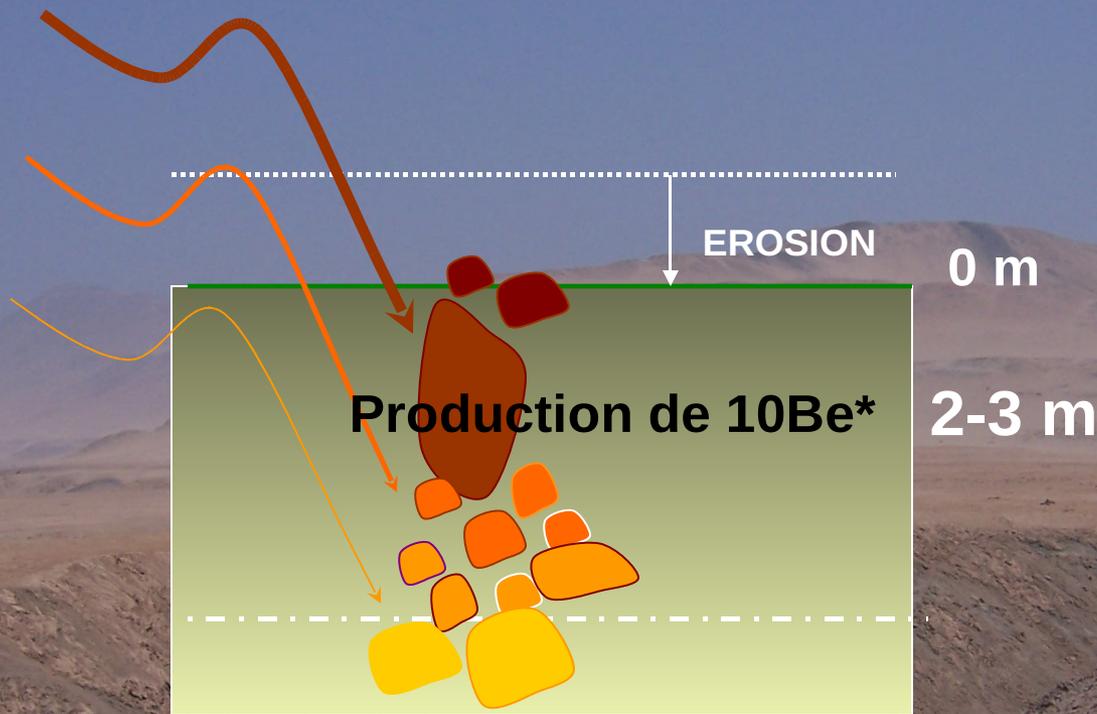
Saillard *et al.*, PhD, 2008

© 2007 Google™





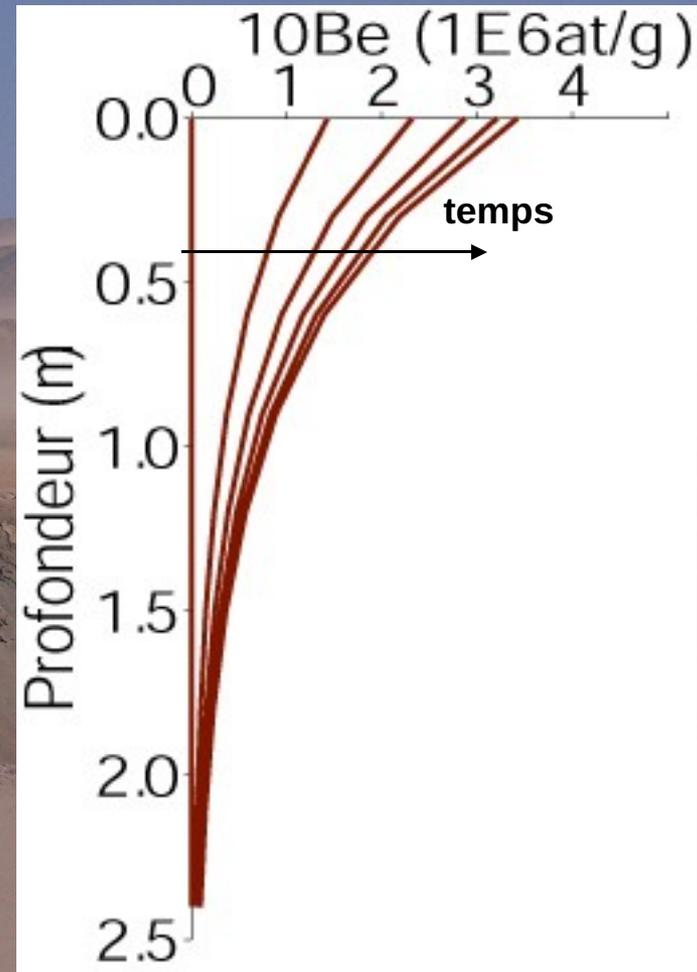
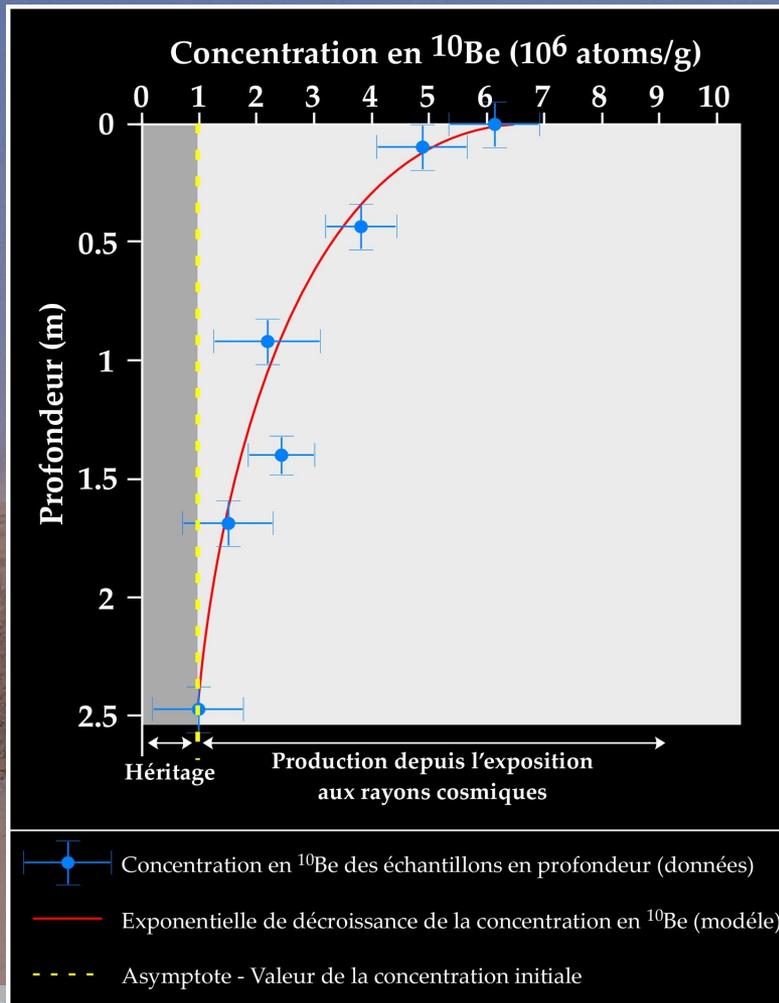
Utilisation 2 – taux d'érosion



$$[^{10}\text{Be}] = f(\text{C0, production, taux erosion, profondeur, temps})$$

C0 peut être diminué par désintégration radioactive

$[^{10}\text{Be}] = f(\text{C0, taux production, taux erosion, profondeur, temps})$



Datations





Rayons
cosmogéniques

^{10}Be

0 m

- date l'exposition des surfaces marines aux rayons cosmogéniques
- a été utilisée et validée pour dater des terrasses alluviales en général
- est utilisée pour dater des terrasses marine dans le monde



San Juan Marcona

Surfaces d'abrasion
marine



Chala

Terrasses marines
de dépôts

Trous

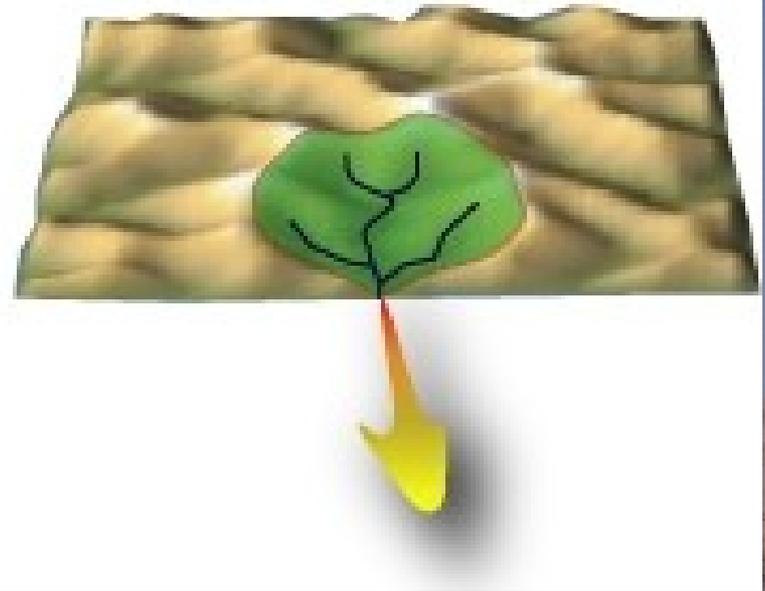
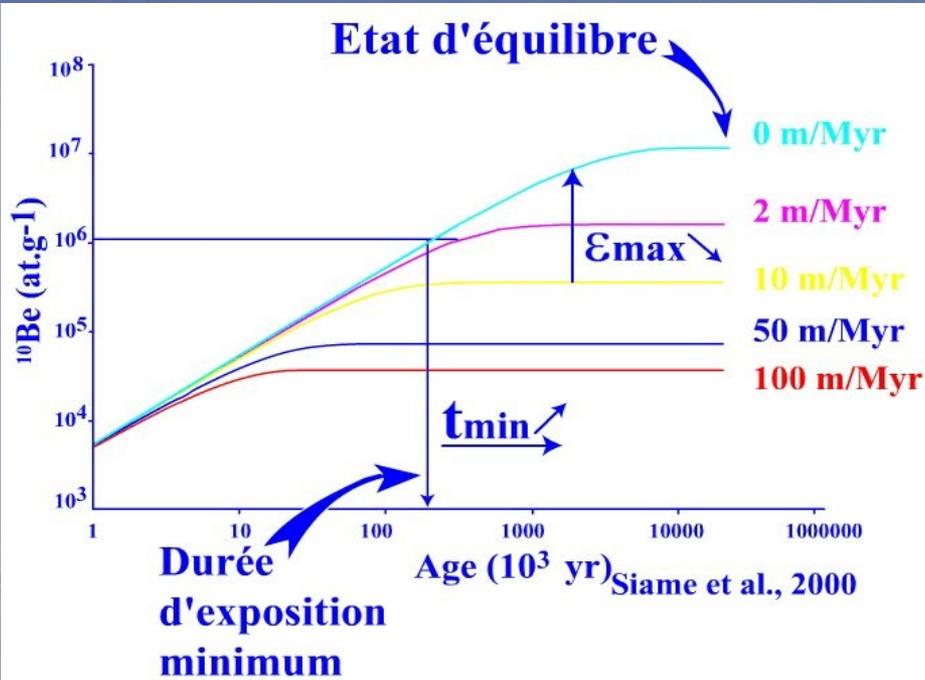


Taux d'érosion des bassins versants



Vincent Regard

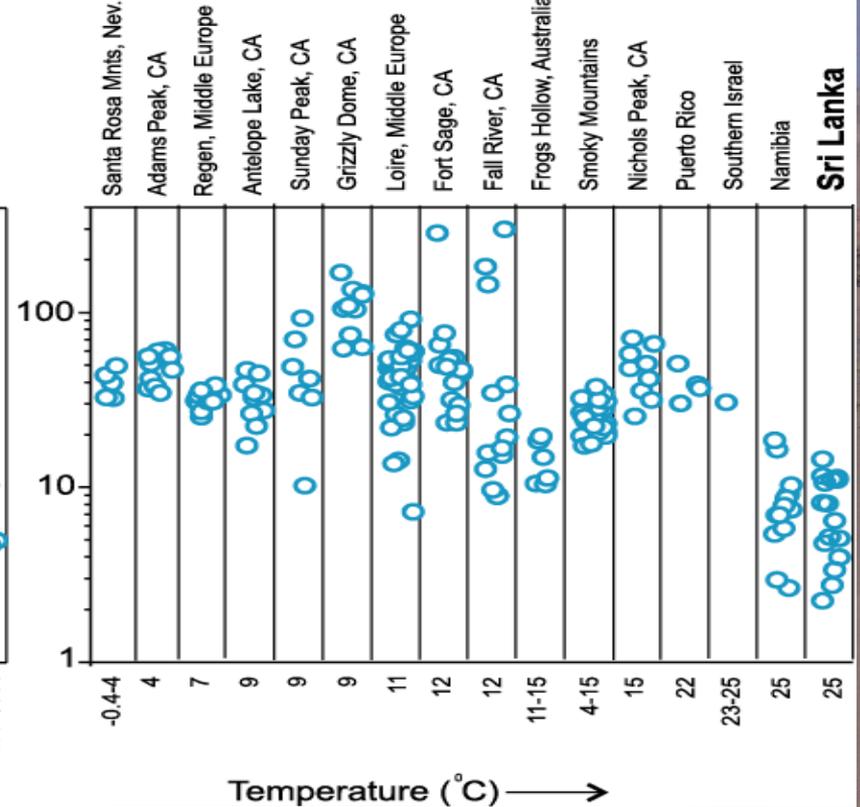
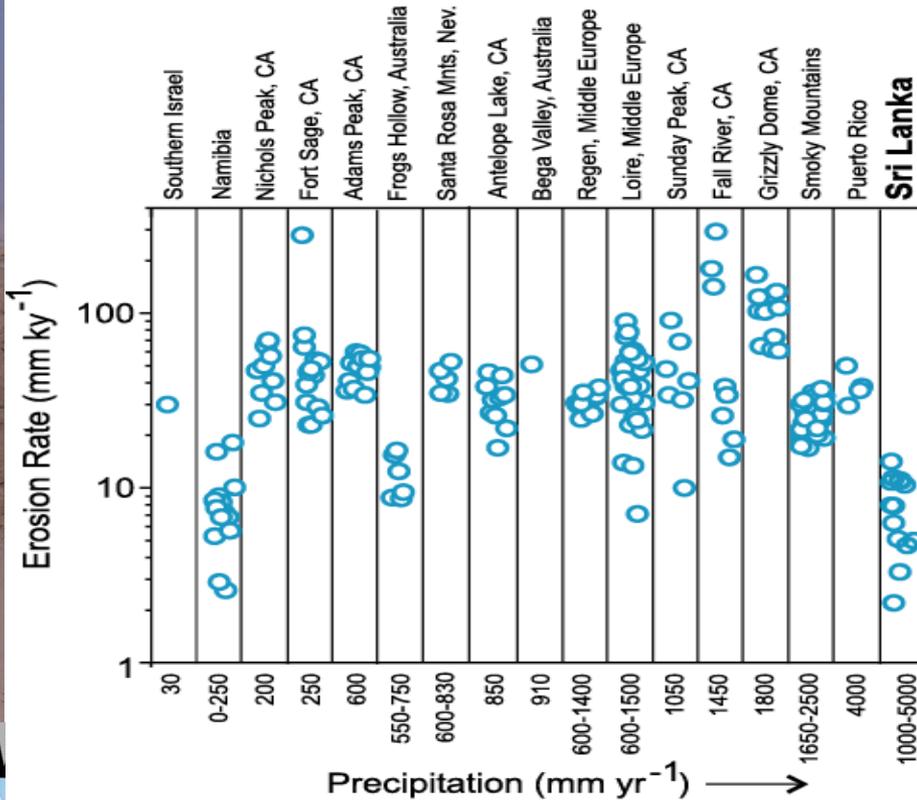
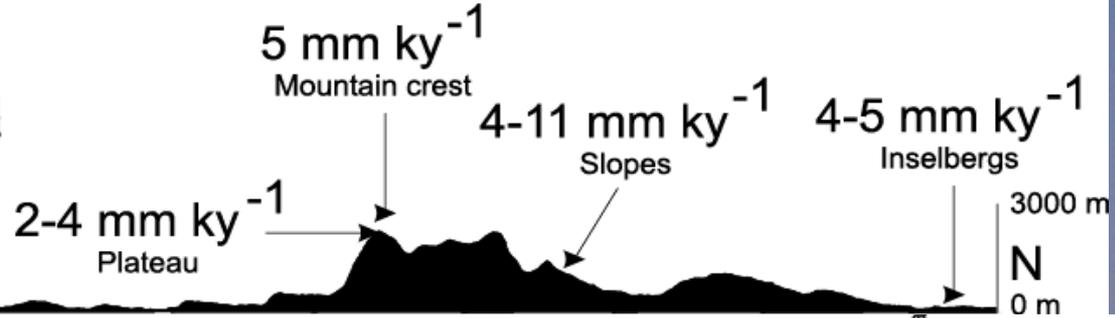
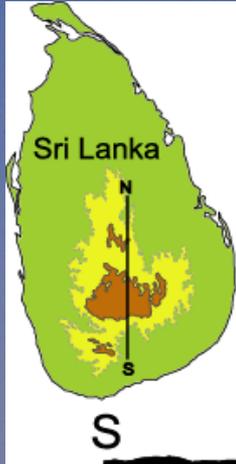
Taux d'érosion à l'échelle des bassins versants



- Hypothèse : la concentration en cosmogéniques (ex. béryllium) des rivières reflète la concentration à la surface... c'est-à-dire le taux d'érosion

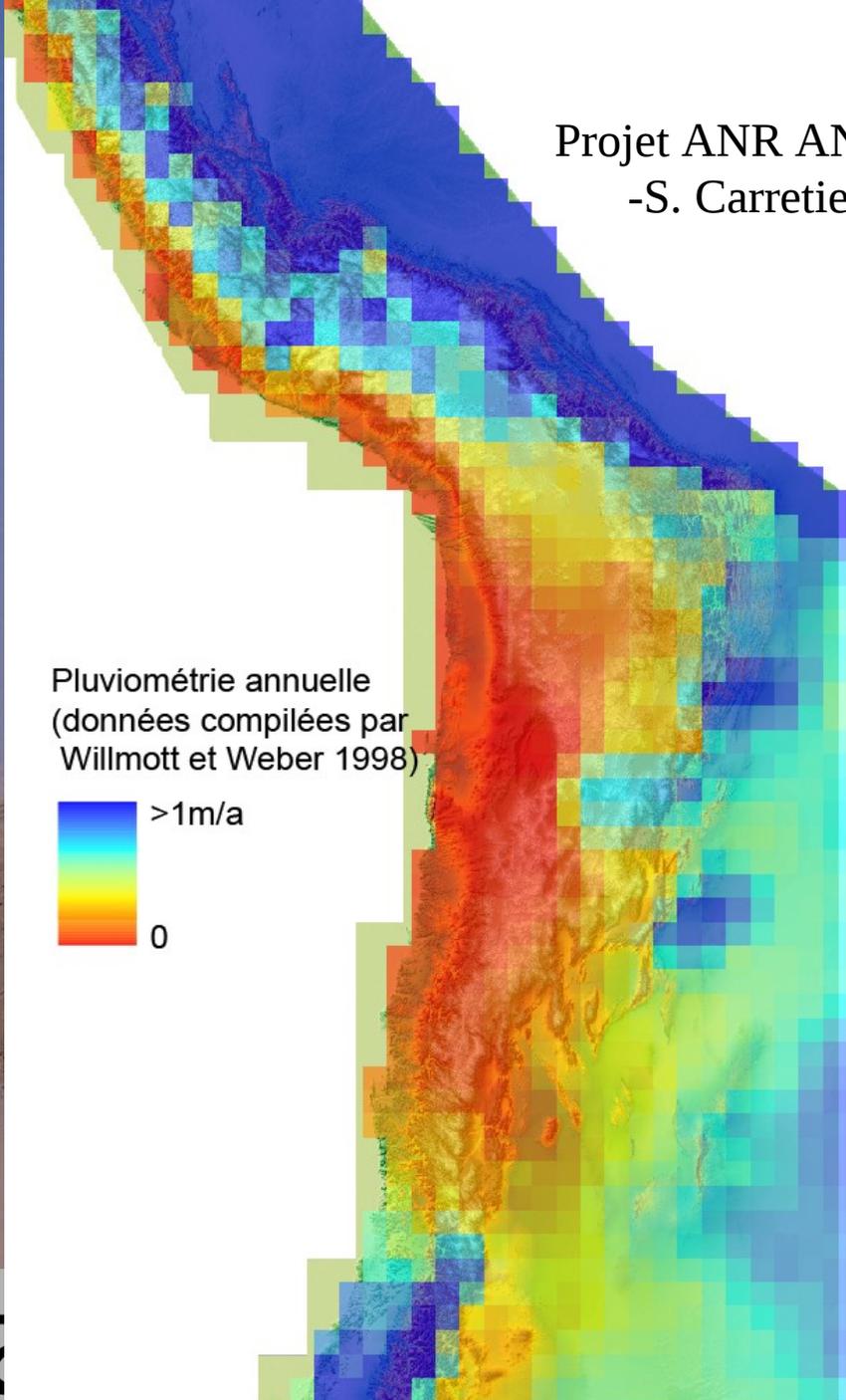
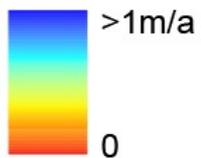
$$\text{Taux d'érosion moyen} = \frac{\text{Taux de production moyen}}{\text{Concentration moyenne}}$$

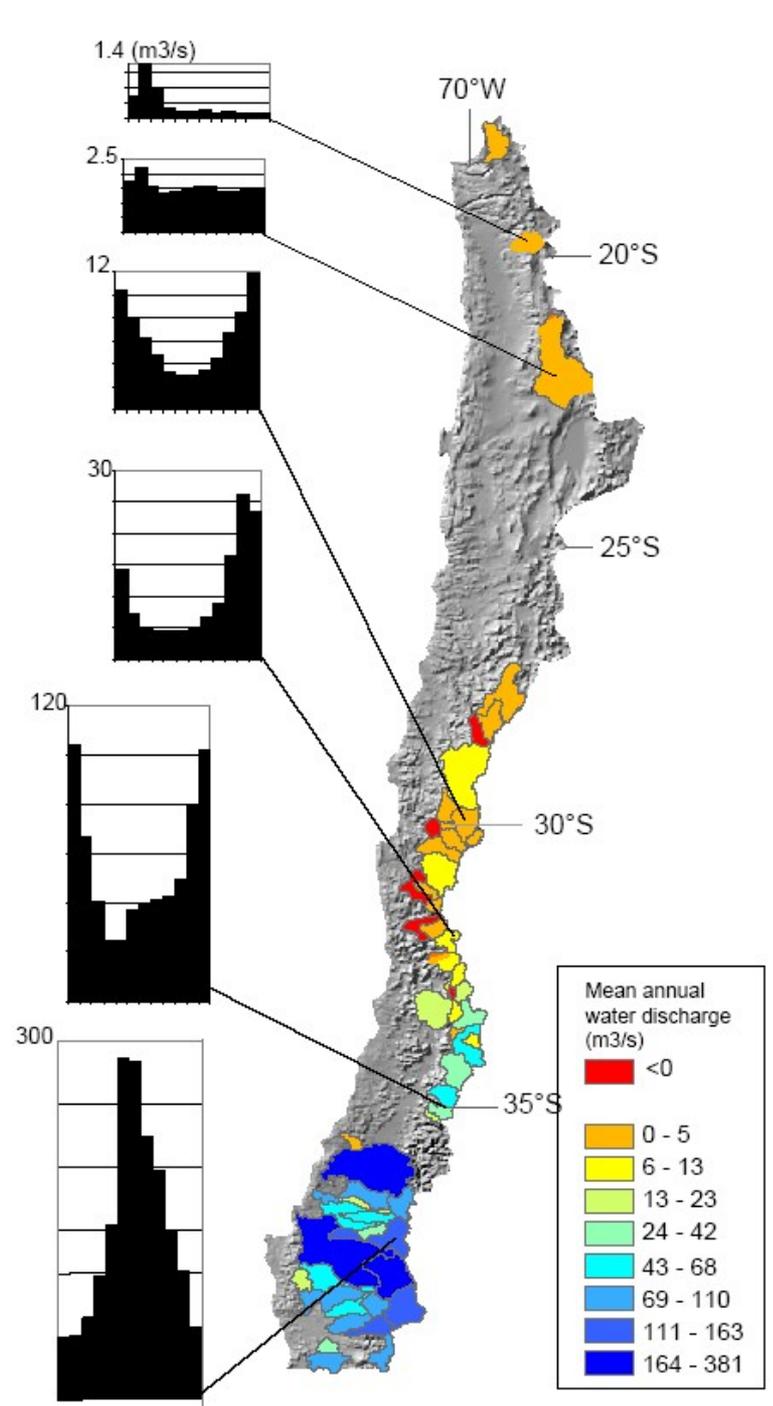
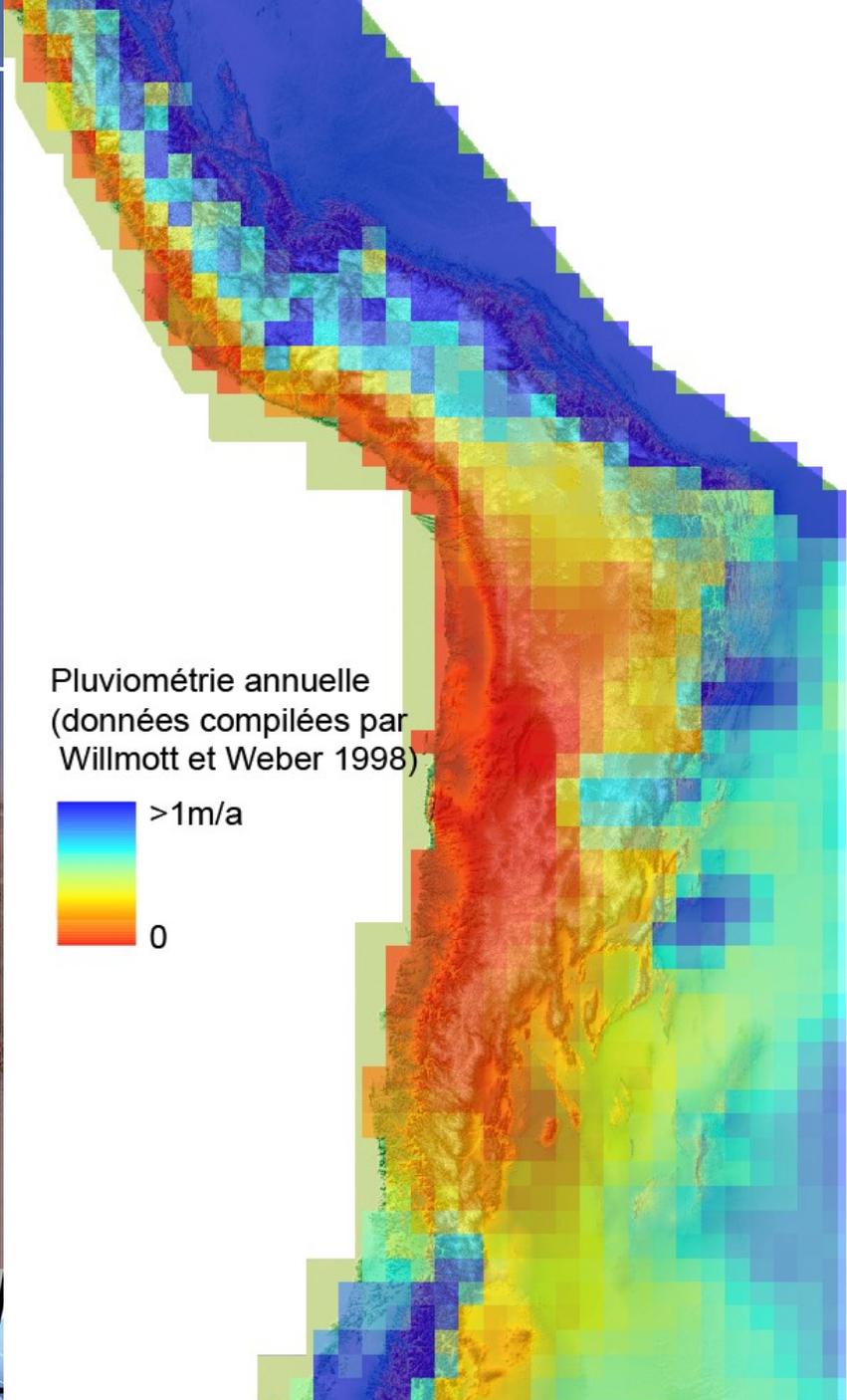
Von Blanckenburg et al., 2004

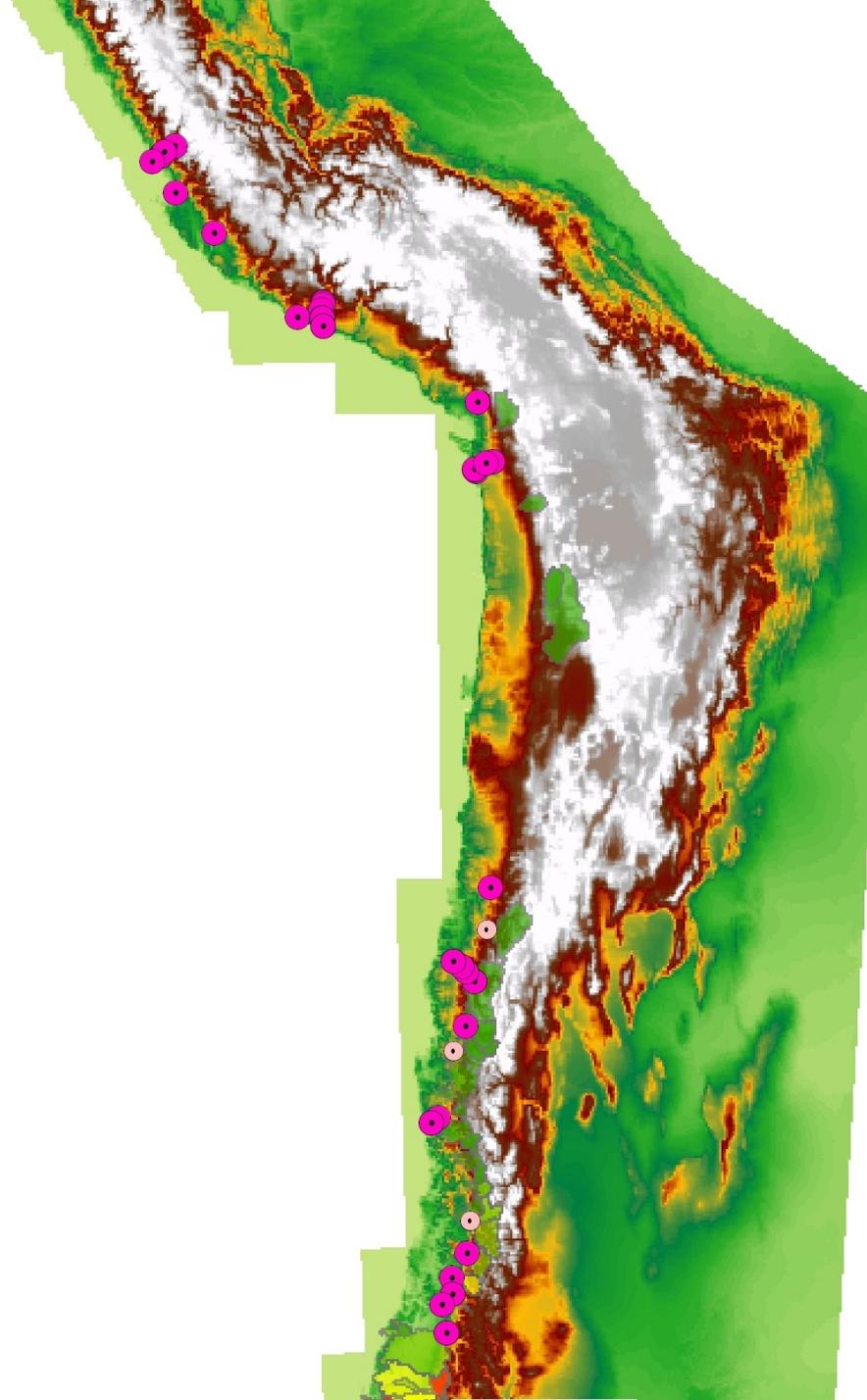


Projet ANR ANDES -S. Carretier-

Pluviométrie annuelle
(données compilées par
Willmott et Weber 1998)







Analyses en cours
(R. Vassallo, S. Carretier, E. Gayer)

Développement et utilisation
Quoi échantillonner ?
Que se passe-t-il dans une rivière ?



Questions

- Pour datation : quoi échantillonner ?
 - Sable (moyenne héritage)
 - Blocs (ne bougent pas)
- ➔ importance des processus **pré**/post-dépôt
- Quel est le temps de transit ?
- Quelle est l'importance de l'histoire sur les pentes ?

LE PROBLEME DE LA PRE-EXPOSITION

exhumation...

... stockage...

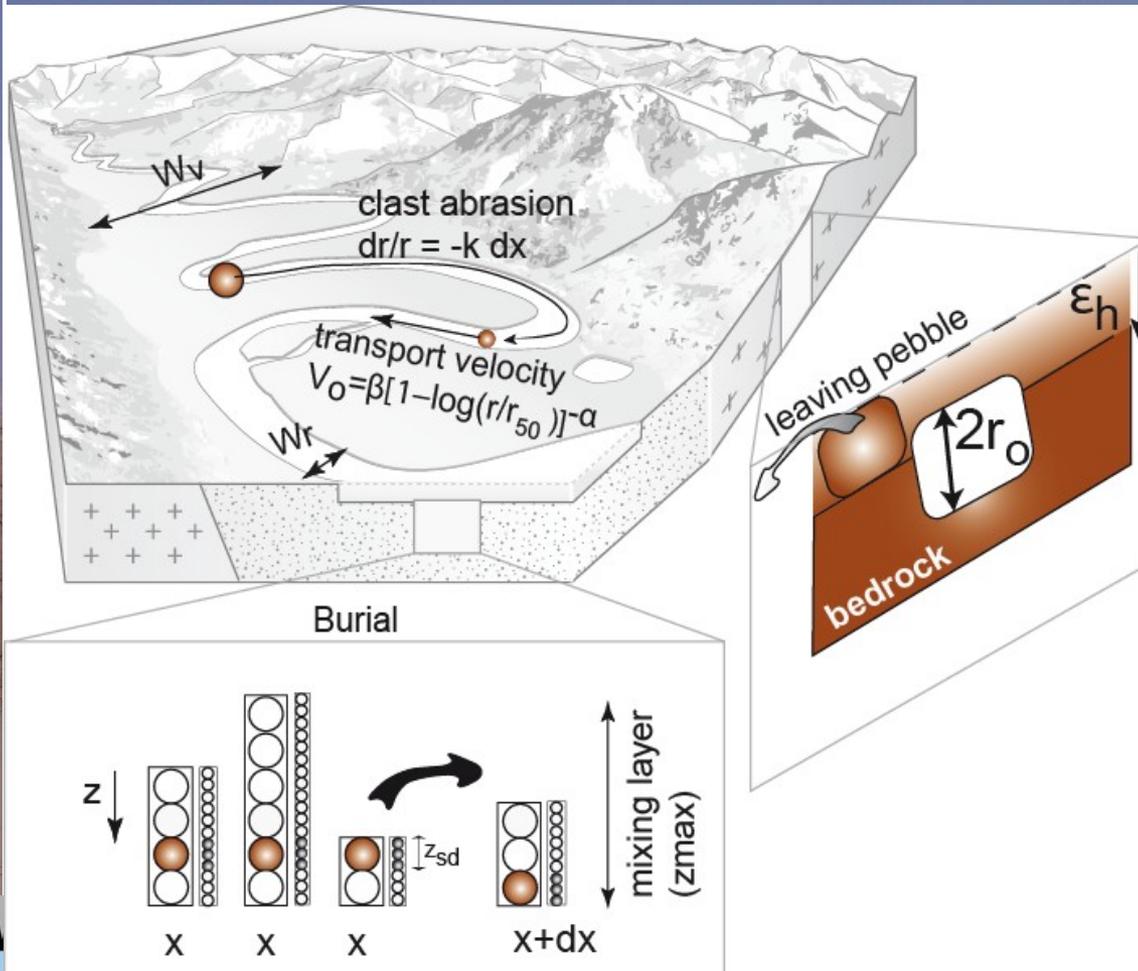
¹⁰Be hérité

... transport...

... dépôt final



Modèle numérique



Inclus

- Histoire sur les pentes

- Transport

- Erosion des blocs/galets

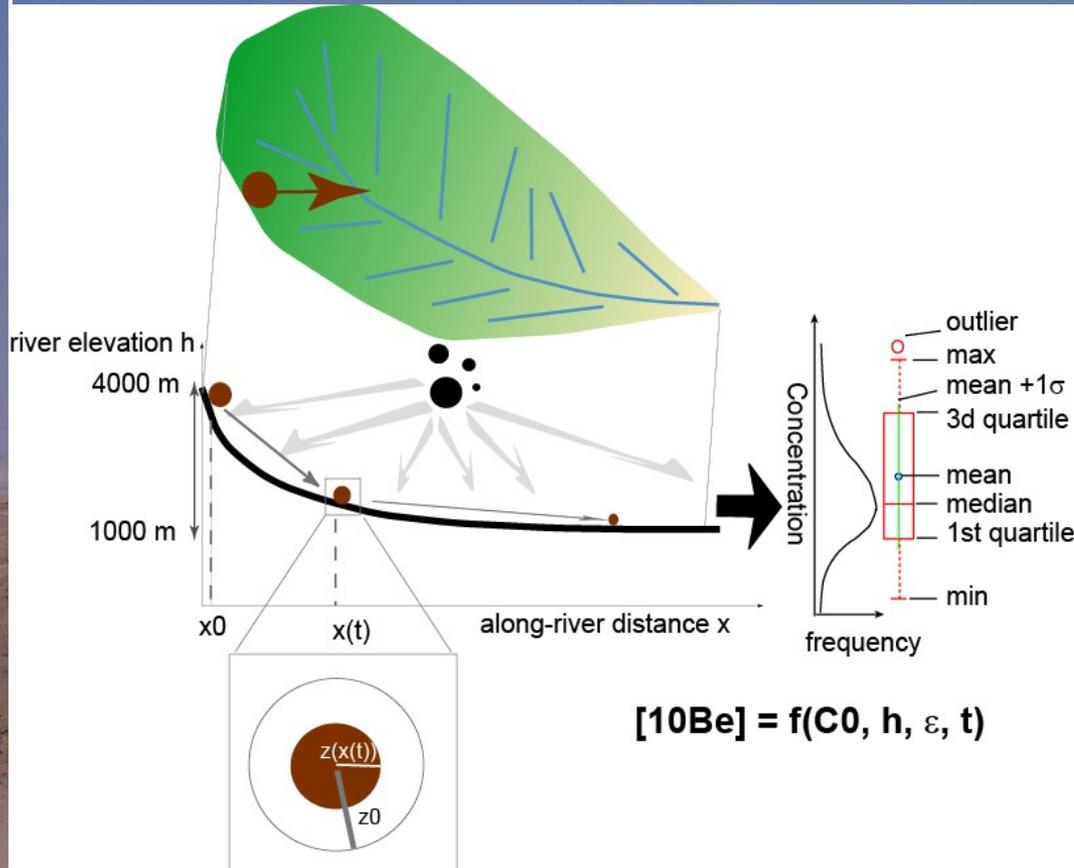
- Stockage

Limites

- Concentration au centre

- Pas de fractionnement possible

Modèle numérique



Modèle stochastique particulière :
-20 points d'introduction de galets, avec des tailles différentes (0-15 cm, taille max pour laquelle le taux de transport est bien connu, Church and Hassan, 1992); taux d'érosion sur les pentes fixé à 0.01m/a
-distribution de la concentration et des rayons à l'exutoire à partir du moment où ils sont tous <5cm

Paramètres de référence

- Longueur 100 km, entre 4000 et 1000 m d'altitude
- Taux d'abrasion $k=1\%/km$ (Jones and Humphrey, 1997; Attal and Lavé, 2006).

Variation des paramètres pour un caillou

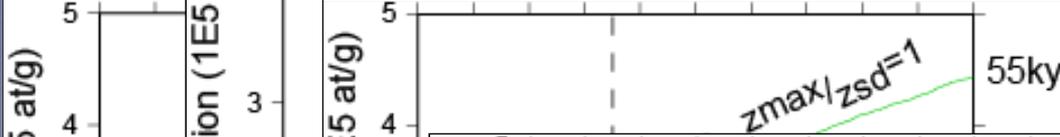
Effet du taux d'abrasion k ; taille initiale=10cm



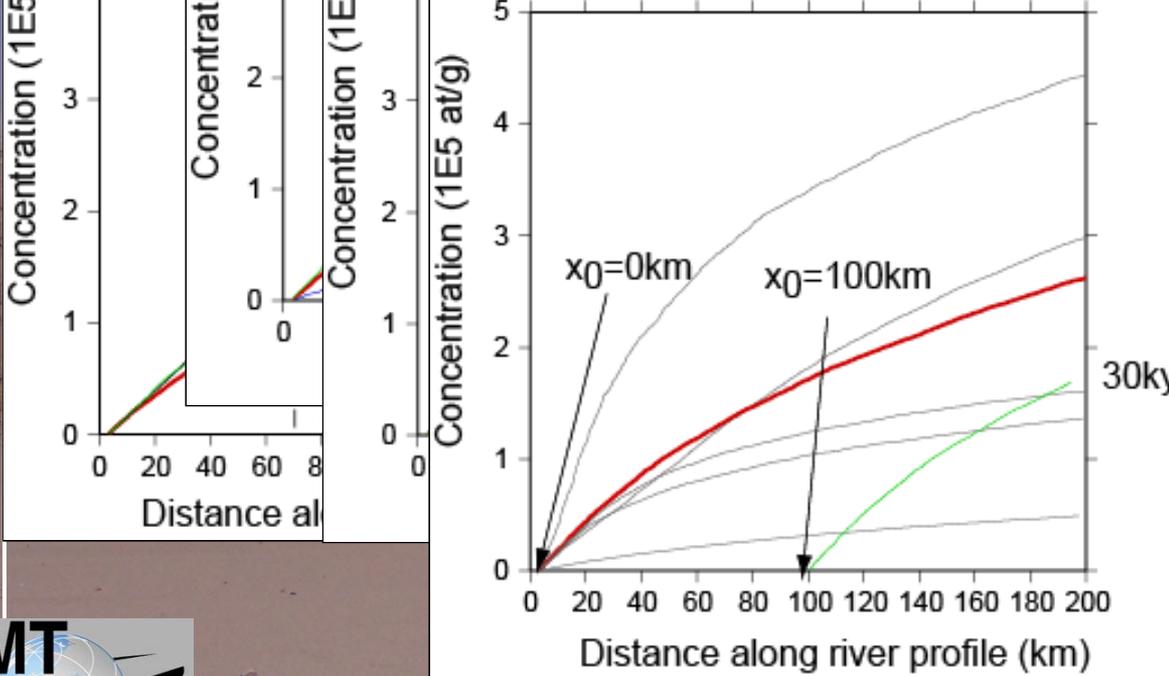
Effet de la taille initiale



Effet de l'épaisseur de la couche de mélange/stockage

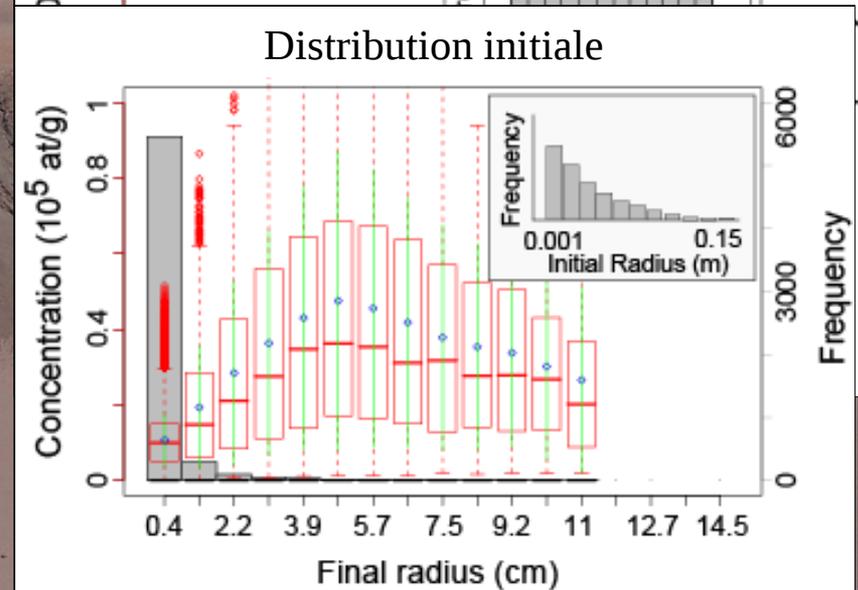
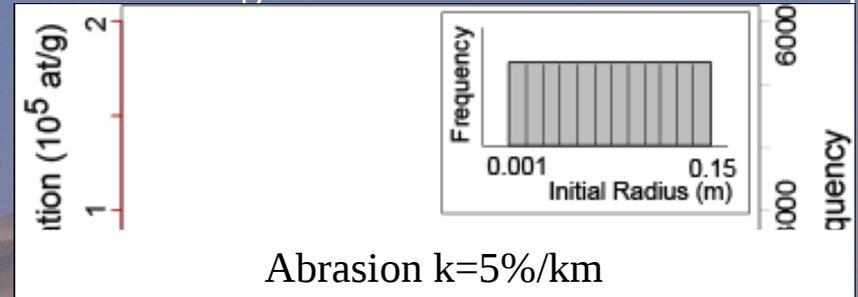
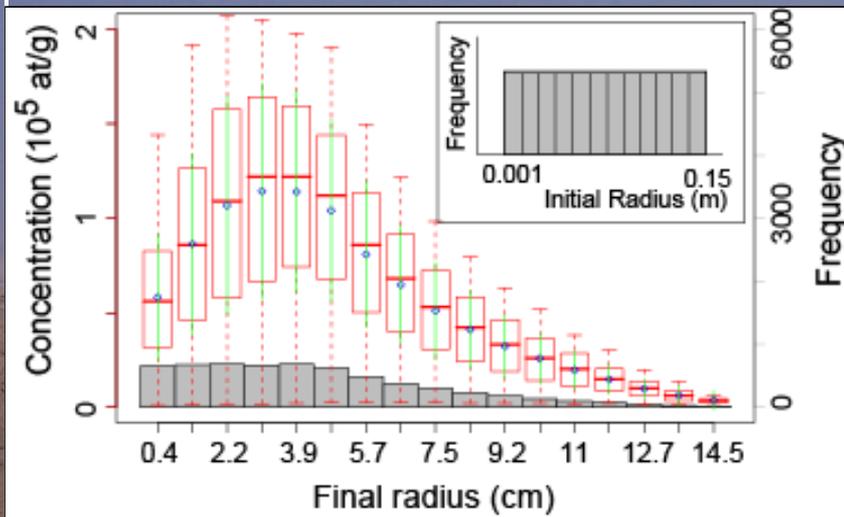


Effet de la provenance



Distribution d'une population de cailloux

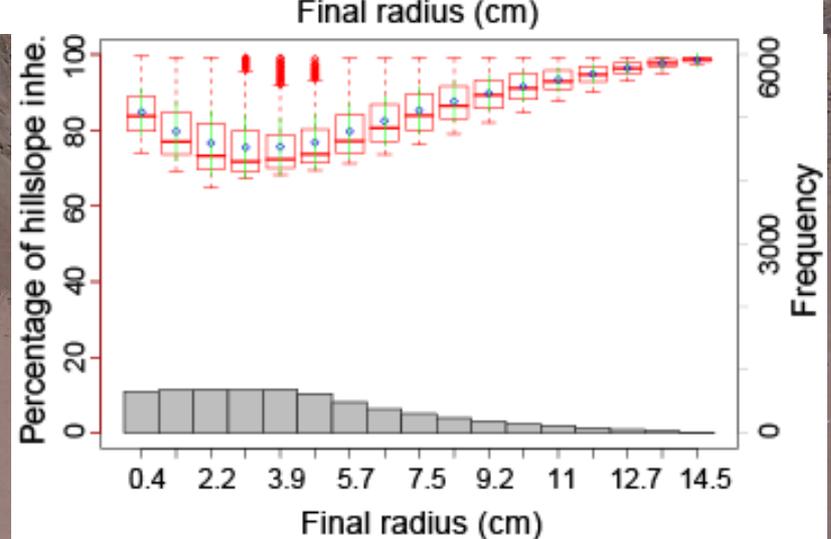
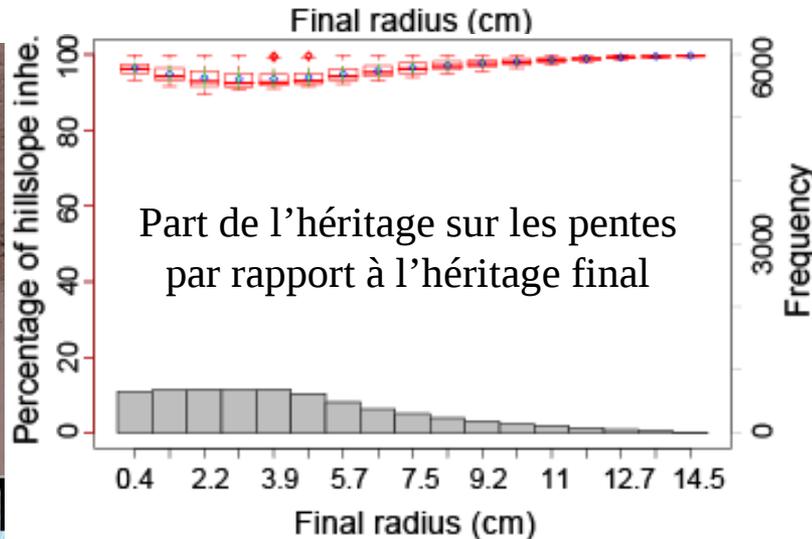
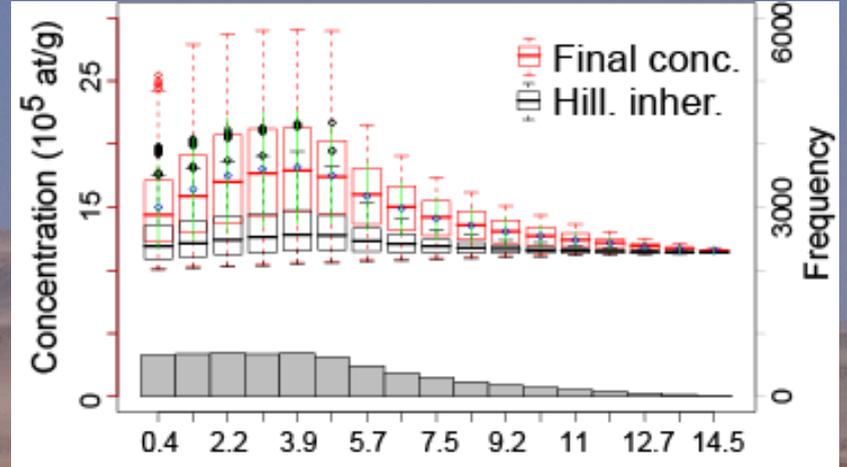
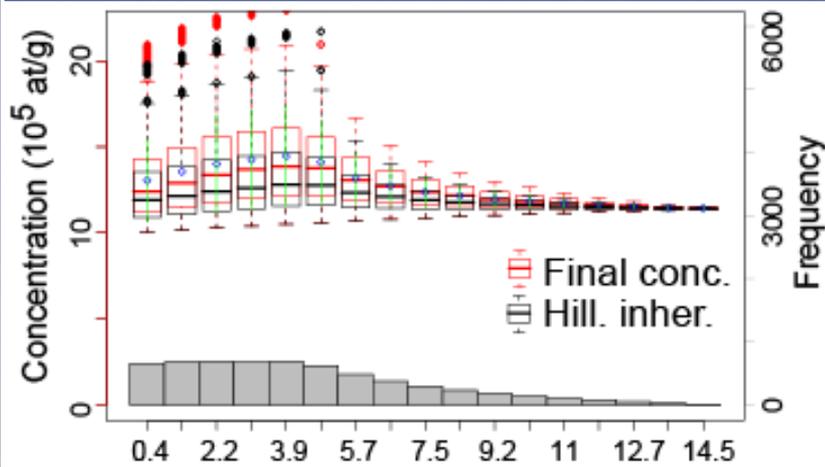
Longueur de la rivière 40 km



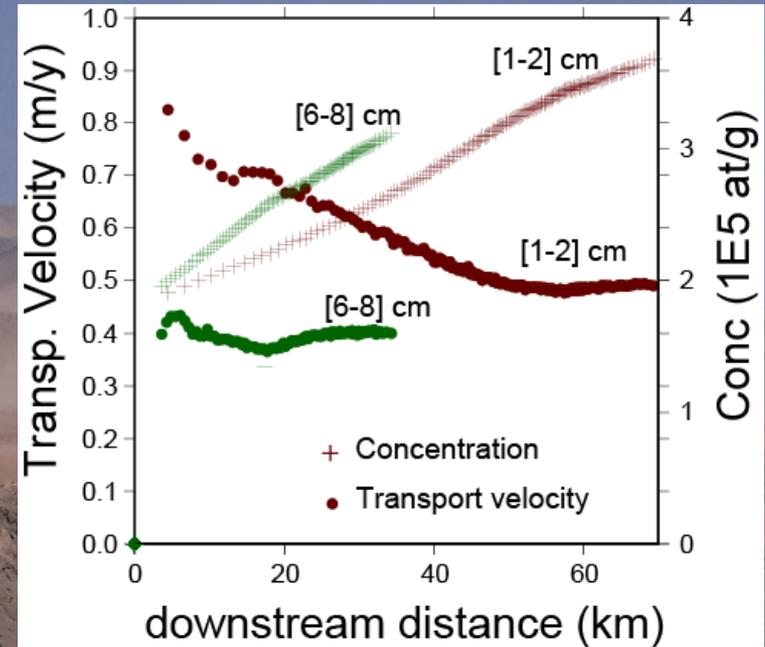
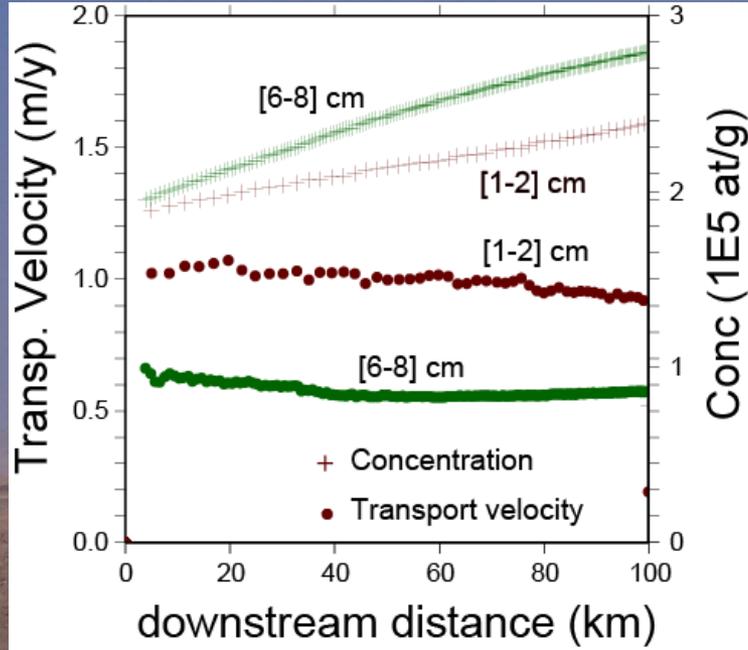
Part de l'héritage sur les pentes

Vallée étroite

Vallée large (5 fois la largeur du chenal actif)



Implication : quantification de la charge de fond ?



Il semble qu'il y ait une relation permettant de calculer la vitesse de transport U_d grâce à la concentration en ^{10}Be
Or le flux $q_s = L \cdot U_d$ où L est l'épaisseur de la couche active (bancs d'une rivière en tresse par ex.) → accès à la charge de fond ?



