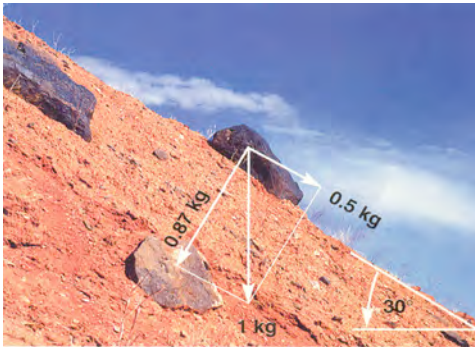
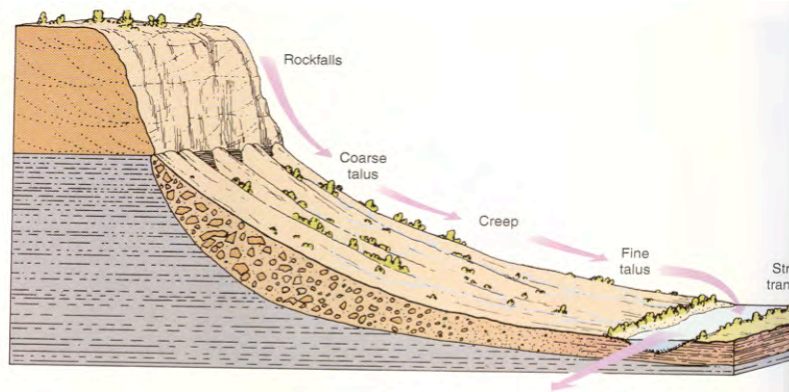


Partie 3: Mobilisation et transport des sédiments

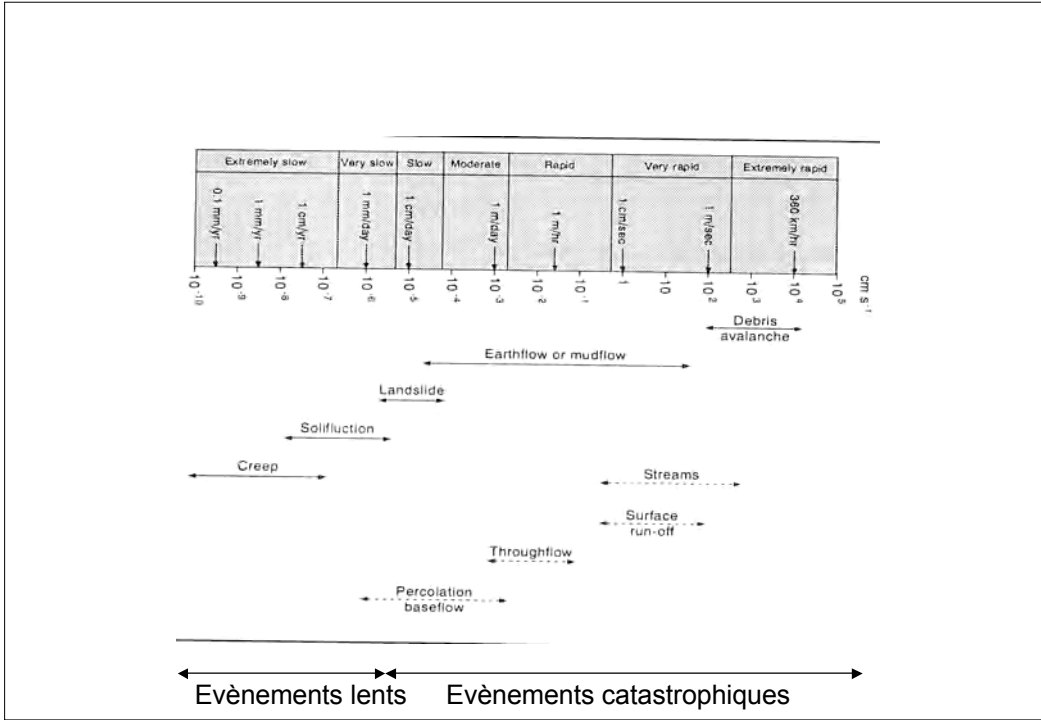
LES PROCESSUS DE PENTE



pente + gravité -> processus de pente!



- "processus de pente" = l'ensemble des processus qui contribuent au transfert amont-aval de matière le long d'une pente sous l'action de la gravité.
- Source d'approvisionnement du réseau fluvial en sédiments.
- Gamme de vitesse très large: mm/an -> dizaines de Km/h.
- Processus discrets à l'échelle humaine /continus à l'échelle des temps géologiques



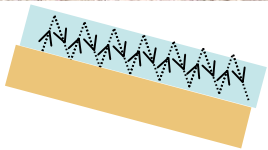
**Evènements lents:
Reptation de sol (soil creep)**



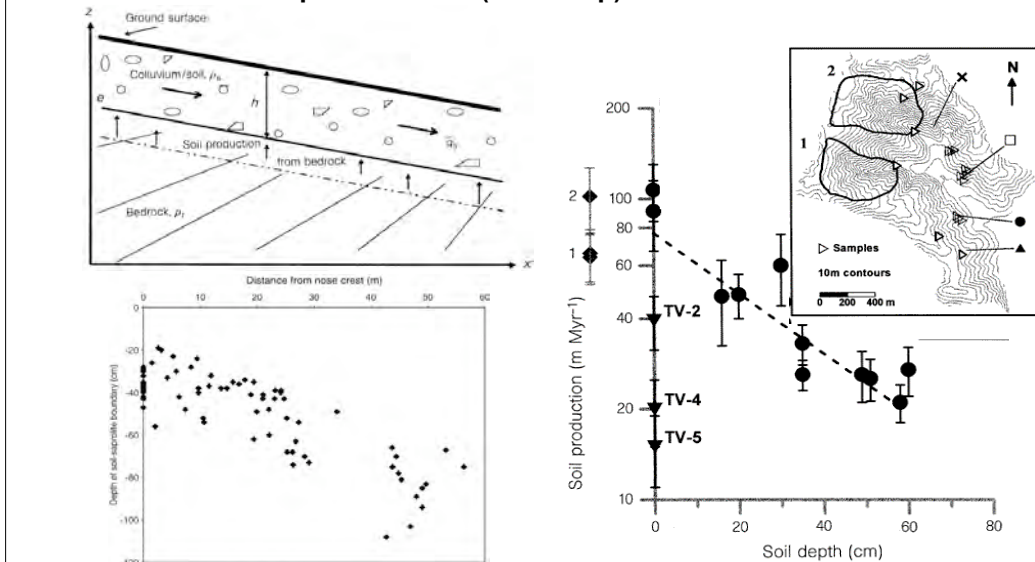
Cycle de dilatation/contraction de la couche de sol superficielle sous l'effet :

- de l'alternance saison sèche/saison humide,
- des transitions gel/dégel.

Pas de rupture

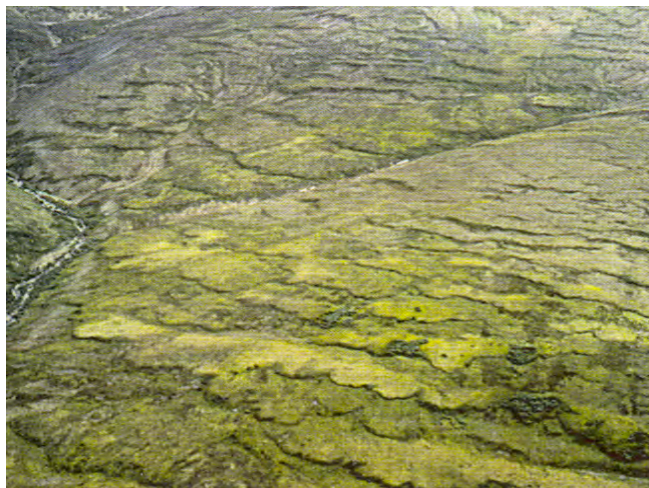


Evènements lents: Reptation de sol (soil creep) \approx mm/an

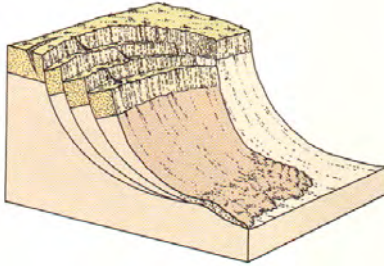


**Evènements lents:
Solifluction
(10cm/jour)**

Mécanisme = l'eau fond dans la couche de sol superficielle mais reste gelée en profondeur (pergelisol) formant une couche imperméable (région subpolaires).



**Evènements catastrophiques:
Glissement de terrain**



mécanisme = glissement « en masse » le long d'une (ou plusieurs) surface de rupture.

**Evènements catastrophiques:
Avalanches de roche, Ecoulements de débris
(> 5 Km/h)**

**DEBRIS FLOWS IN THE
MOSCARDO TORRENT
(Eastern Italian Alps)**

Provided by: Andrea M. Deganutti, Massimo Arattano & Lorenzo Marchi, Institute for Hydrological & Geological Prevention, Padova and Torino, Italy

Shows two debris flow events, each with secondary surges, that occurred in June and July, 1996, along a small alluvial fan. Although shown in real time, each event is edited to compress 10 to 12 minutes into 2 to 3 minutes.

Location	Velocity (m s ⁻¹)	Slope (%)
Rio Reventado, Costa Rica	2.9-10	4.6-17.4
Hunshu Gully, China	10-13	-
Bullock Creek, New Zealand	2.5-5.0	10.5
Pine Creek, Mt. St. Helens, Wa	10-31.1	7-32
Wrightwood Canyon, Ca. (1969 flow)	0.6-3.8	9-31
Wrightwood Canyon, Ca. (1941 flow)	1.2-4.4	9-31
Lesser Almatinka River, former USSR	4.3-11.1	10-18
Mataruska Glacier, Alaska	0.001-1.3	2-47
Nojiri River, Japan	12.7-13.0	5.8-9.2
Mayflower Gulch, Colorado	2.5	27
Dragon Creek, Arizona	7.0	5.9

Source: after various sources summarized in Costa (1984) table 1.

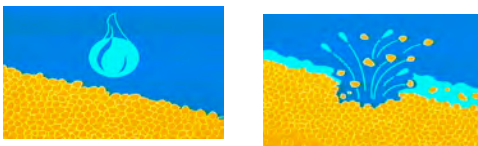
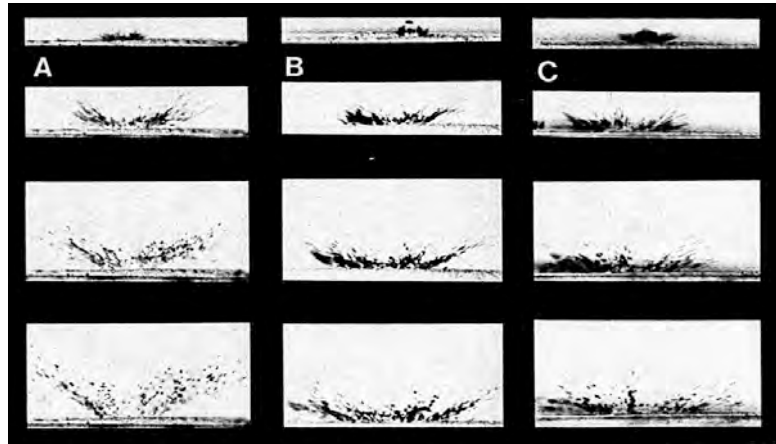
**Evènements catastrophiques:
Coulée de boue, lahar, lave torentielle,...
(40 Km/h)**



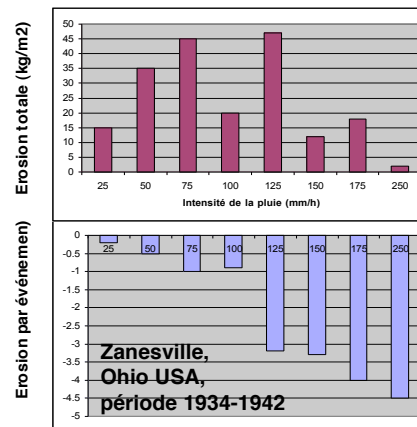
**Evènements catastrophiques:
Ruissellement et ravinement**



Le splash



Burkina Faso



Déclenchement climatique



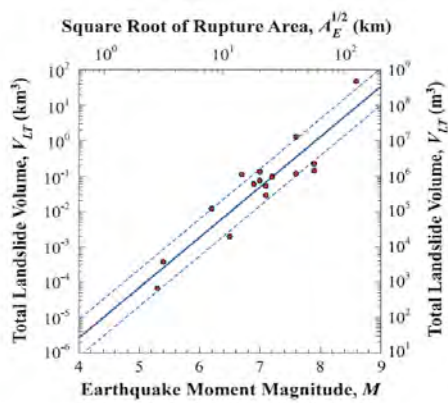
Alpes du Sud, Nouvelle Zélande, 2004

➤ 5000 glissements en 50 ans

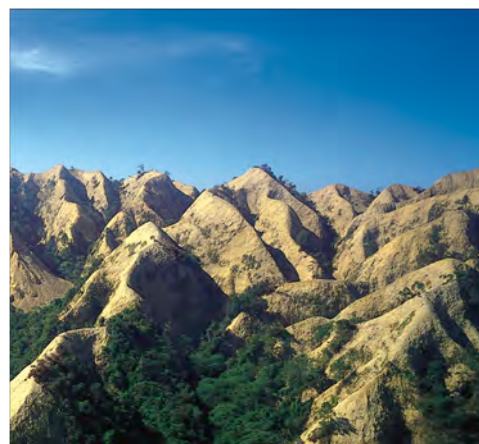
Déforestation



Déclenchement sismique



Keffer (1984)



99 Peaks, Taiwan, après Chichi (M_w=7.6 1999)

➤ 20,000 glissements

FLUX DE MATIERE ASSOCIES

Table 4.4 Debris-avalanche erosion in forest, clear-cut and roaded areas

Site	Period of records (years)	Area		No. of slides	Debris-avalanche erosion (mm 1000 a ⁻¹)	Rate of debris-avalanche erosion relative to forested areas
		(%)	(km ²)			
Stequeleho Creek, Olympic Peninsula						
Forest	84	79	19.3	25	71.8	x 1.0
Clear-cut	6	18	4.4	0	0	0
Road	6	3	0.7	83	11,625	x 165
Total	-	-	24.4	108	-	-
Aidar Creek, western Cascade Range, Oregon						
Forest	25	70.5	12.3	7	45.3	x 1.0
Clear-cut	15	26.0	4.5	18	117.1	x 2.6
Road	15	3.5	0.6	75	15,565	x 344
Total	-	-	17.4	100	-	-
Selected drainages, Coast Mountains, south-west British Columbia						
Forest	32	88.9	246.1	29	11.2	x 1.0
Clear-cut	32	9.5	26.4	18	24.5	x 2.2
Road	32	1.5	4.2	11	282.5	x 25.2
Total	-	-	276.7	58	-	-
H. J. Andrews Experimental Forest, western Cascade Range, Oregon						
Forest	25	77.5	49.8	31	35.9	x 1.0
Clear-cut	25	19.3	12.4	30	132.2	x 3.7
Road	25	3.2	2.0	68	1772	x 49
Total	-	-	64.2	130	-	-

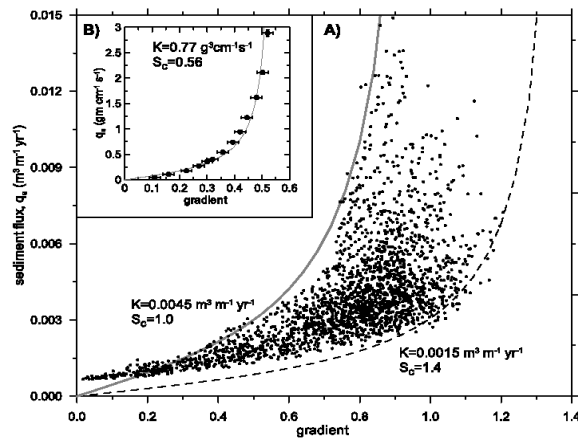
Source: after D. N. Swanson and F. J. Swanson (1976) table 4

(USA)

Plot	Splash	Overland flow	Rill	Total
1. Bare soil				
Top slope	33	667	10	710
Mid-slope	82	1648	39	1769
Lower-slope	62	1434	6	1502
2. Bare soil				
Top slope	80	111	-	171
Mid-slope	43	778	-	821
Lower-slope	37	301	-	338
3. Grass				
Top slope	9	9	-	18
Mid-slope	9	57	-	66
Lower-slope	12	5	-	17
4. Woodland				
Top slope	-	-	-	0
Mid-slope	-	12	-	12
Lower-slope	-	0.8	-	0.8

Source: Wim Mergaht (1977) (Angleterre)

FLUX DE MATIERE ASSOCIES



Pentes fortes
Glissements et
coulées de débris

Pentes faibles
reptation

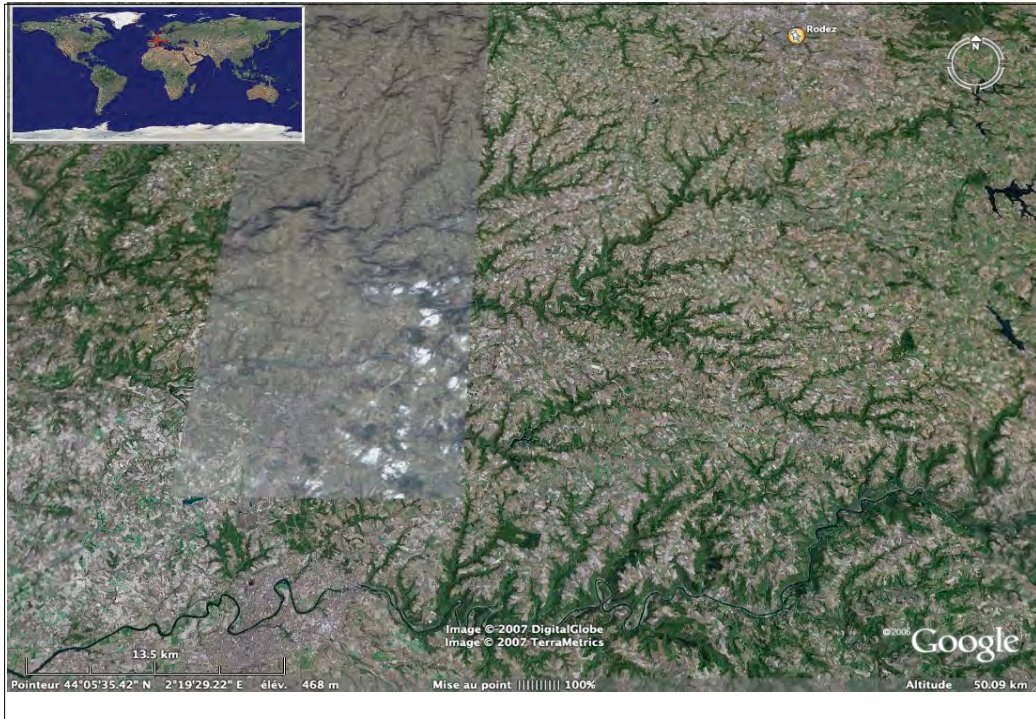
Transport en rivière

Système fluviatile = 0.0001% de l'eau sur Terre

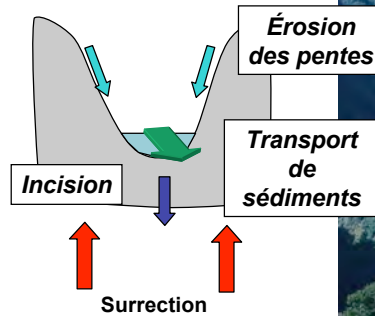
Mais agent géologique primordial:

- processus de façonnement du relief le plus dynamique
- transfère l'eau et les sédiments depuis les pentes jusqu'à l'océan





Incision fluviale



Mécanismes et
temps caractéristiques du
couplage pentes-chenaux ?



Glissements de terrain

Rivière à fond rocheux



Rivière alluviale



- Rivière sableuses : plutôt rivières de plaines à faible pentes



- Rivières graveleuses: plutôt rivières de montagne à forte pente

Forte pente = 1%

rivière en méandre



rivière en tresses



Barres alternées

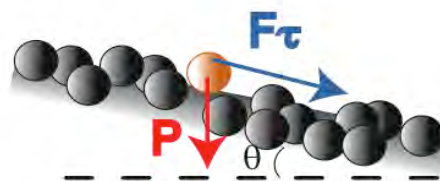


Independent and innovative institution
Challenging and professional environmental services
**Water Environmental
Engineering Division**
獨立行政法人、北海道環境土木研究所
環境本工務、環境研究所

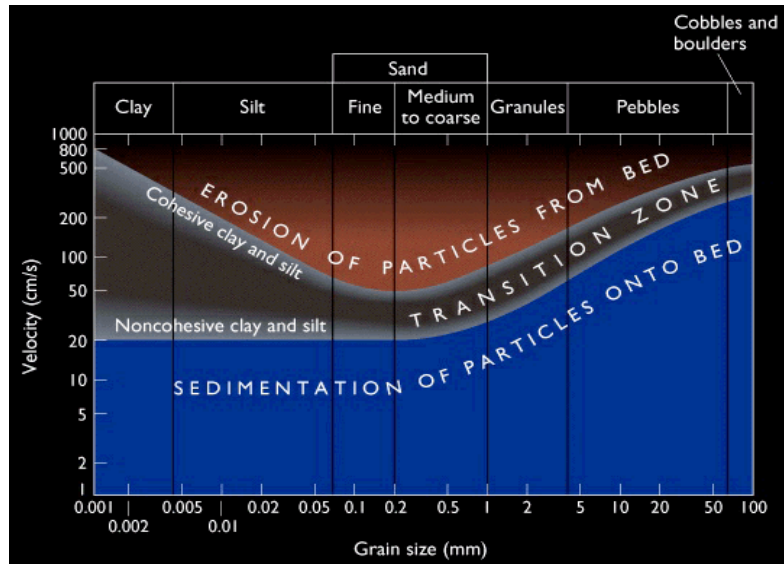
Barres multiples



TRANSPORT DE SEDIMENTS



- L'écoulement exerce une force (contrainte) sur le fond.
- Cette contrainte est proportionnelle à l'énergie cinétique de l'écoulement
i.e. $\propto U^2$
- Lorsque cette contrainte dépasse un seuil d'arrachement (qui dépend des propriétés du sédiment), une particule de sédiment peut être mise en mouvement.



grosses particules sédimentent vite → restent localisées près du lit
 → *charge de fond*

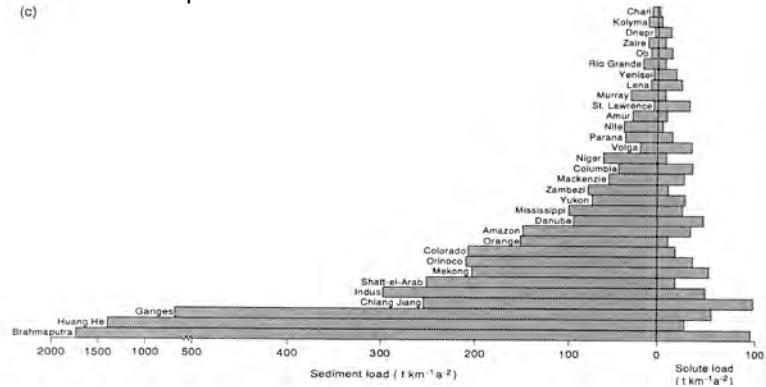
petites particules sédimentent lentement → restent en suspension
 → *charge en suspension*



LES 3 MODES DE TRANSPORT DE SEDIMENTS EN RIVIERE:

Charge de fond
Charge en suspension } Charge sédimentaire / érosion mécanique

Charge dissoute érosion chimique



Paramètres de contrôle du flux sédimentaire

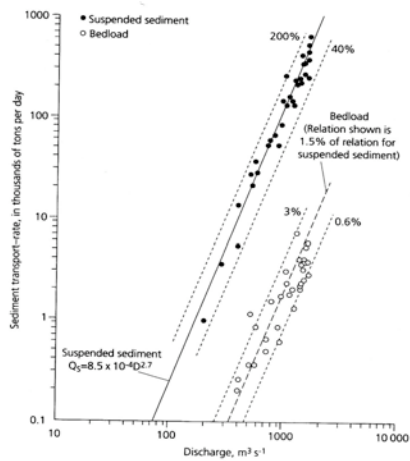
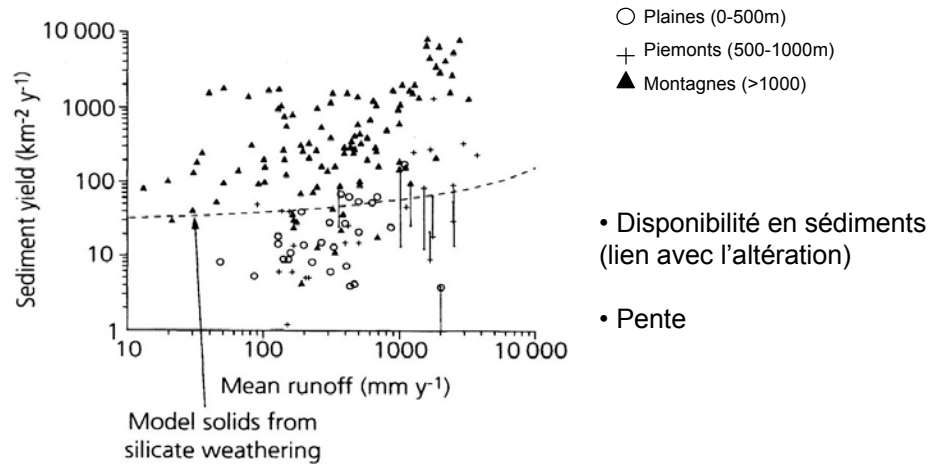


Fig. 3.27 Example of a sediment rating curve for bedload and suspended load transport rate as a function of discharge, Tanana River, close to Fairbanks, Alaska. Data from Burrows et al. (1979) [34].

Pour une rivière donnée, la charge sédimentaire augmente avec le débit

Paramètres de contrôle du flux sédimentaire



Le vent : transport éolien



Tempête de sable en Irak

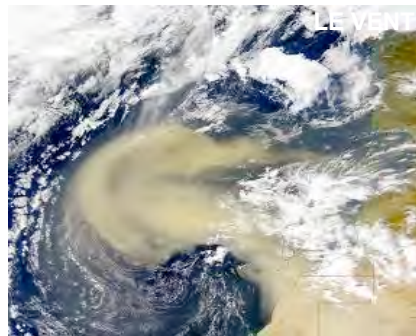
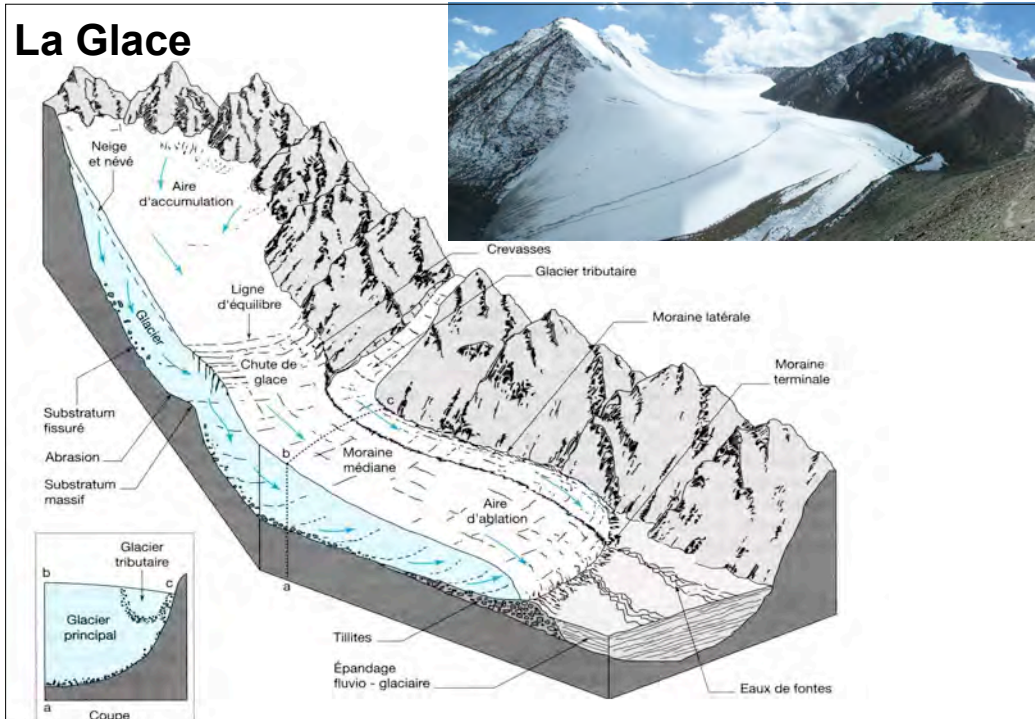


Photo satellite du nuage de sable et poussière soulevés par une tempête dans le Sahara le 26 Février 2000, qui atteindra l'Amazonie le 4 Mars 2000

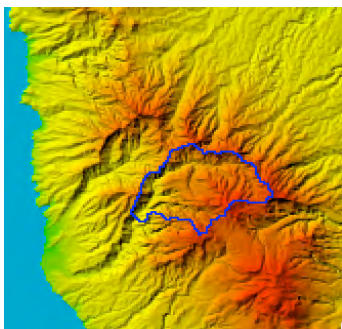


Dunes

La Glace



Taux de dénudation:



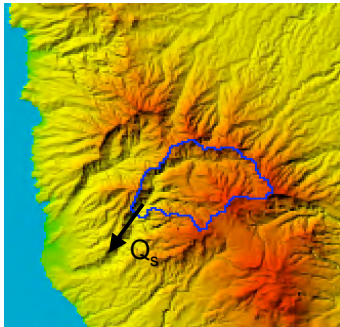
Combien de temps faut-il à l'érosion pour « effacer » le relief de mon BV ?

H = altitude moyenne du BV

Quelle est l'épaisseur moyenne de sédiment arrachée à un BV par an?

Taux de dénudation D $|D| = \frac{dH}{dt}$

Taux de dénudation:



Les flux de sédiments convergent vers l'exutoire



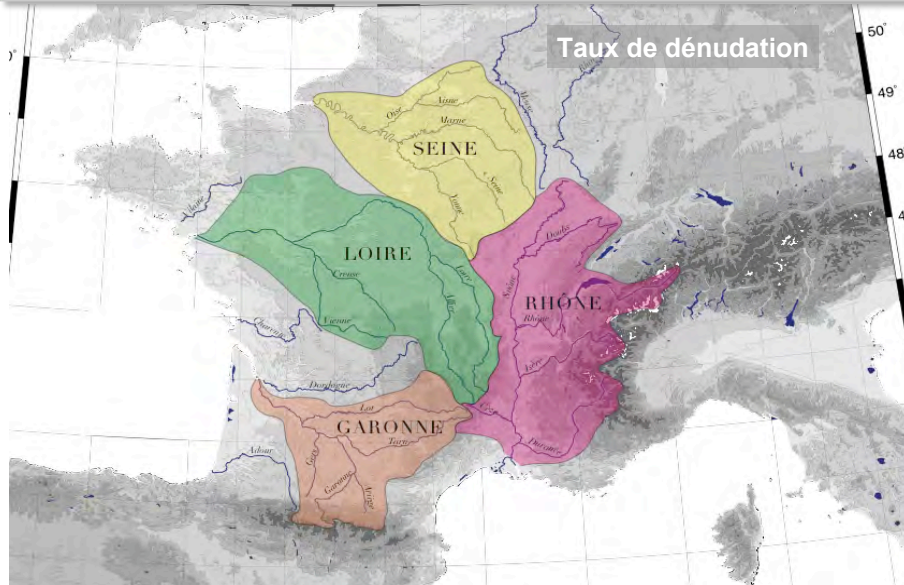
$$D = \frac{Q_s}{A}$$

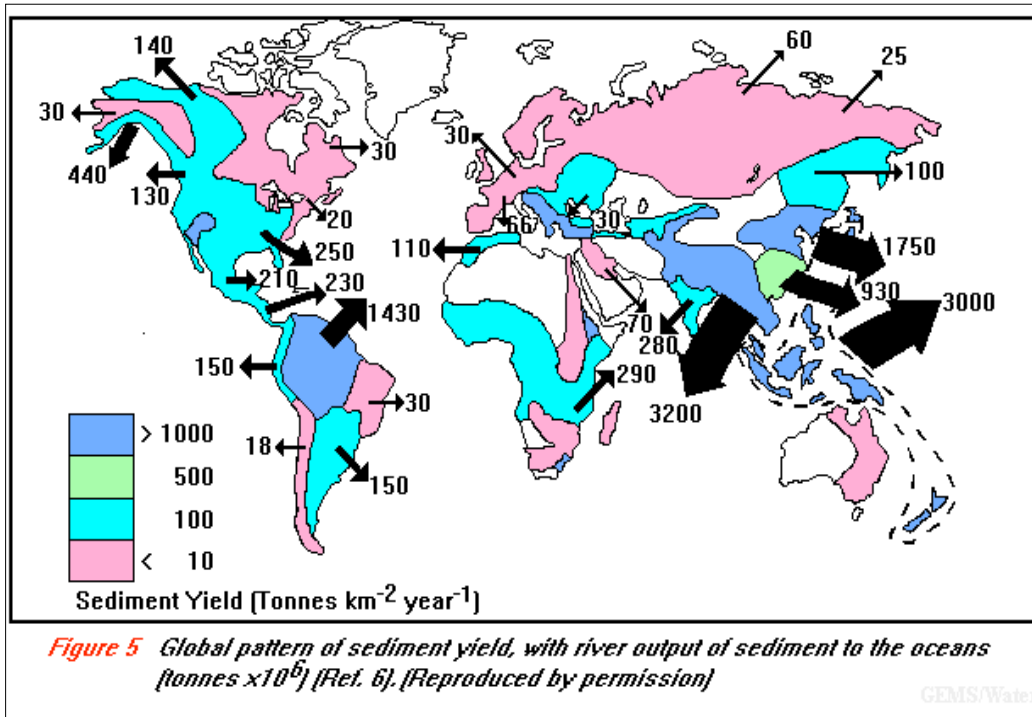
Flux
volumétrique de
sédiments à
l'exutoire

Aire du BV

! D en m/an
parfois en T/km²/an

Bassin	Flux dissout (t/an)	Flux solide (t/a)	Flux Total (t/an)	Débit annuel moyen (m3/s)
Rhone	1.68E+07	3.10E+07	4.78E+07	1568.56
Loire	6.38E+06	4.38E+05	6.82E+06	868.25
Seine	6.28E+06	1.10E+06	7.38E+06	408.78
Garonne	4.52E+06	1.13E+06	5.65E+06	630.59





Le vent qui érode les zones désertiques et dépose

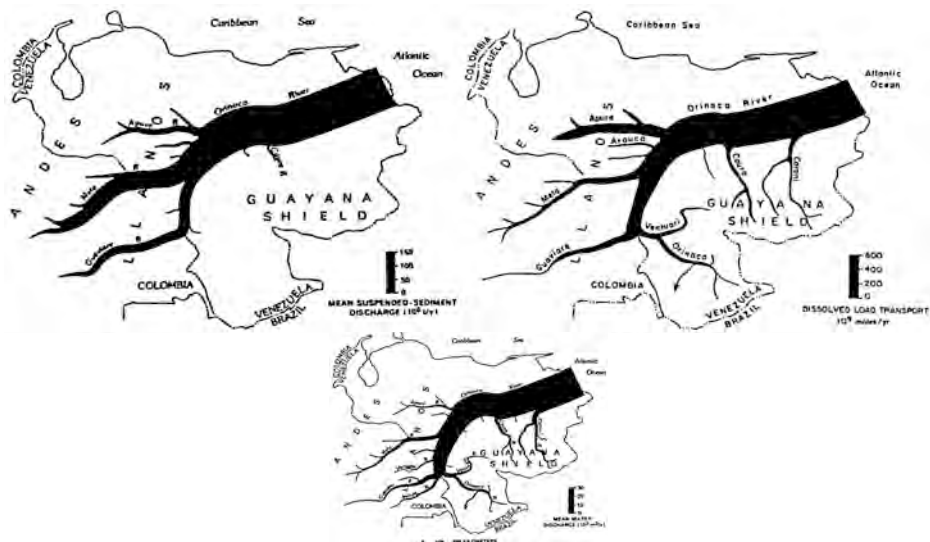
Table 5.2 Rates of dust deposition on land (current)

Source	Location	Rate t km ² a ⁻¹	**mm 1000 a ⁻¹
<i>Mediterranean region</i>			
Loye-Pilot et al. (1986)	Corsica	14	16
Yaalon and Ganor (1975)	Israel	22-83	25-93
Bucher and Lucas (1984)	Pyrenees	18-23	20-26
<i>USA</i>			
Smith et al. (1970)	High plains	65-85	73-96
Brown et al. (1968)	Kansas	6.6-8.6	7-10
Van Hauklon (1977)	Illinois	100	112
Pévé et al. (1981)	Arizona	54	61
Gile and Grossman (1979)	New Mexico	9.3-125.8	10-141
Muhs (1983)	California	24-31	27-35
<i>Miscellaneous</i>			
Malay (1980)	Chad	109	122
McFainsh and Walker (1982)	N. Nigeria	137-181	154-203
Safar (1985)	Kuwait	100	112
Tiller et al. (1987)	SE Australia	5-10	6-11

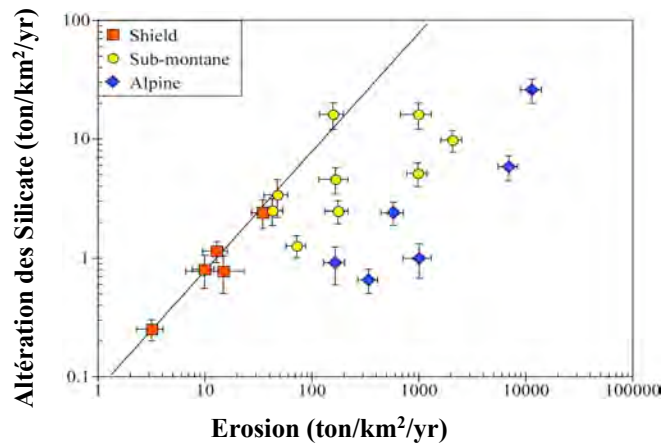
** Calculated on bulk density of dust of 0.89 g cm⁻³

Glacier	Mean basin wide erosion rate (mm/ka)
(a)	
Muir, Alaska	19000
Muir, Alaska	5000
Hidden, Alaska	30000
Engabreen, Norway	5500
Storbreen, Norway	100
Heilstugubreen, Norway	1400
Hoffelsjökull, Iceland	2800-5600
St Sorlin, France	2200
Bas Glacier d'Arolla, Switerland	3600
(b)	
Nilsgardsbreen	165
Engabreen	218
Edalsbreen	610
versledalsbreen	73

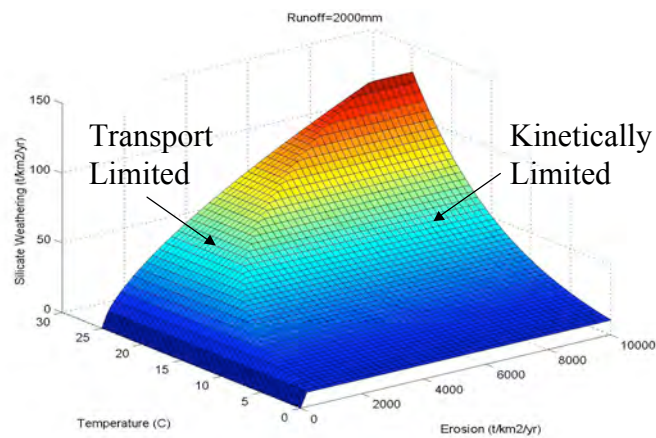
Dénudation chimique / mécanique: Mécanismes de couplages



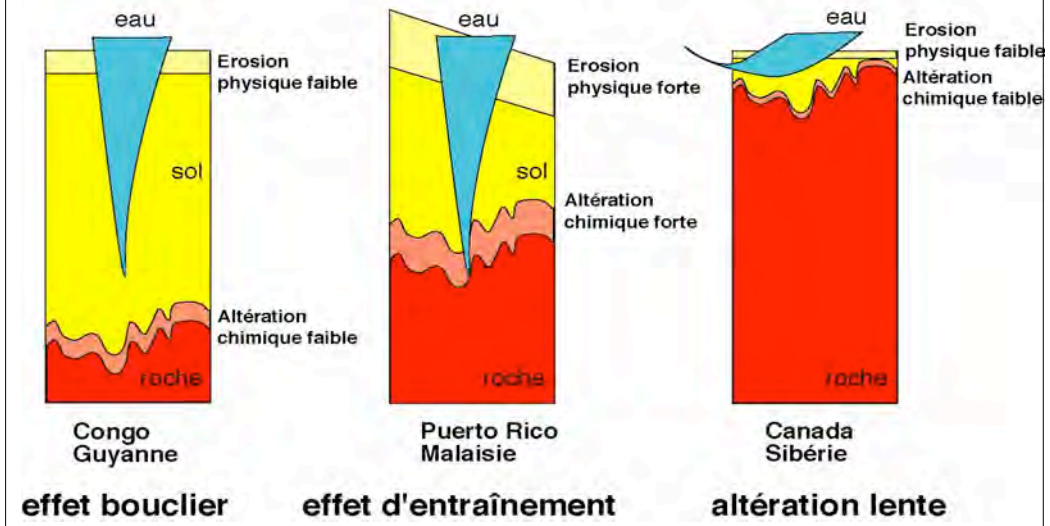
Dénudation chimique / mécanique:



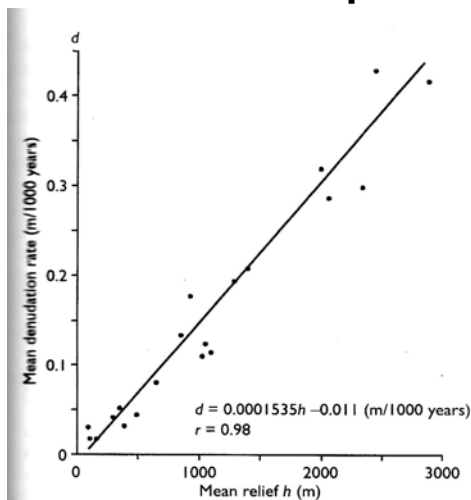
- **Altération = (Erosion)¹** (seulement pour les boucliers)
- **Altération = (Erosion)^{0.42±0.15} × (Runoff)^{0.80±0.32} × e^{-(74±29)/RT}**



Lien entre l'érosion physique et l'altération chimique



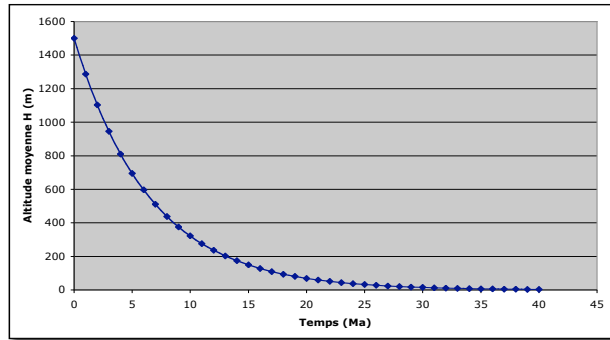
Décroissance exponentielle du relief:



$$D = kH$$

(Corrélation de Anherst)

$$\begin{cases} D = kH \\ D = -\frac{dH}{dt} \end{cases}$$

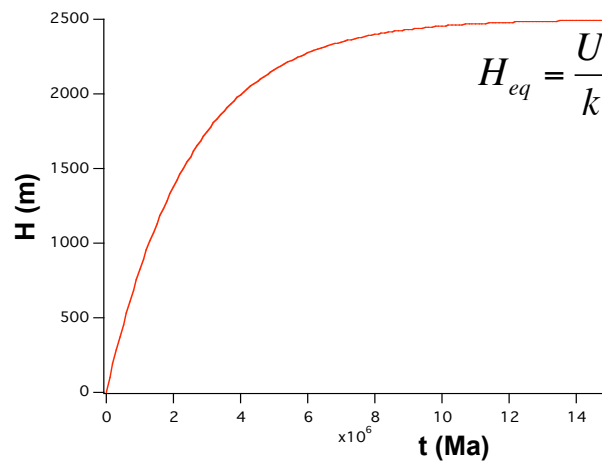


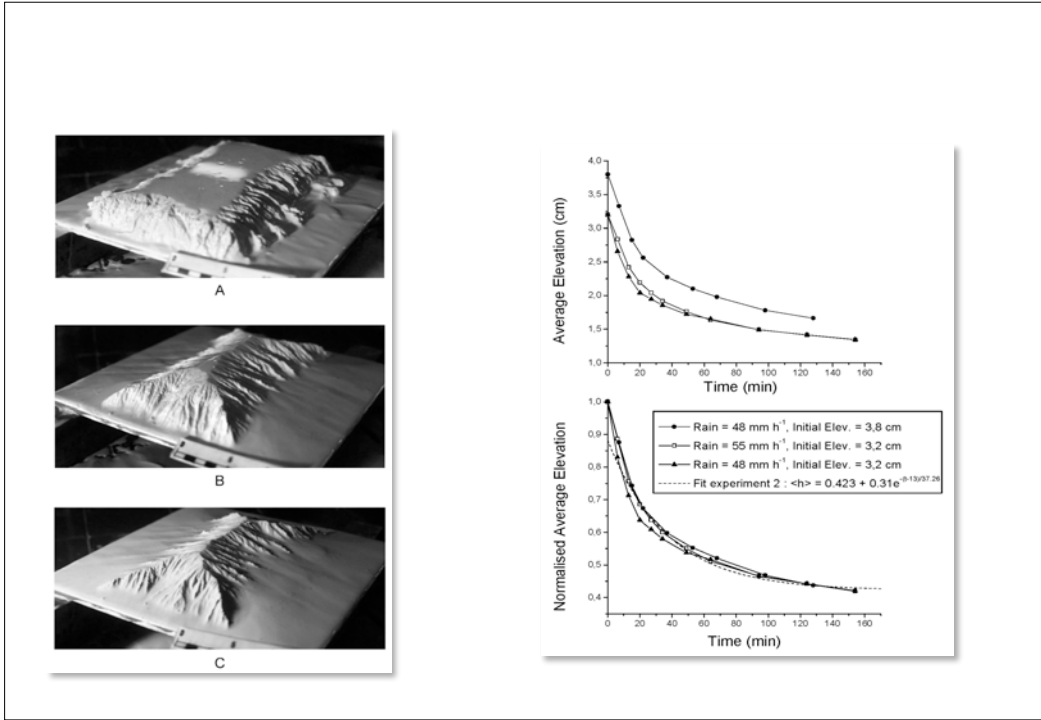
$$\frac{dH}{dt} = -kH$$

$$H = H_0 e^{-Kt}$$

Relief d'équilibre d'une chaîne de montagnes

$$\frac{dH}{dt} = -kH + U$$

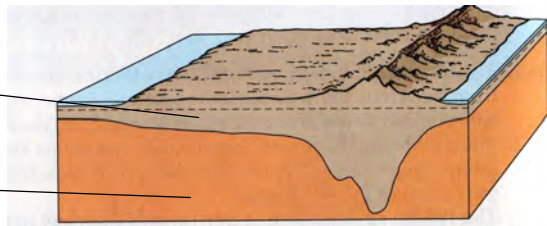




ISOSTASIE

croute continentale
 $r_c = 2700 \text{ kg/m}^3$

manteau supérieur
 $r_m = 3200 \text{ kg/m}^3$

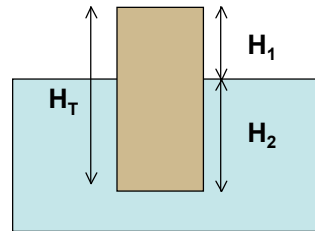


ISOSTASIE

$$\rho_c g H_T = \rho_m g H_2 \quad (\text{Archimède})$$

$$\frac{H_2}{H_T} = \frac{\rho_c}{\rho_m} = 84\%$$

$$H_2 = 5.25 H_1$$



- L'érosion modifie l'équilibre isostatique.
Le réajustement isostatique peut masquer l'effet de l'érosion.