

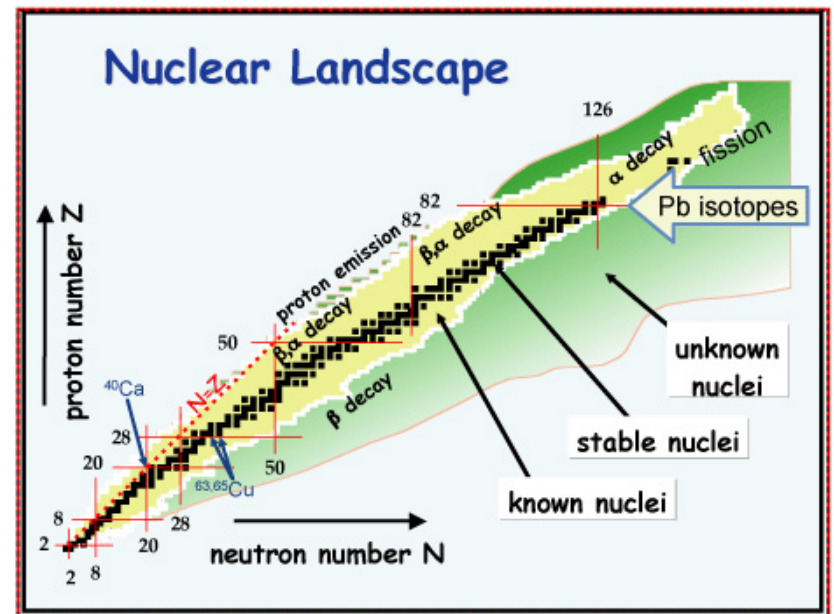
Isotopes radioactifs et radiogéniques

Catherine Chauvel
ISTerre
et
Olivier Magand
LGGE



Buts scientifiques: Datation d'évènements et traçage de sources

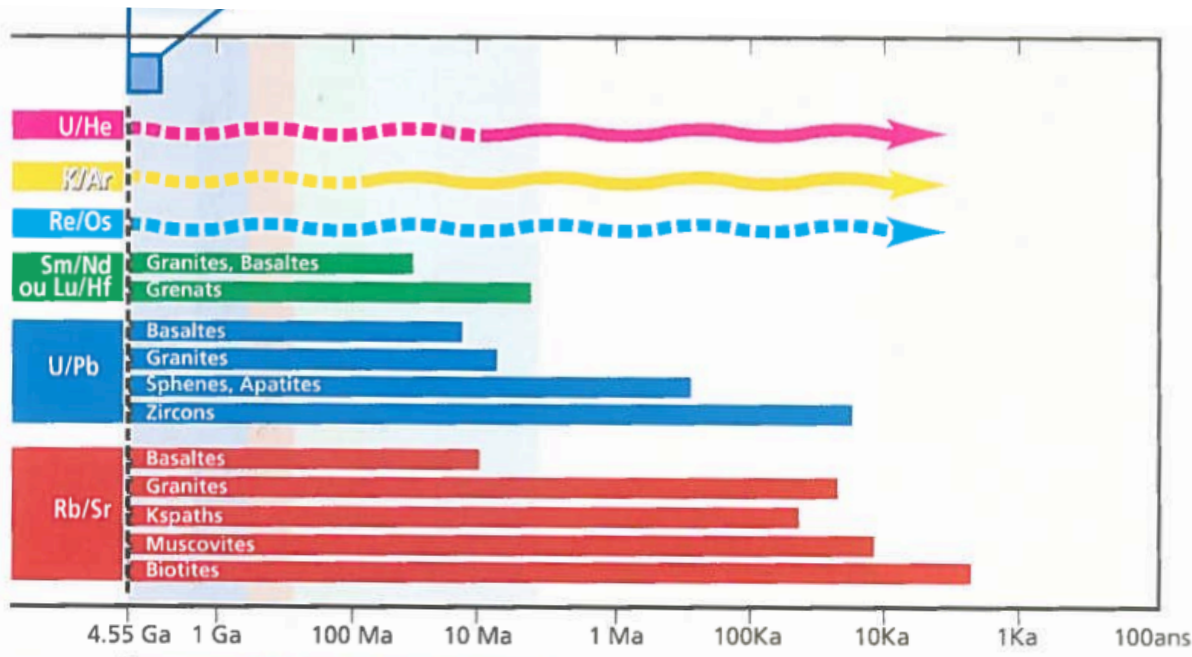
- La plupart des éléments ont plusieurs isotopes
- Certains isotopes sont instables et radioactifs
- En se désintégrant, ils produisent un isotope d'un autre élément, c'est l'isotope radiogénique



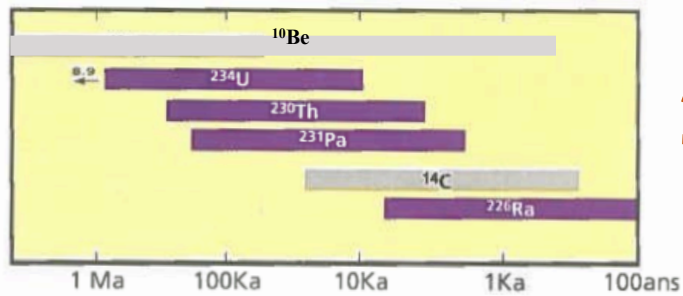
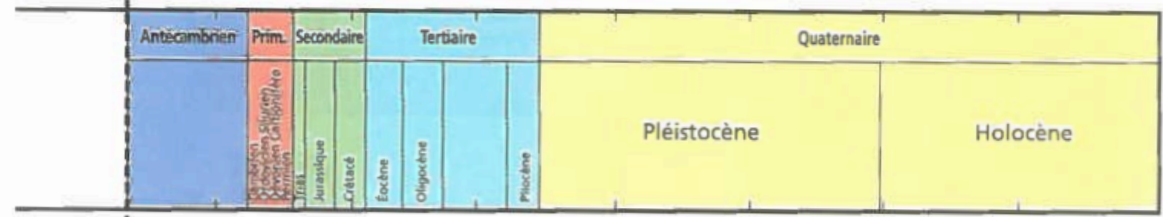
Exemple du Néodyme (^{143}Nd radiogénique, $T_{1/2}=10^{11}$ ans)

00.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	α: 100.00%	ε: 100.00% α: 4.3E-4%	α: 100.00%	ε: 100.00% α: 8.0E-7%	α: 100.00%	ε: 100.00%		
143Eu 59 M	144Eu 10.2 S	145Eu 5.93 D	146Eu 4.61 D	147Eu 24.1 D	148Eu 54.5 D	149Eu 93.1 D	150Eu 36.9 Y	151Eu STABLE 47.81%	152Eu 13.506 Y	153Eu STABLE 52.19%	154Eu 8.590 Y
00.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00% α: 2.2E-3%	ε: 100.00% α: 0.4E-3%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 72.10% β-: 27.90%		β-: 99.98% ε: 0.02%
142Sm 1.49 M	143Sm 8.75 M	144Sm STABLE 3.07%	145Sm 340 D	146Sm 10.3E+7 Y	147Sm 1.06E+11 Y 14.99%	148Sm 7E+15 Y 11.24%	149Sm STABLE 13.82%	150Sm STABLE 7.38%	151Sm 90 Y	152Sm STABLE 26.75%	153Sm 46.284 Y
00.00%	ε: 100.00%		ε: 100.00%	α: 100.00%	α: 100.00%	α: 100.00%			β-: 100.00%		β-: 100.00%
141Pm 1.90 M	142Pm 40.5 S	143Pm 265 D	144Pm 363 D	145Pm 17.7 Y	146Pm 5.53 Y	147Pm 2.6234 Y	148Pm 5.368 D	149Pm 53.08 H	150Pm 2.68 H	151Pm 28.40 H	152Pm 4.12 M
00.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00% α: 3E-07%	ε: 66.00% β-: 34.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%
140Nd 1.37 D	141Nd 2.49 H	142Nd STABLE 27.2%	143Nd STABLE 12.2%	144Nd 2.9E+15 Y 23.8%	145Nd STABLE 8.3%	146Nd STABLE 17.2%	147Nd 10.98 D	148Nd STABLE 5.7%	149Nd 1.728 H	150Nd 0.79E+19 Y 5.6% 2β-	151Nd 12.44 M
00.00%	ε: 100.00%			α: 100.00%			β-: 100.00%		β-: 100.00%		β-: 100.00%
139Pr 41 H	140Pr 3.39 M	141Pr STABLE 100%	142Pr 19.12 H	143Pr 13.57 D	144Pr 17.28 M	145Pr 5.984 H	146Pr 24.15 M	147Pr 13.4 M	148Pr 2.29 M	149Pr 2.26 M	150Pr 6.19 S
00.00%	ε: 100.00%		β-: 99.98% ε: 0.02%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%
138Ce 1.0E+14 Y 251%	139Ce 137.641 D	140Ce STABLE 88.450%	141Ce 32.508 D	142Ce >2.6E+17 Y 11.114% 2β-	143Ce 33.039 H	144Ce 284.91 D	145Ce 3.01 M	146Ce 13.52 M	147Ce 56.4 S	148Ce 56 S	149Ce 5.3 S
00.00%	ε: 100.00%		β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%
137La	138La	139La	140La	141La	142La	143La	144La	145La	146La	147La	148La

Méthode utilisée dépend de l'âge à déterminer ou du traçage à réaliser

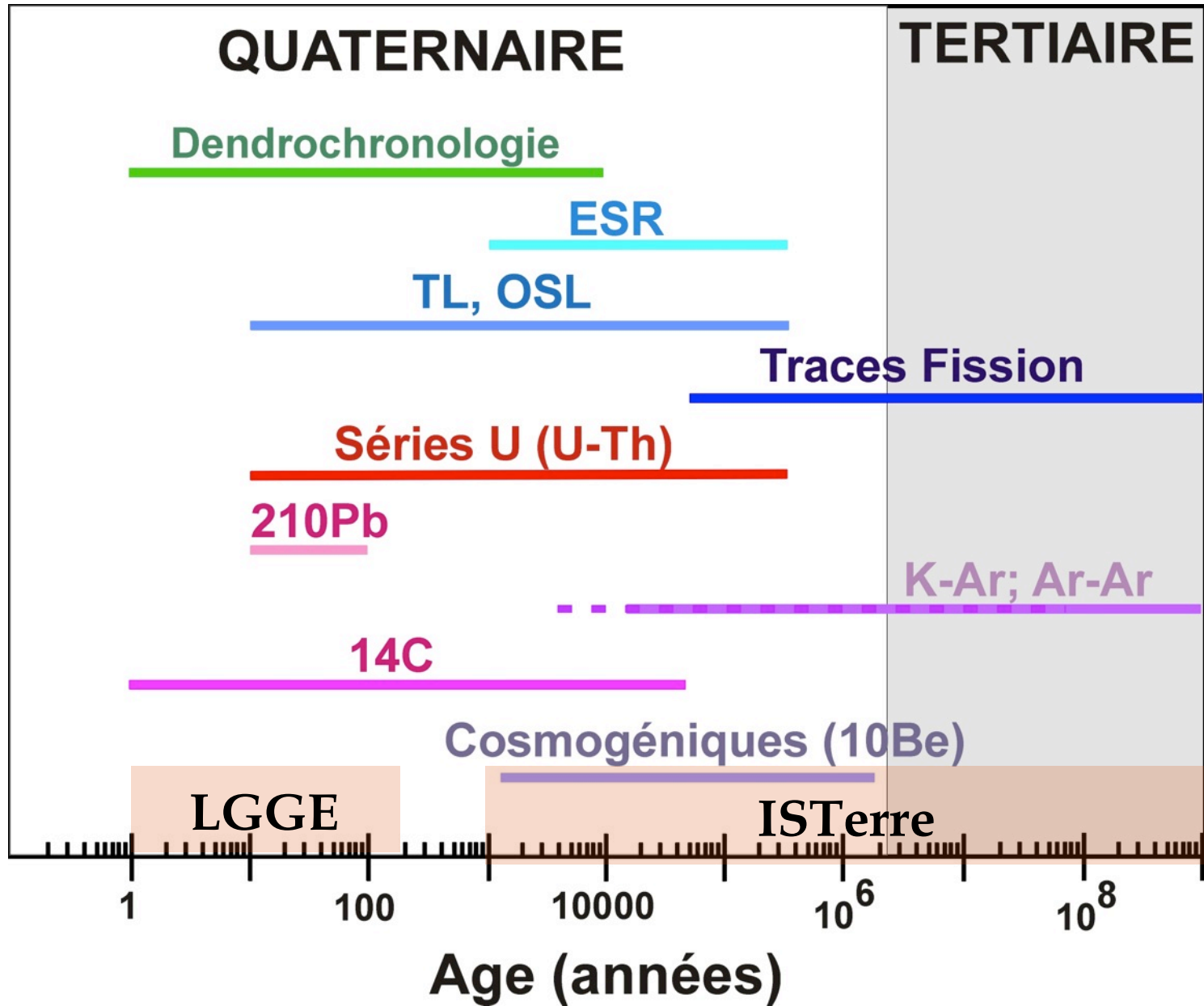


Age vieux: couple radioactif- radiogénique $T_{1/2}$ longue



Age récent: radioactif $T_{1/2}$ courte

Chronologie récente (radioactifs)



Traçage récent

**Essai thermonucléaire
Fangataufa (France) – 1968**

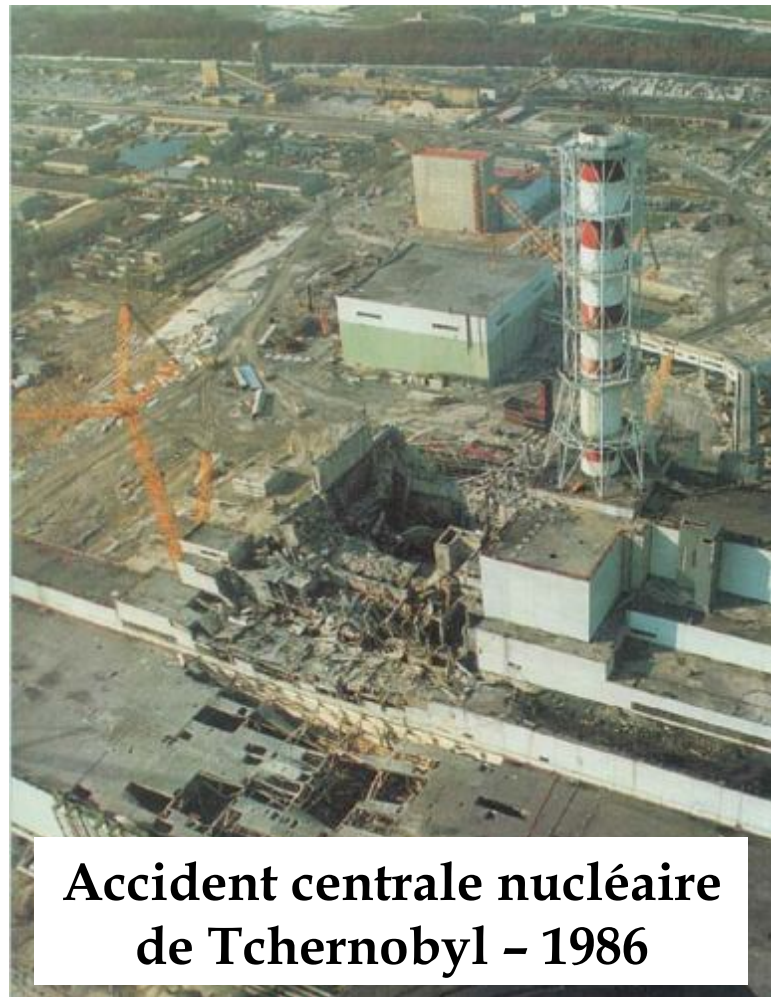


Produits de fission

Directes = Cs-137, Sr-90 (+ Y-90),

Isotopes du Plutonium

Indirectes = Am-241 (issu de Pu-241)

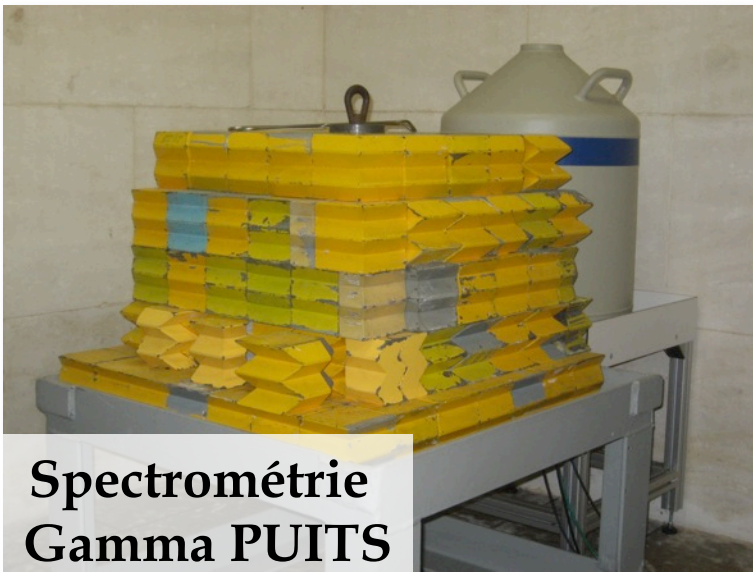


**Accident centrale nucléaire
de Tchernobyl – 1986**

Radioéléments analysés au LGGE

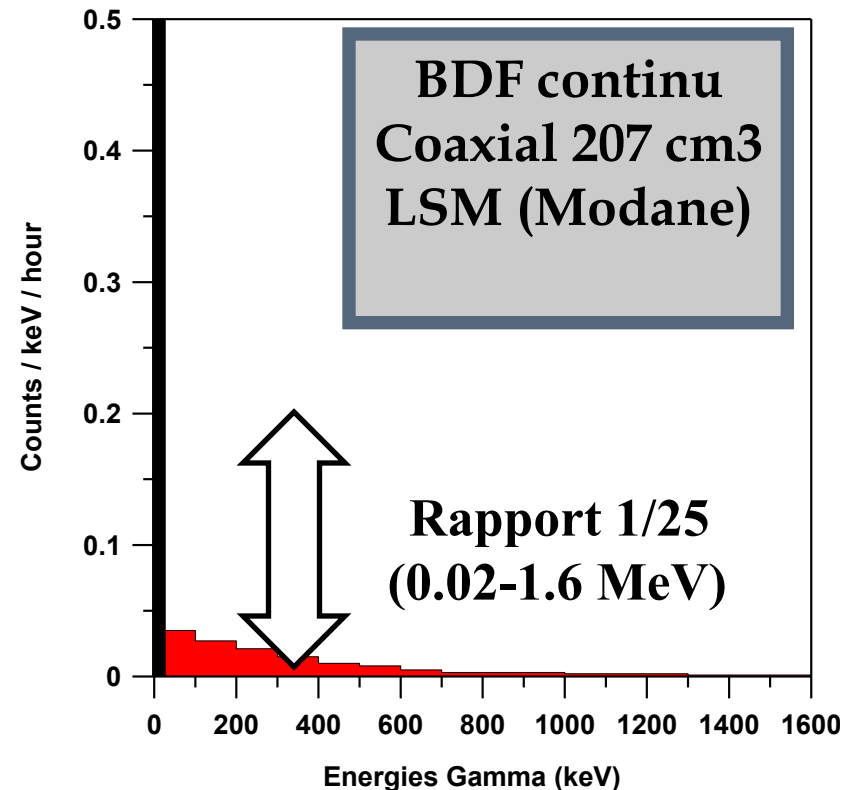
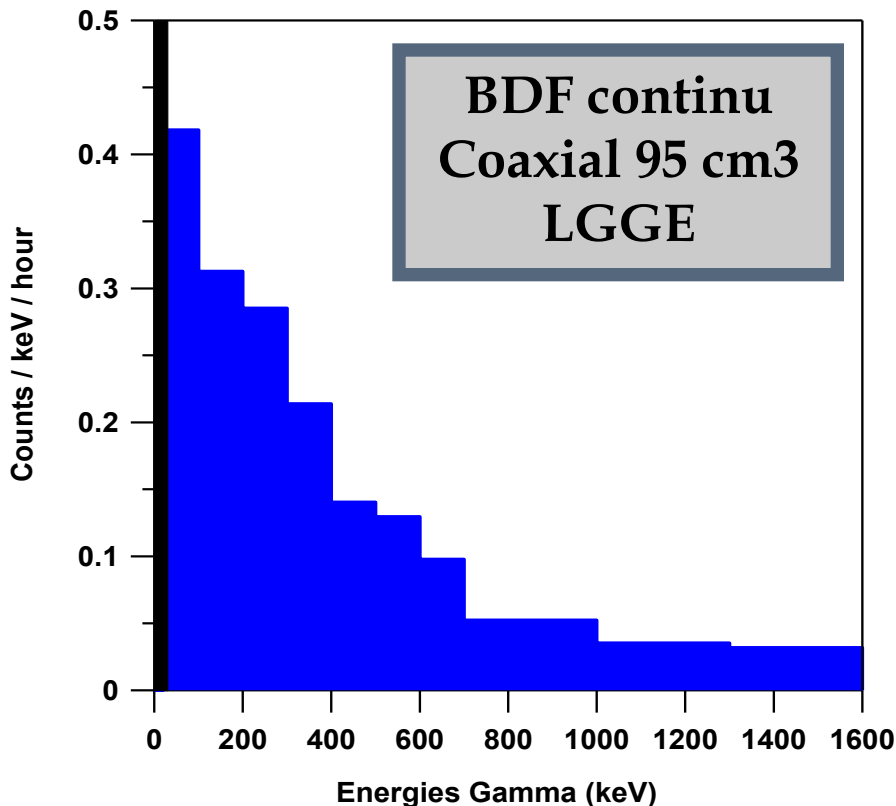
	Be-7 γ	Pb-210 γ	Pb- / Bi-214 γ	Cs-137 γ, β	Sr-90 β	Am-241 γ	Po-210 α
Neige	X	XX		XX	XX	XX	
Sédiments / sols	X	XX	XX	XX		XX	XX
Atmos. (air - pluie)	XX	XX		XX			

Laboratoire semi-enterré ou « casemate » du LGGE



Equipements analytiques non utilisés actuellement au LGGE

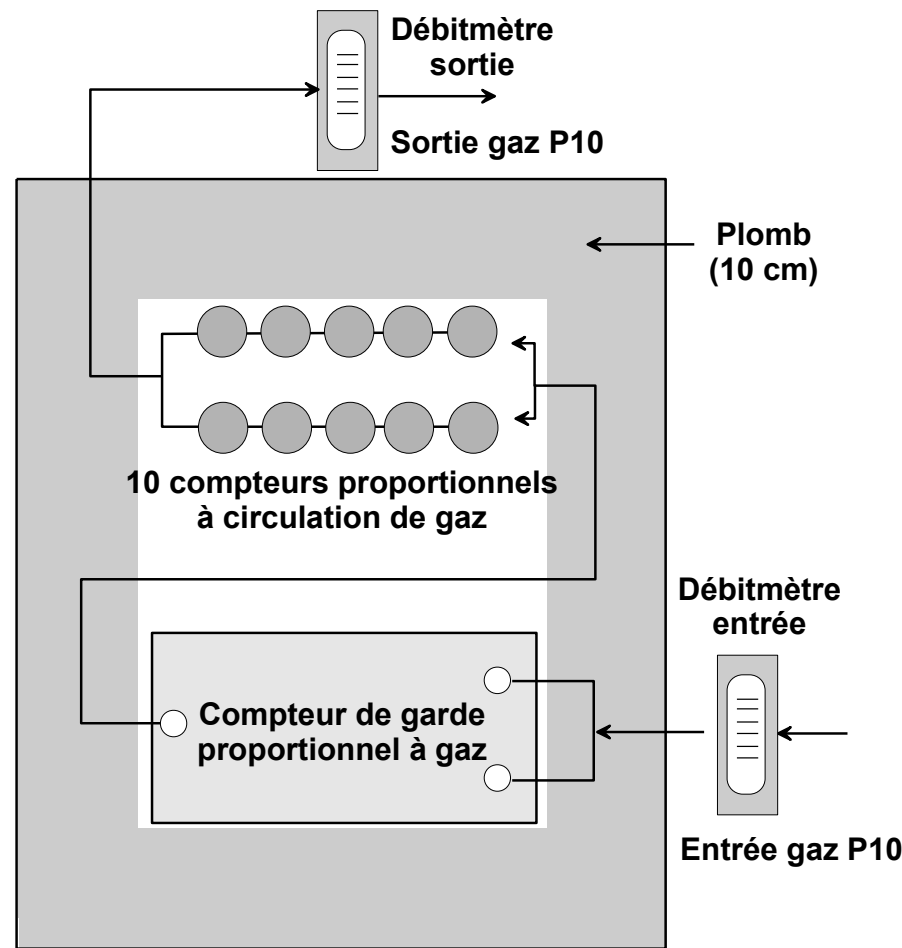
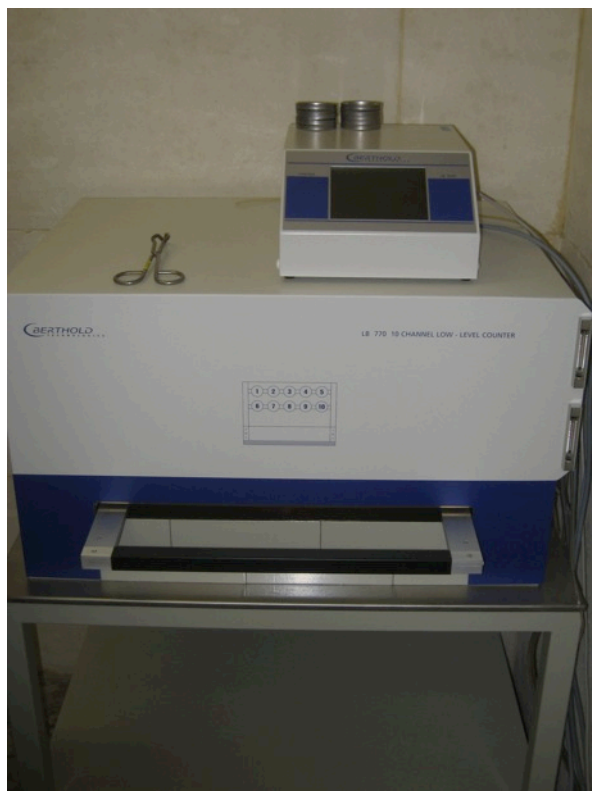
- Un spectromètre Gamma (Ge(Li)) coaxial (**non utilisé actuellement**)
- Un spectromètre Gamma (Ge(Li)) puits (**non utilisé actuellement**)
- Cinq détecteurs silicium type PIPS (spectromètre Alpha multi-voies) (**non utilisée actuellement**)



Equipements analytiques utilisés au LGGE

Dix compteurs proportionnels à gaz Alpha / Béta (+ compteur garde)

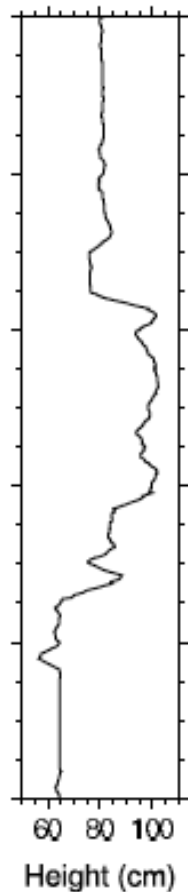
Contact: Olivier Magand



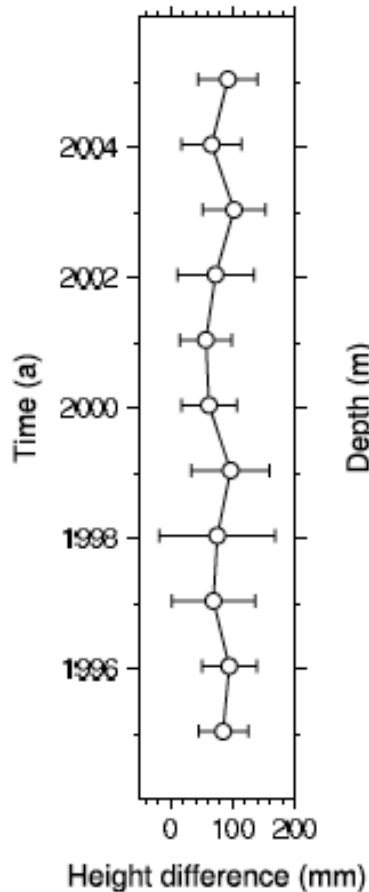
Exemple application: datation neige

Length of Series

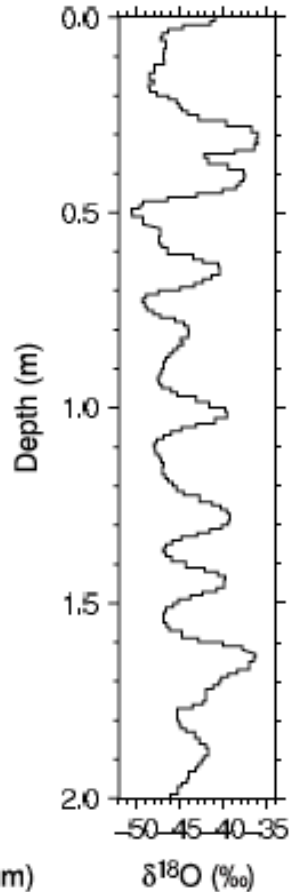
Ultrasonic



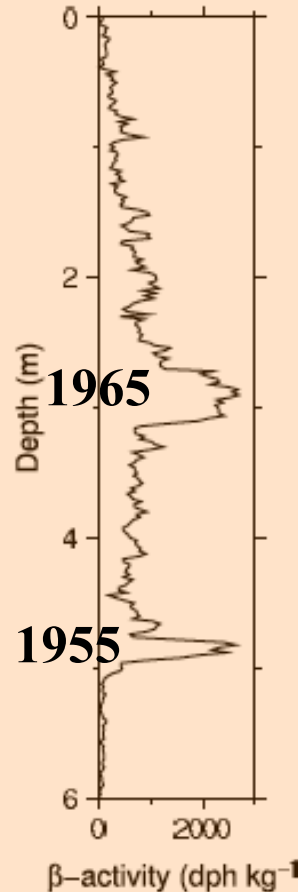
Stake Farm



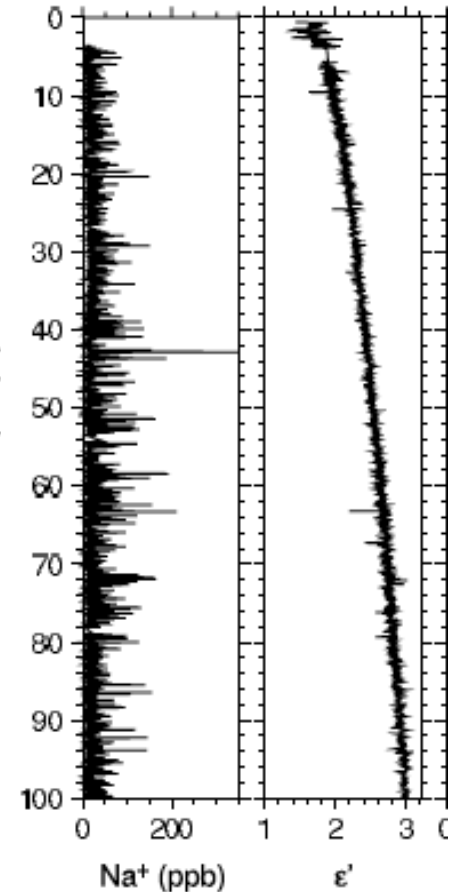
Snow Pit



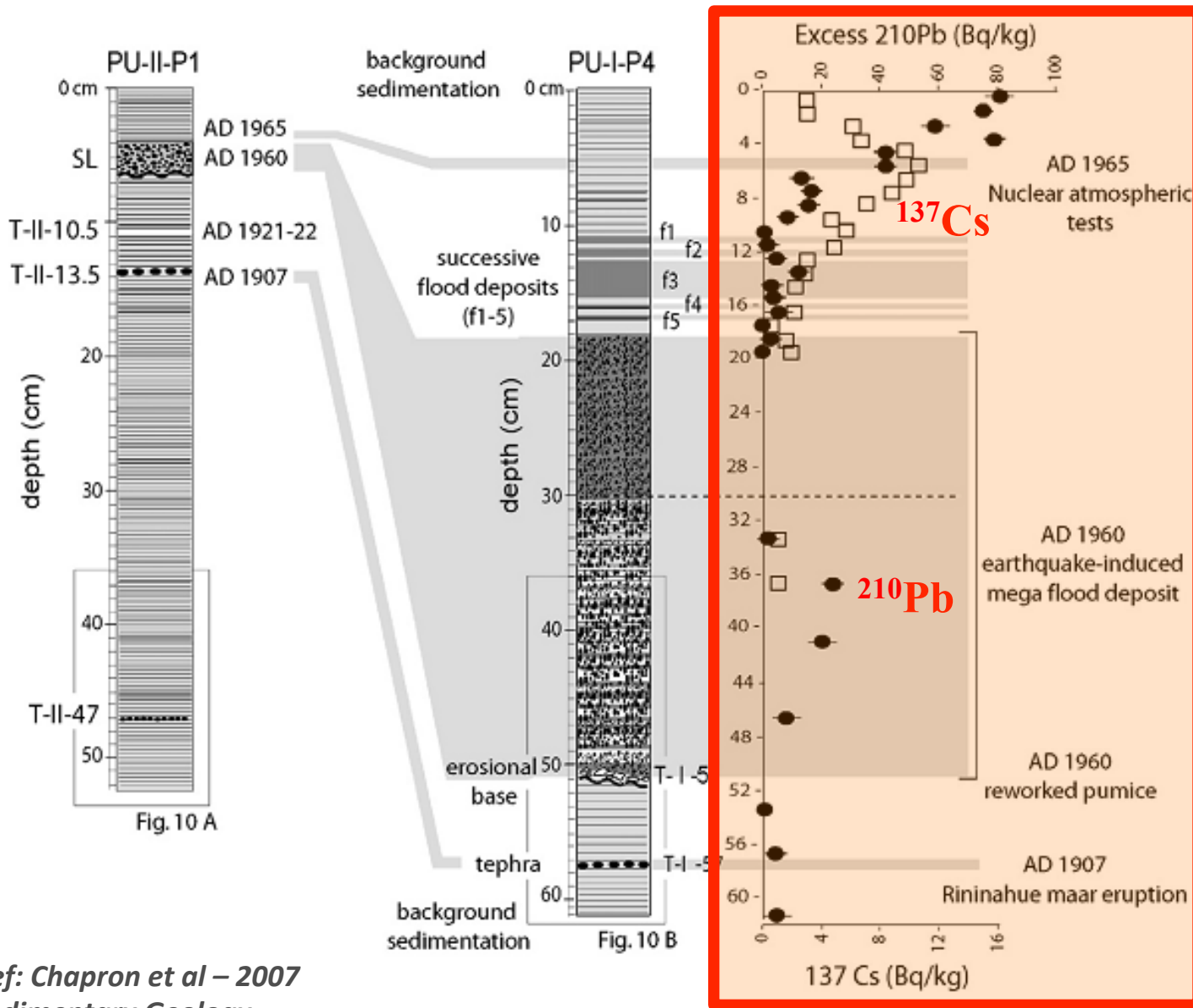
Snow Pit



Firn/Ice Core



Exemple application: datation sédiments



(chronologie relative)

Datation sur le siècle

Ref: Chapron et al – 2007
Sedimentary Geology

Les nucléides cosmogéniques

À ISTerre

Ensemble des isotopes (radioactifs ou non) formés dans l'environnement terrestre lors de réactions nucléaires induites par les particules constituant le rayonnement cosmique.

Déclenchement du chronomètre au moment de l'exposition à la surface

^{10}Be $T_{1/2} = 1,387$ Ma, spallation Si et O

Avantage : Temps d'exposition "long" > 1Ma

Inconvénient : Contamination ^{10}Be atmosphérique

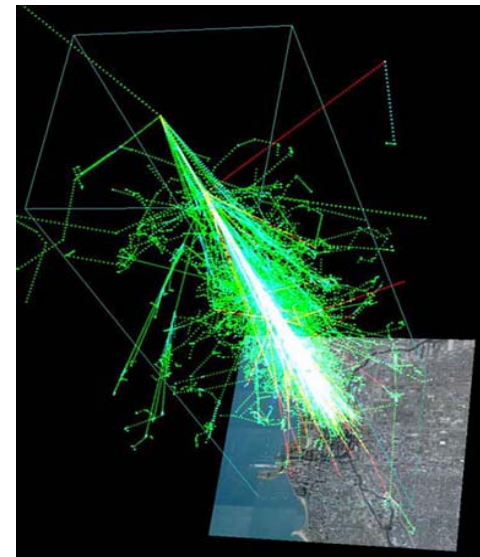
Interférence avec le ^{10}B

^{26}Al $T_{1/2} = 0,716$ Ma, spallation Si et O

Avantage : Double datation avec le ^{10}Be (Quartz ou silice)

Inconvénient : Concentration en Al naturel (mesure $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$)

Interférence avec le ^{26}Mg



Rayon cosmique
0.1% a suffisamment d'énergie
pour induire des réactions
nucléaires avec la lithosphère

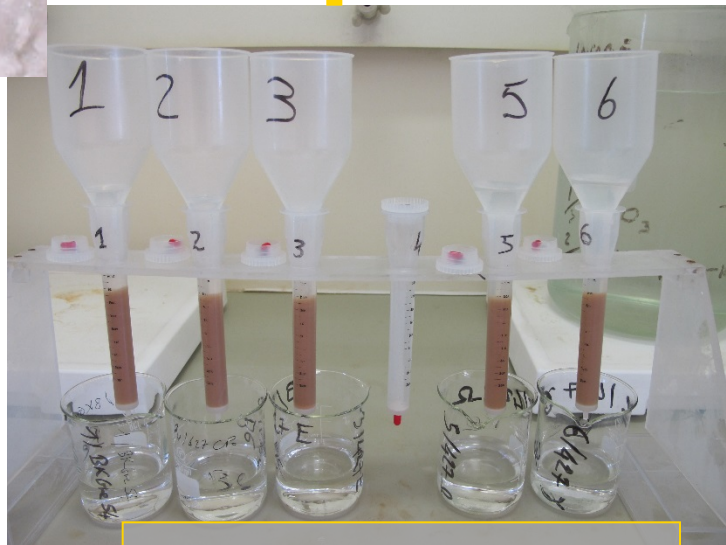
Contact: Julien Carcaillet



Séparation
Minéralogique
Du Quartz
 H_2SiF_6 / HCl



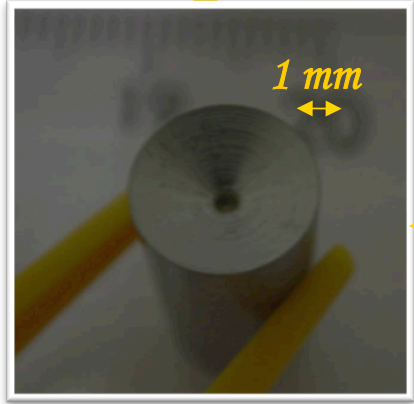
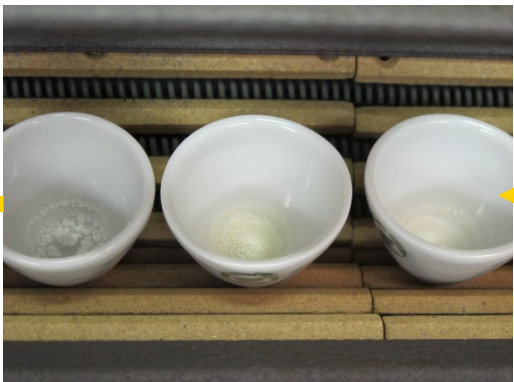
Ajout du spike
Dissolution HF



Purification Géochimique
Séparation par résines
Séparation acido-basique



Oxyde de Be



Cathode

Spectromètre de masse
par accélérateur
ASTERisques
Instrument national
Aix en Provence

- Dater les reculs d'un glacier tropical dans les Andes au Venezuela
- Identifier les périodes d'accélération

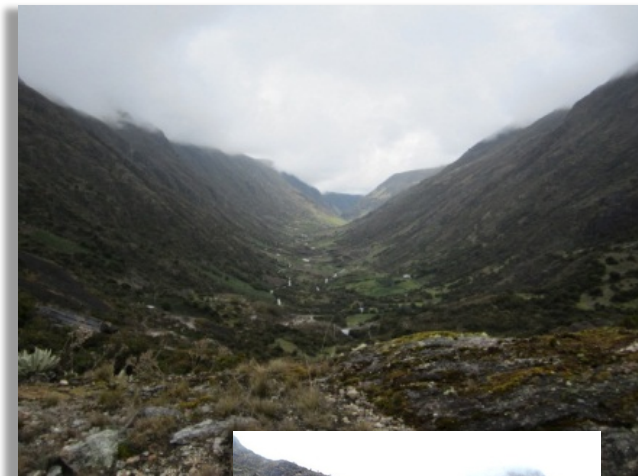
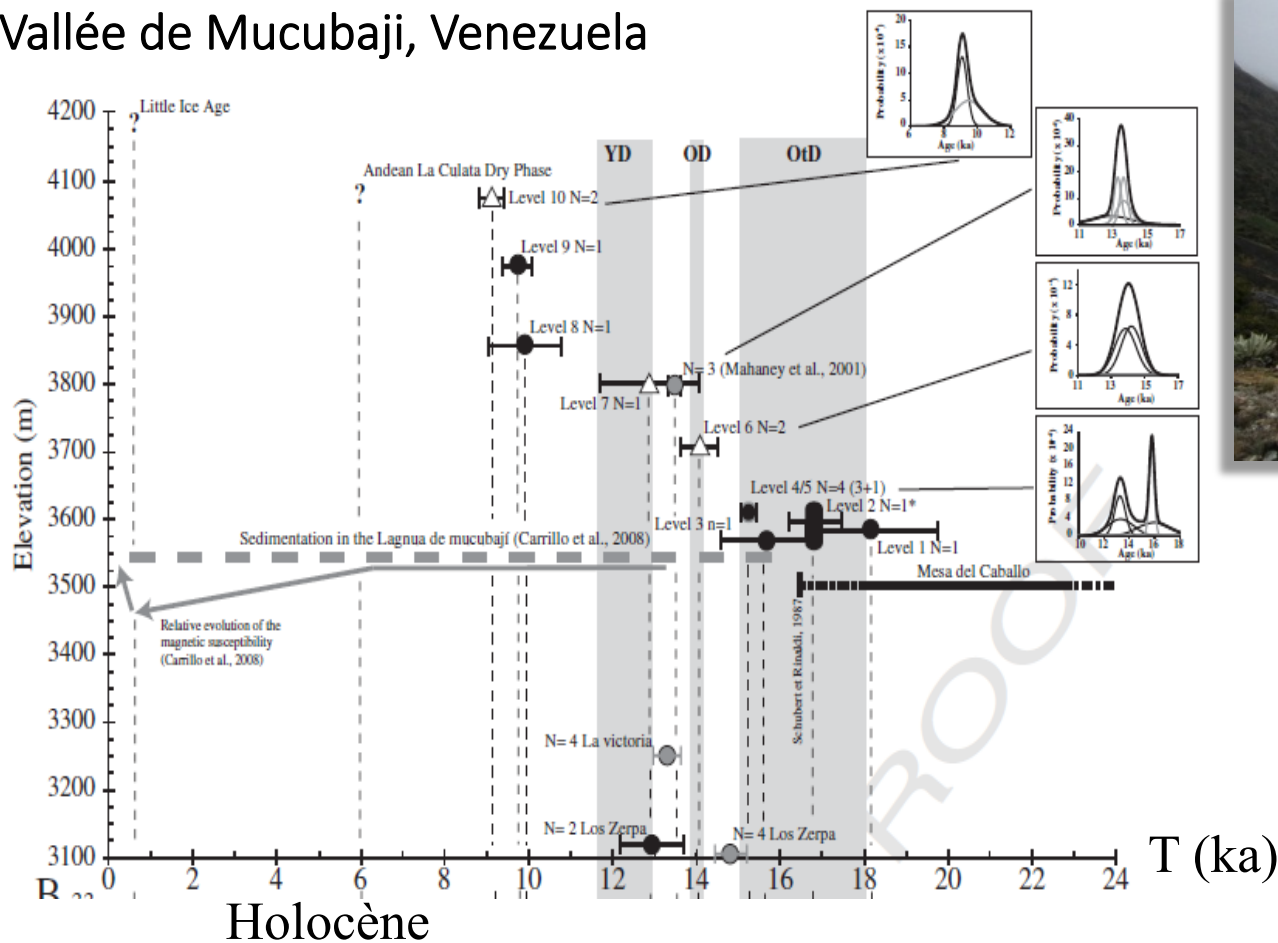
Roche moutonnée

Moraine

Moraine



Vallée de Mucubaji, Venezuela

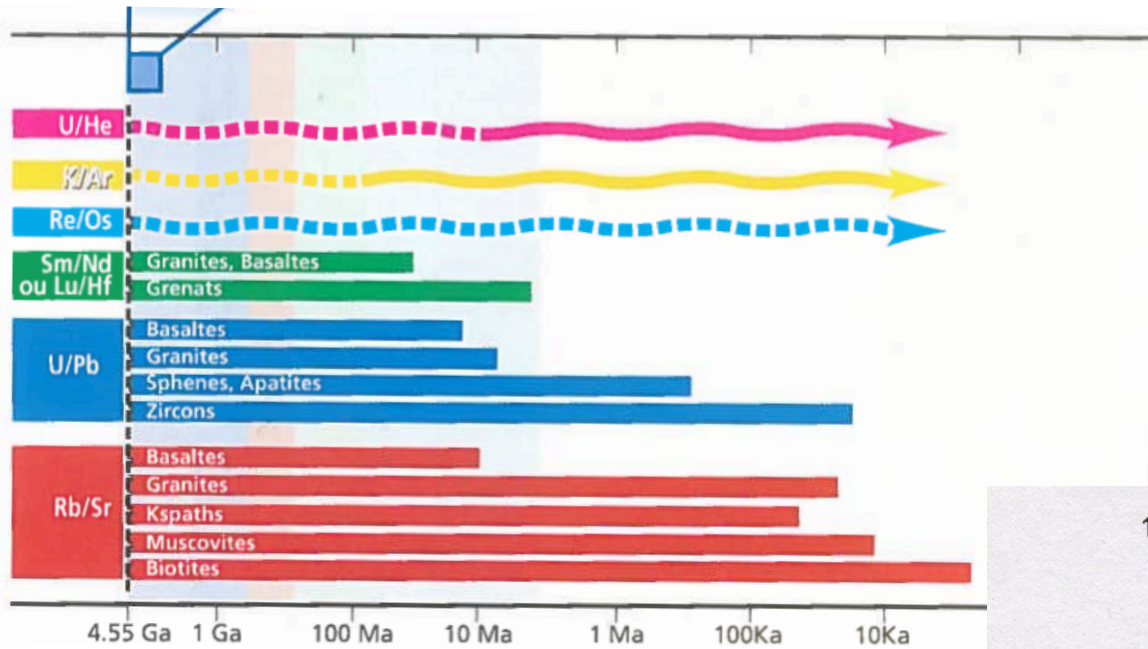


Histoire glaciaire depuis le LGM

Excellente concordance entre les âges ^{10}Be et les reconstructions paléoclimatiques:

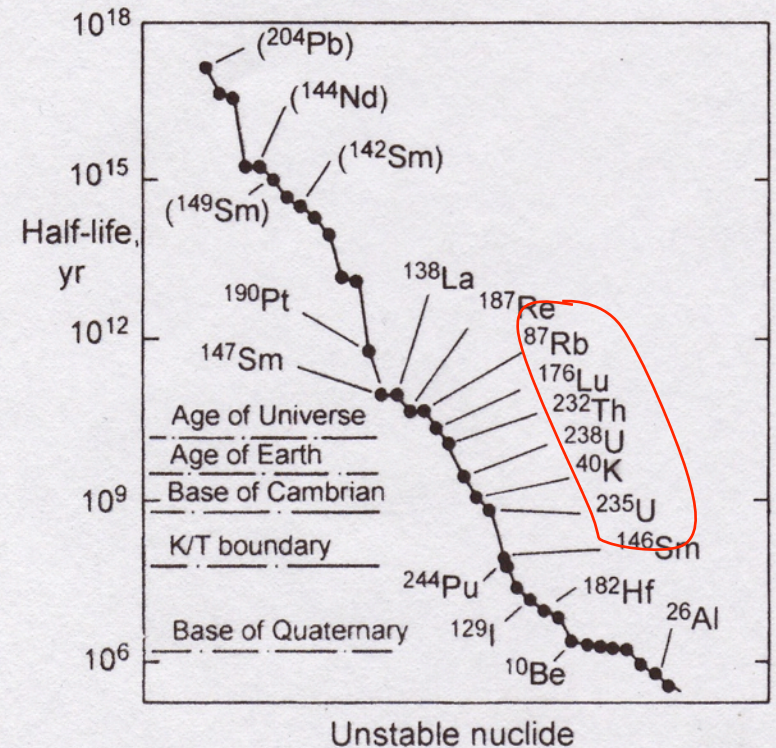
- Sea Surface Temperature Golf de Cariaco (Mg/Ca) (Léa et al., 2003)
- $\delta^{18}\text{O}$ GISP (Stuiver et al. 1995)

Traçage de sources grâce aux isotopes radiogéniques



ISTerre

Quatre systèmes principaux sont utilisés à ISTerre. Ils ont tous des $T_{1/2}$ très longues



Mesure de rapports isotopiques

A I Terre

1 H Hydrogen 1.00794																	2 He Helium 4.003						
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012182																	5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.0107	7 N Nitrogen 14.00674	8 O Oxygen 15.9994	9 F Fluorine 18.9984032	10 Ne Neon 20.1797
11 Na Sodium 22.989770	12 Mg Magnesium 24.3050																	13 Al Aluminum 26.981538	14 Si Silicon 28.0855	15 P Phosphorus 30.973761	16 S Sulfur 32.066	17 Cl Chlorine 35.4527	18 Ar Argon 39.948
19 K Potassium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.955910	22 Ti Titanium 47.867	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chromium 51.9961	25 Mn Manganese 54.938049	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933200	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.39	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.61	33 As Arsenic 74.92160	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.80						
37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.90585	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.90638	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium (98)	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.90550	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.8682	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.710	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.60	53 I Iodine 126.90447	54 Xe Xenon 131.29						
55 Cs Cesium 132.90545	56 Ba Barium 137.327	57 La Lanthanum 138.9055	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.9479	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.217	78 Pt Platinum 195.078	79 Au Gold 196.96655	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.3833	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98038	84 Po Polonium (209)	85 At Astatine (210)	86 Rn Radon (222)						
87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89 Ac Actinium (227)	104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (262)	106 Sg Seaborgium (263)	107 Bh Bohrium (262)	108 Hs Hassium (265)	109 Mt Meitnerium (266)	110 (269)	111 (272)	112 (277)	113 	114 										

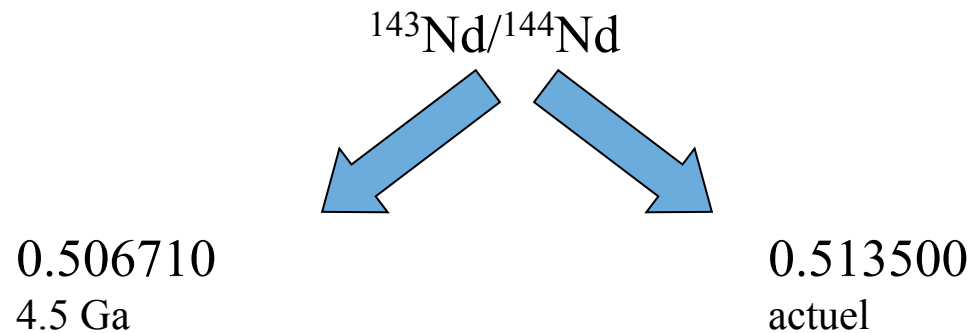
Eléments mesurés en routine

Eléments qui pourraient être mesurés

58 Ce Cerium 140.116	59 Pr Prasodymium 140.90765	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.92534	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93032	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93421	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.967
90 Th Thorium 232.0381	91 Pa Protactinium 231.03588	92 U Uranium 238.0289	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (262)

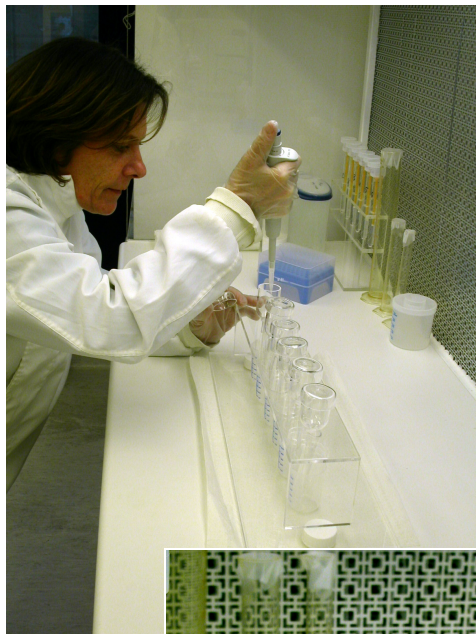
De quel type de variations parle-t-on ?

Néodyme: ^{143}Nd produit par désintégration du ^{147}Sm



- Mesure hyper précise (± 20 ppm)
- Datation des roches terrestres, origine des volcans, traçage des courants marins, etc...

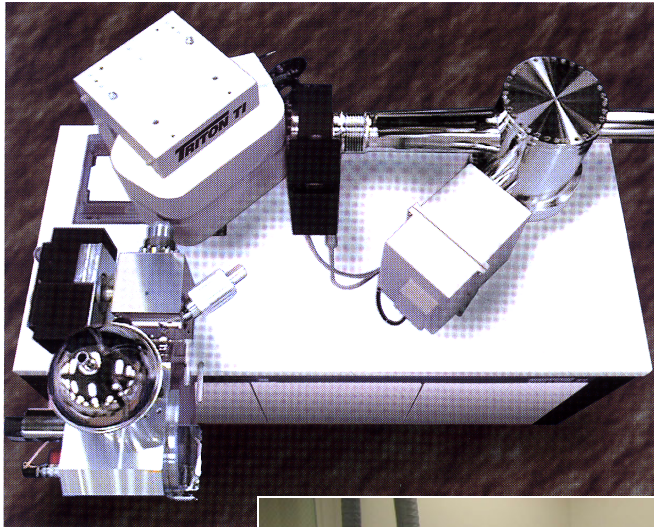
Isolation de l'élément pur à ISTerre



- Dissolution totale de l'échantillon (50 mg - acide minéraux)
- Isolation de l'élément que l'on souhaite analyser grâce à des résines échangeuses d'ions (ex: Hafnium 3 colonnes successives)
- Quantité isolée: **qq 100 nanog**
- Travail en salle blanche (**pollution \approx 10 picog**)

Contact: Catherine Chauvel & Sarah Bureau

Mesure des rapports isotopiques

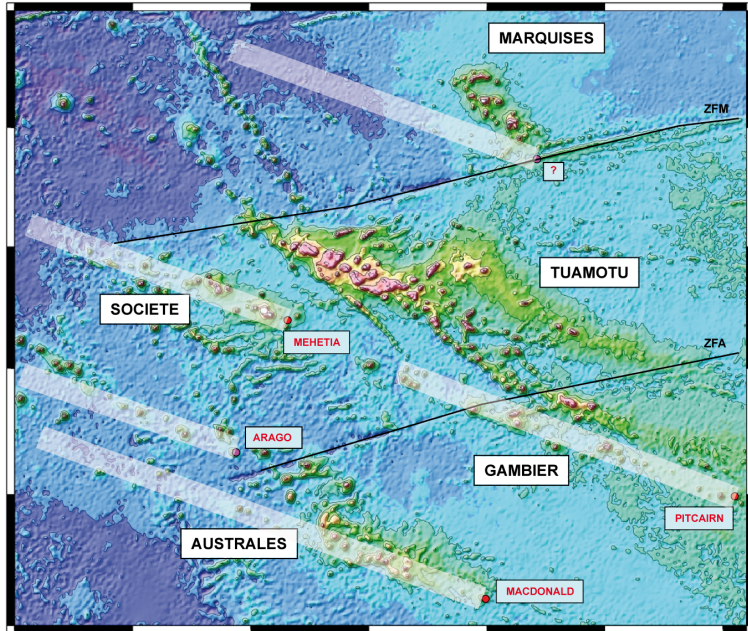


- Spectromètre de masse haute résolution (Triton, Neptune, Nu)
- Séparation des masses par champ magnétique
- Extrême précision des mesures (20 ppm)



Actuellement, Triton à Brest et Nu à Lyon

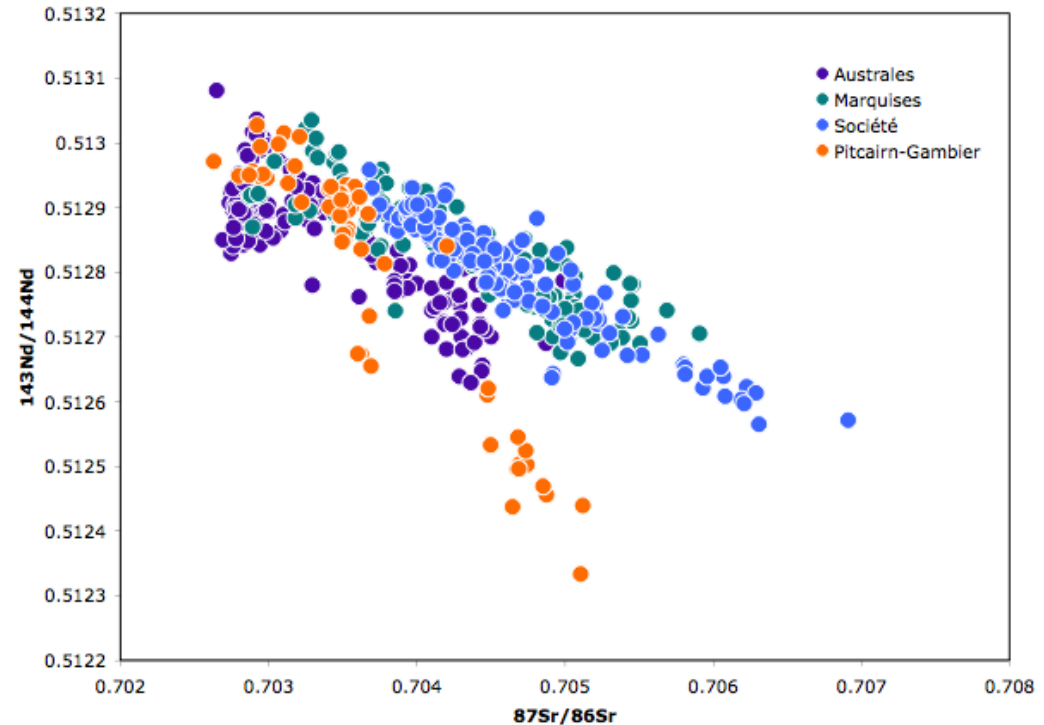
Comprendre la formation des îles volcaniques



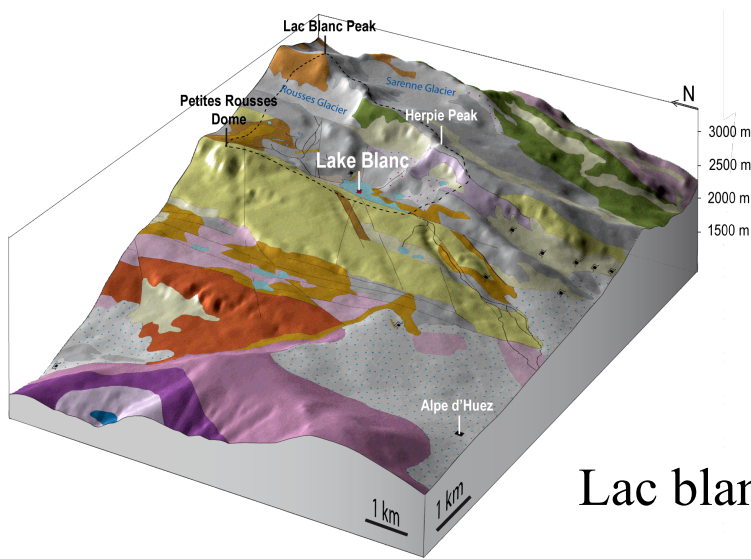
Chauvel et al. G3 2012
Delavault
Cordier



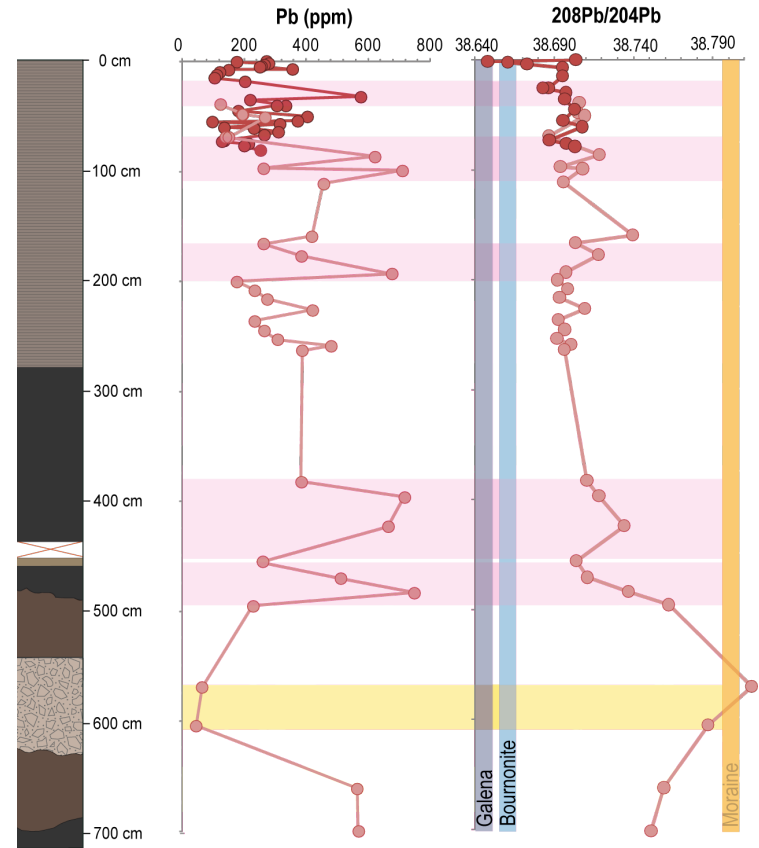
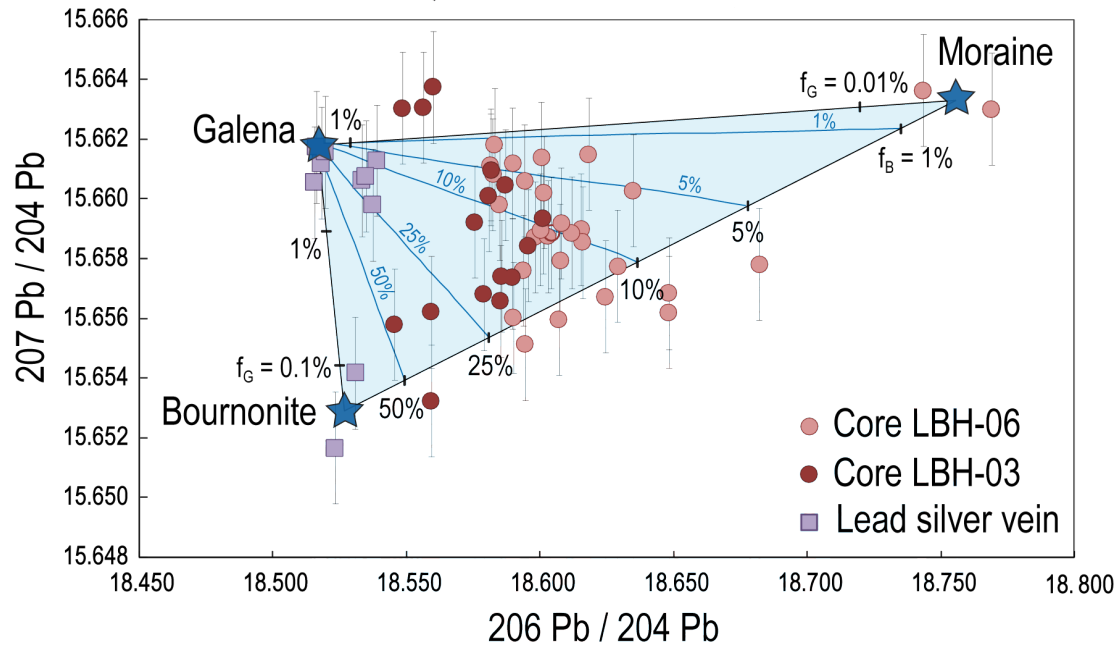
Polynésie française



Contraindre les sources de Pb

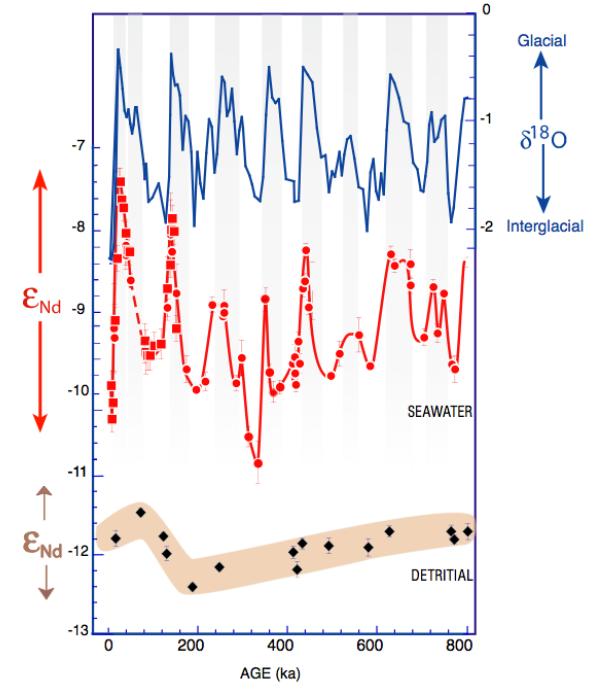
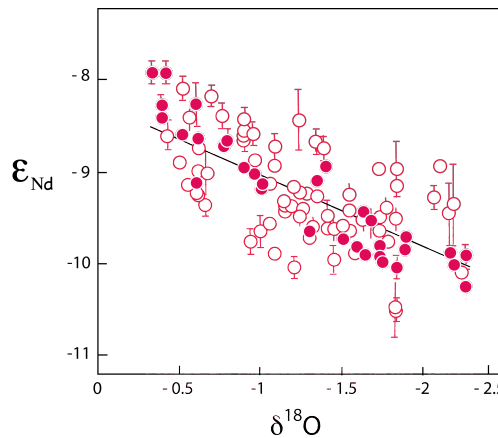
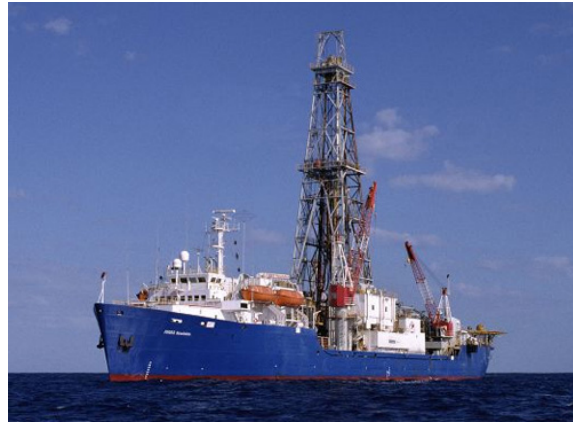
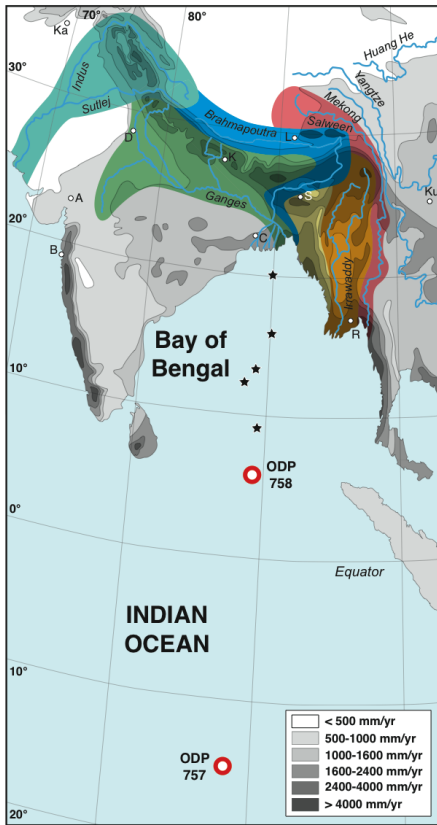


Lac blanc d'Huez



Garçon et al. 2012

Tracer les changements climatiques

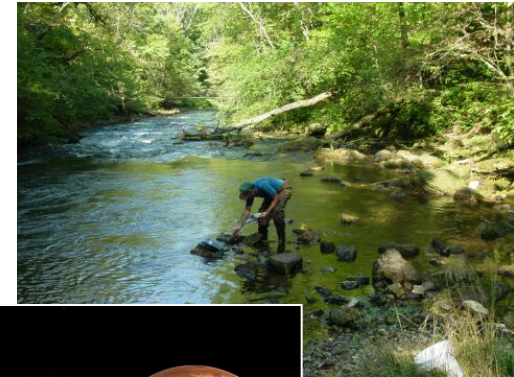


Erosion de l'Himalaya

Gourlan et al. 2010

Plein d'autres projets envisageables !!!!

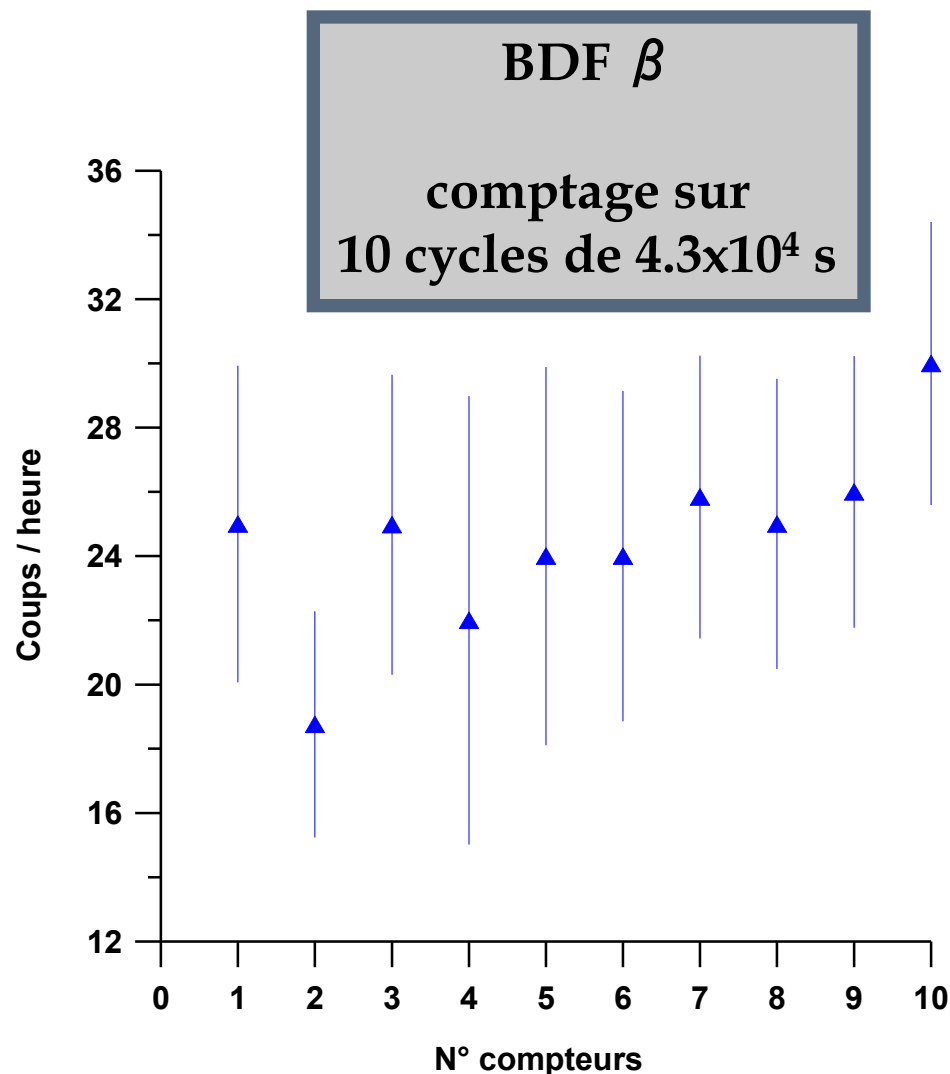
- Fractionnement isotopes stables (Cu, Zn, Li, Ca, etc...)
 - Processus basse température (altération, biogéochimie, pollution, etc...)
 - Biologie et santé
- Datation
 - échantillons géologiques
 - Mars, Lune, etc...



Annexes

Compteurs proportionnels Alpha / Béta (LGGE)

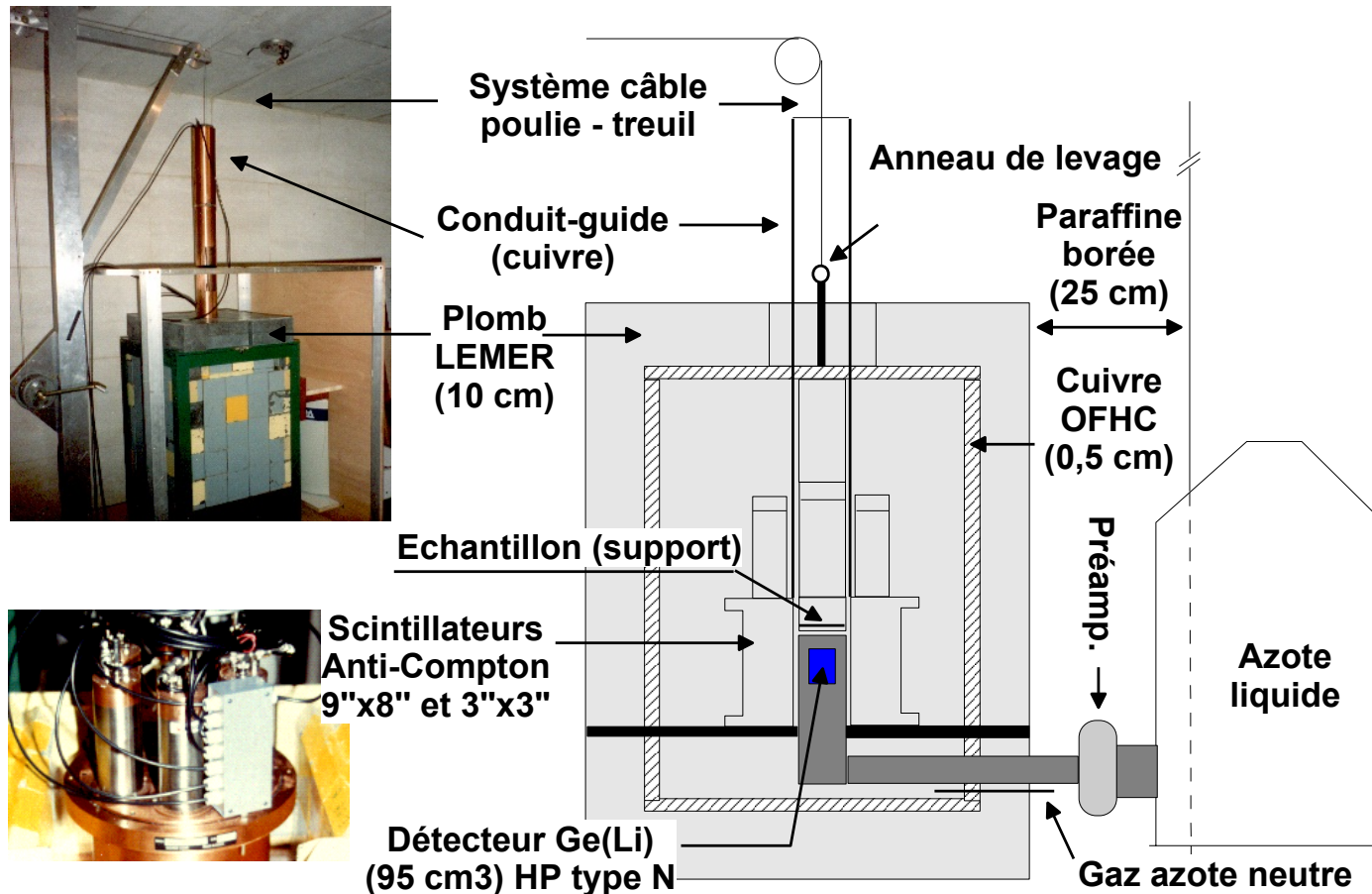
Géométrie	plan
Diamètre	60 mm
Surface active	2800 mm ²
Epaisseur fenêtre	4x10 ⁻³ mg mm ⁻²
Distance / détecteur	8 mm
Eff. Béta	54% (Sr-90)
Eff. Alpha	35% (Am-241)



Contact: Olivier Magand

Capacités et performances analytiques

Spectromètre Gamma (Ge(Li)) coaxial H.P. type n + AC (1)

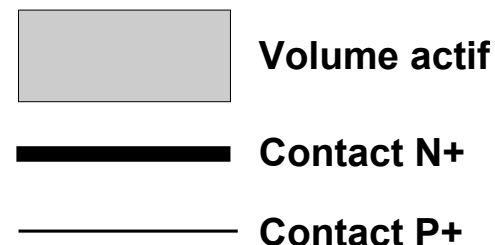
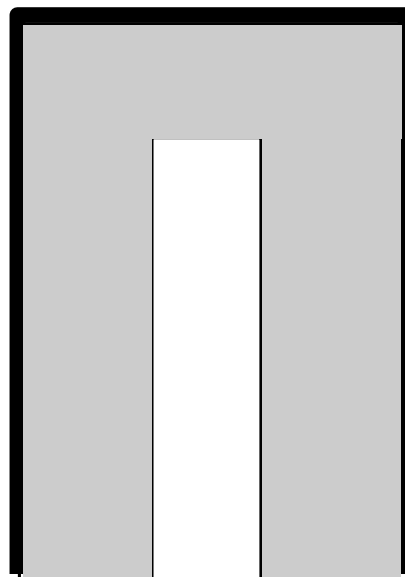


Capacités et performances analytiques

Spectromètre Gamma (Ge(Li)) coaxial H.P. type n + AC (2)

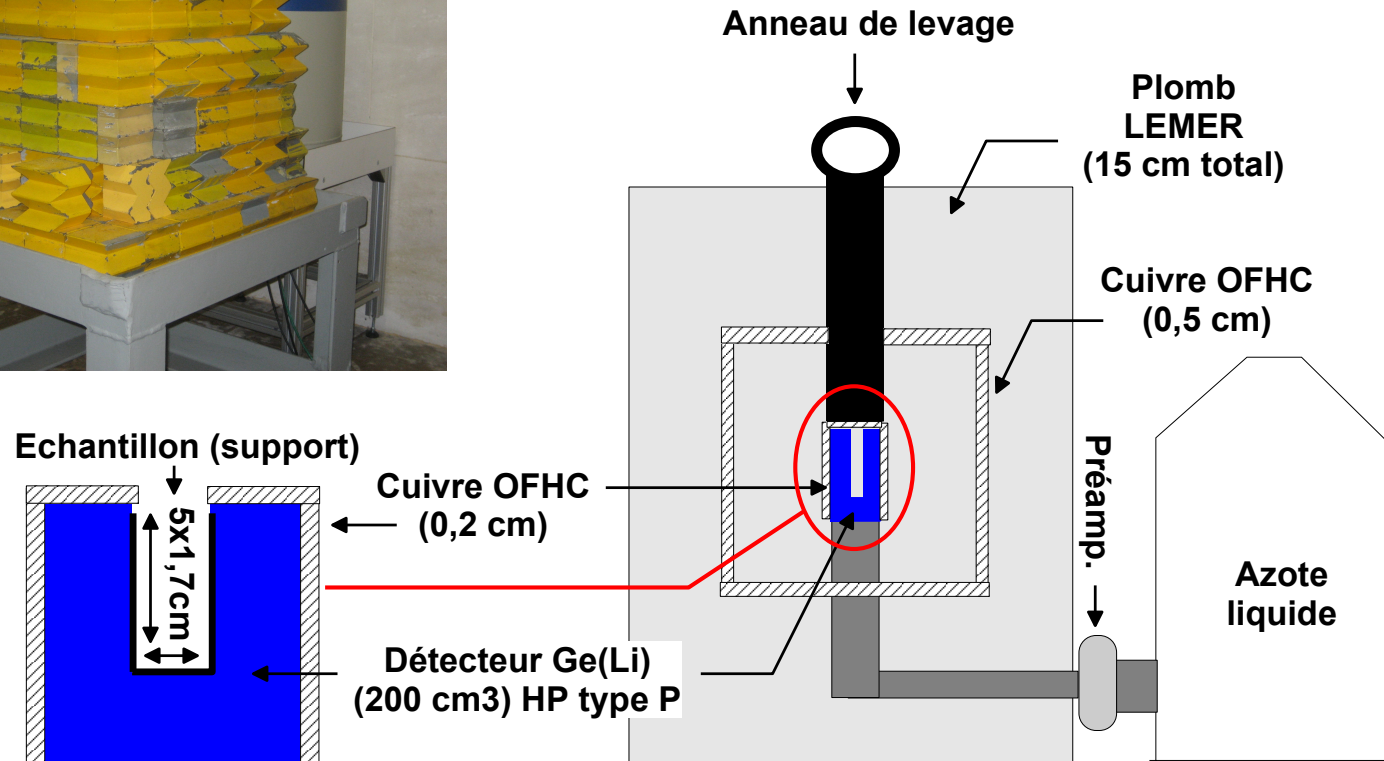
Géométrie	Coaxial style-U
Matériau	Ge(Li)
Diamètre	49.5 mm
Epaisseur	49.5 mm
Volume	95 cm ³
Capot / dist.	Al / 5 mm
Résol. FWHM 0.12 / 1.33 MeV	1.75 / 0.85 keV
Pic / Compton	56 : 1
Eff. relative	20.6 %

Cristal Ge(Li) coaxial type n



Capacités et performances analytiques

Spectromètre Gamma (Ge(Li)) puits H.P. type p (1)

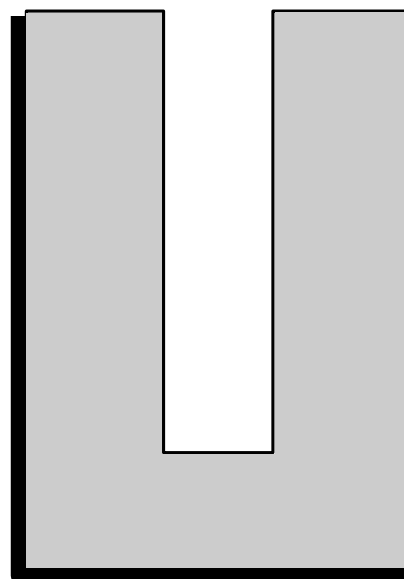


Capacités et performances analytiques

Spectromètre Gamma (Ge(Li)) puits H.P. type p (2)

Géométrie	Puits
Matériau	Ge(Li)
Diamètre	66 mm
Epaisseur	65 mm
Capot / dist.	Al / 10 mm
Résol. FWHM 0.12 / 1.33 MeV	1.35 / 2.08 keV
Pic / Compton	59.6 : 1
Eff. relative	40.8 %

Cristal Ge(Li) puits type p



Volume actif



Contact N+

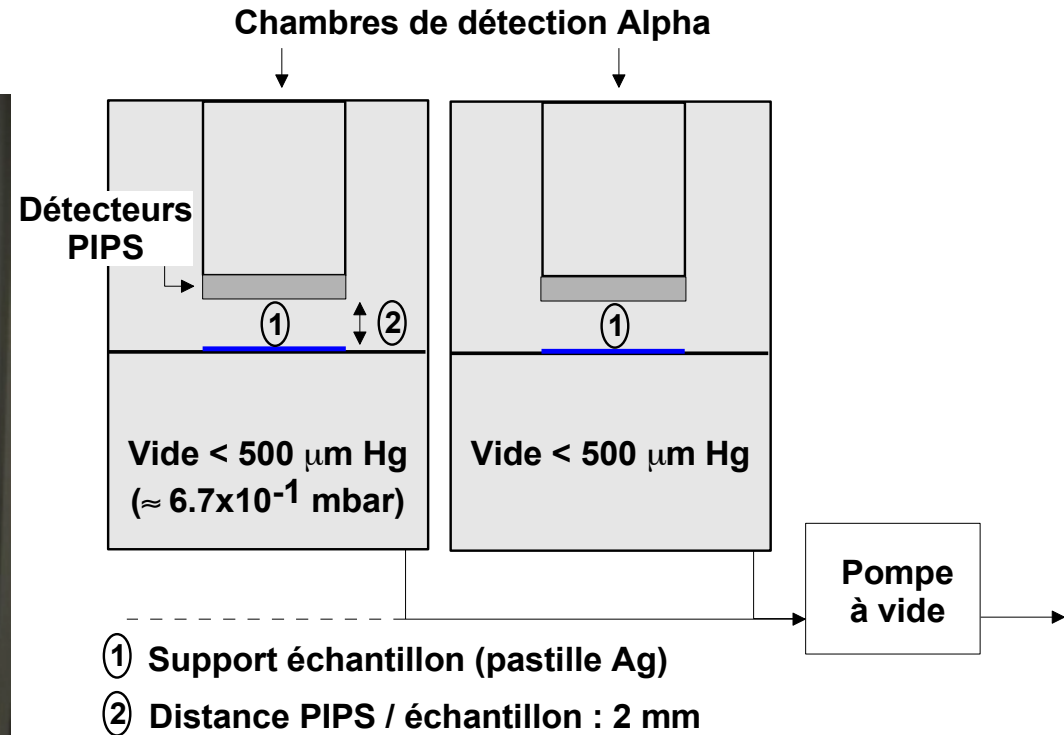


Contact P+

Capacités et performances analytiques

Détecteurs PIPS Alpha (1)

!!! En cours de rénovation !!!



Capacités et performances analytiques

Détecteurs PIPS Alpha (2)

Géométrie	Plan
Matériau	Si (type n)
Surface active	300 mm ²
Diamètre actif	19.5 mm
Epaisseur	0.15 mm
BDF (coups / heure)	$\sim 1.6 \times 10^{-1}$
Résolution à 5.30MeV (Po-210)	22 keV
Efficacité à 5.17MeV (Pu-239)	40 %



Buts scientifiques: Datation traçage de sources

- La plupart des éléments ont plusieurs isotopes
- Certains isotopes sont instables et radioactifs
- En se désintégrant, ils produisent un isotope d'un autre élément, c'est l'isotope radiogénique

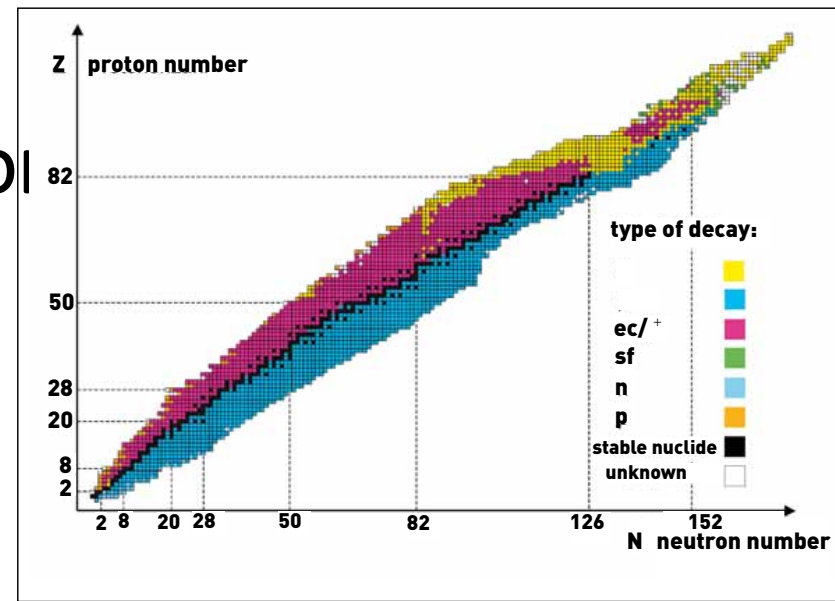


Fig. 1 Typical arrangement of a nuclide chart (example: Karlsruhe Nuclide Chart)

