

# Recherche interdisciplinaires au LSM



Plus d'information sur [lsm.fr](http://lsm.fr) => mission pour l'interdisciplinarité

# Plan



- Présentation du LSM
- Horloge atomique et mesure de la relativité
- Biologie : Evolution et rayonnement ionisant
- Application : Sphère TPC
- Électronique : Effet des radiations
- Environnement : Datation et archives sédimentaires
- Applications des spectromètres gamma et Authentification des millésimes de vin

# Présentation du LSM: UMR CNRS - UGA



- Situé dans la vallée de la Maurienne au milieu du tunnel du Fréjus ; 1700m de couverture rocheuse
- Abrité des rayons cosmiques ; condition de très basse radioactivité
- 5 techniciens, 1 IE, 2 administratifs, 3 IR et 1 DR
- 150 scientifiques français ou étrangers utilisent le LSM
- Laboratoire accueille des expériences de :
  - Physique des particules
  - Astroparticule
  - Physique nucléaire
  - Recherche environnementale (Datation climatologie, océanographie, rétro-observation ...)
  - Microélectronique
  - Biologie
  - Métrologie
  - Application des techniques de faible radioactivité

# Présentation du LSM



- Accès routier = 1 heure depuis les bureau
- Duo minimum pour les opérations de routine
- Discussion sur des laboratoires de physique des particules pas d'observatoires in situ
- Expérience ayant lieu dans les autres laboratoires non abordée
- Nécessité de blindage lourd  $\sim 1$  tonne  $\Rightarrow$  support

# Horloge et relativité

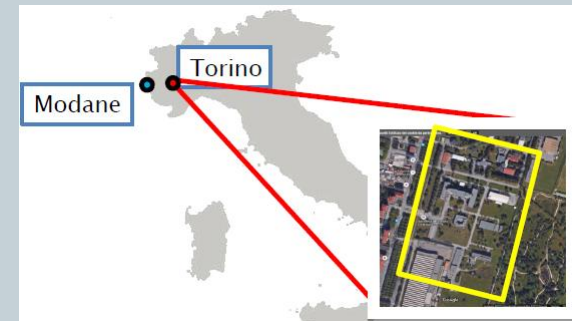




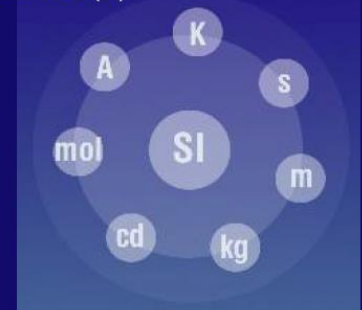
- Collaboration INRiM(Turin) - LSM
- Situation géographique spécifique du LSM
- Point d'entrée de la fibre optique « Renater »
- Altitude élevée (1200 m) du LSM

# Expérience INRIM-LSM

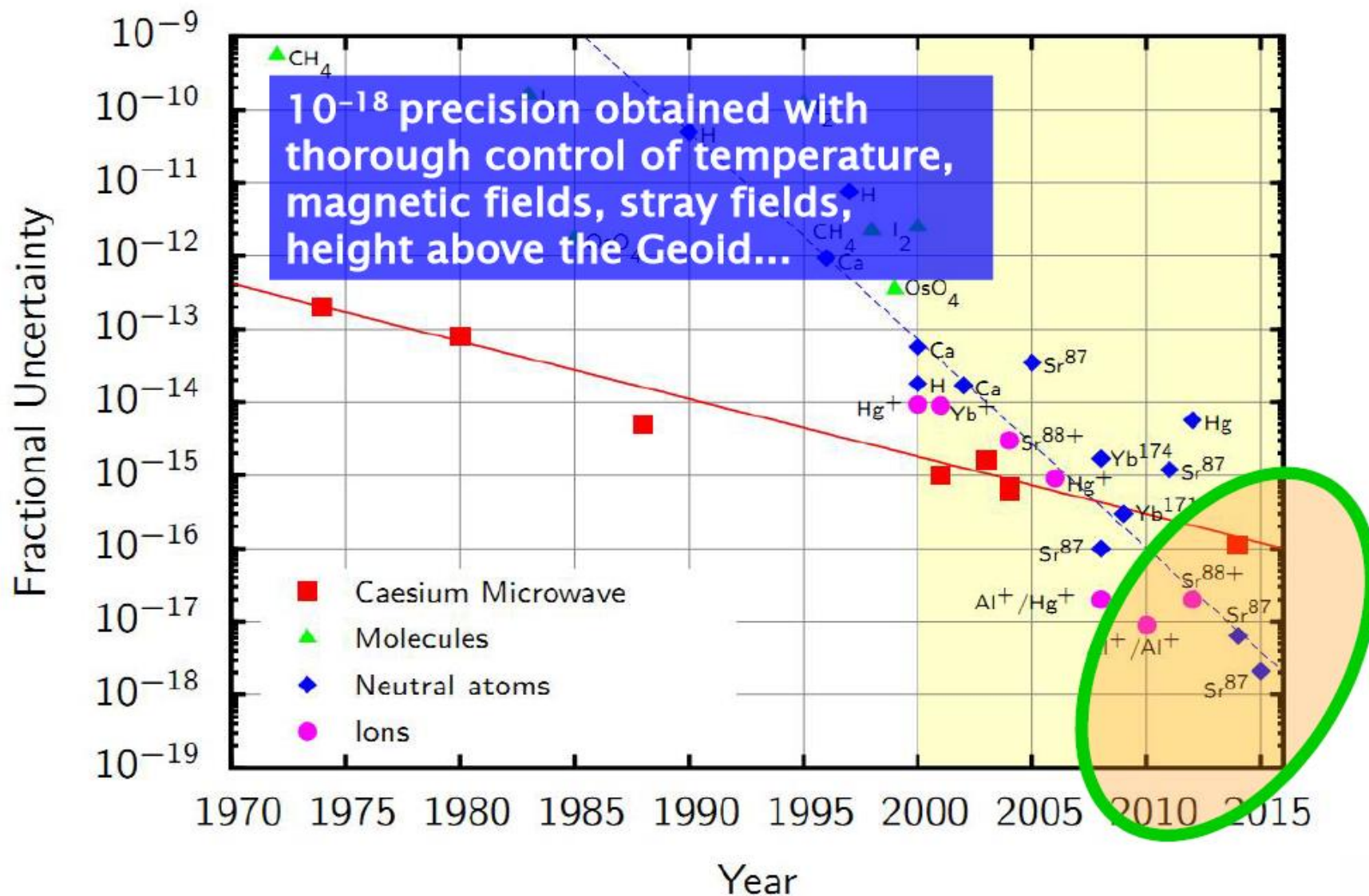
- Institut de métrologie italien en charge de la définition de la seconde
- SI définit la seconde comme  $\nu=9192631770$  Hz pour une transition du Cs 133
- Horloge primaire permet une précision à  $2 \cdot 10^{-16}$  s/s
- Les programmes de recherche visent à gagner en précision
- Mesure des transitions optiques d'autres atomes



Système International d'unités (SI)



# Réalisations actuelles



# Décalage vers le rouge gravitationnel



- Les horloges sont soumises à la relativité générale
- 2 horloges placés à 2 endroits différents du puits de gravité subissent un décalage en fréquence

$$\frac{\nu_0 - \nu(\bar{r})}{\nu_0} = \frac{W(\bar{r}) - W_0}{c^2}$$

- Sur terre la formule se simplifie en :

$$\frac{\nu_0 - \nu(\bar{r})}{\nu_0} \approx \frac{g_0}{c^2} m^{-1} = 1.09 \times 10^{-16} m^{-1}$$

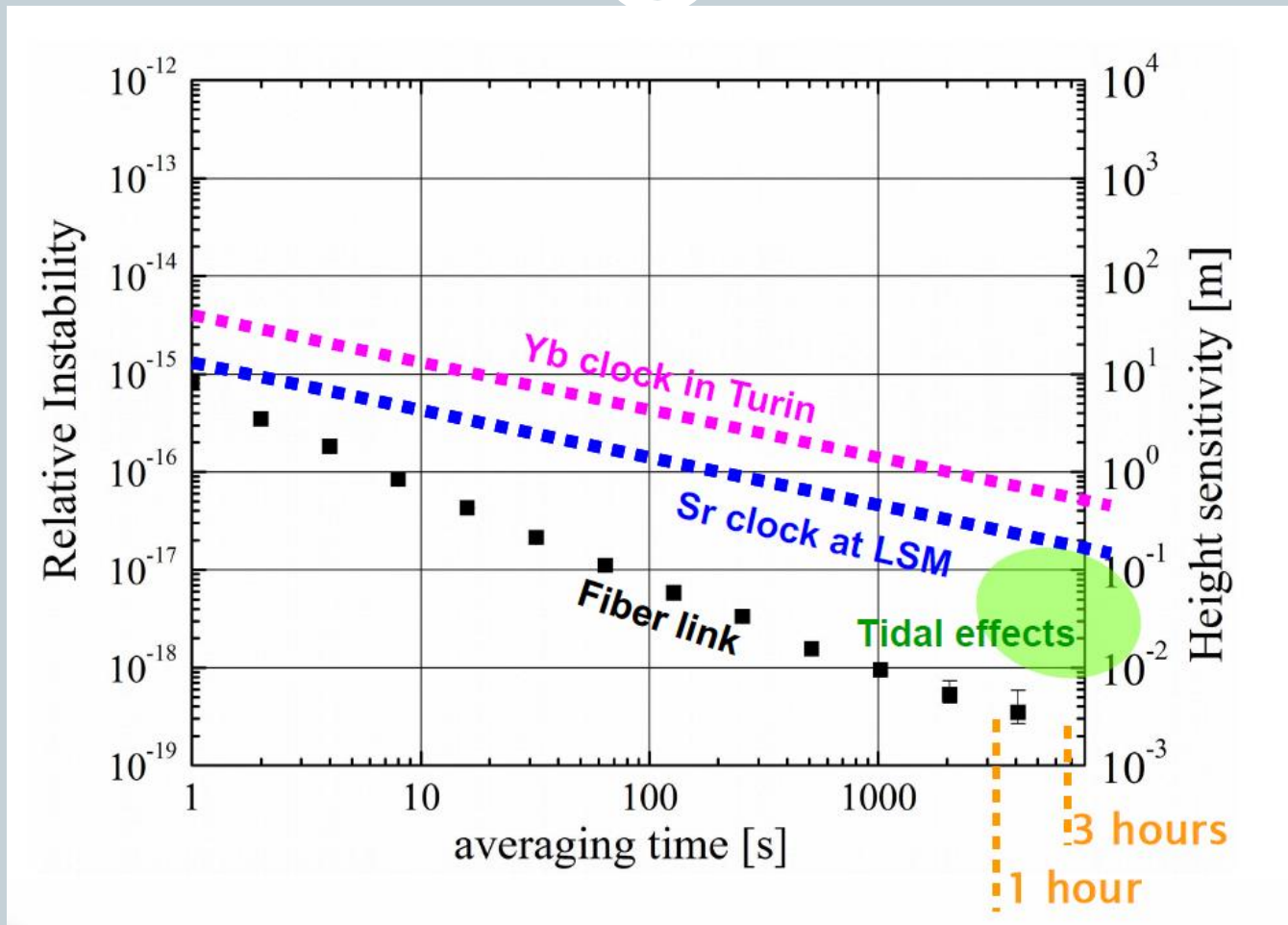
# Mesure précise de la gravité



- Nécessité de faire une mesure précise du champs gravitationnel pour comparer précisément la fréquence de 2 horloges
- Mesure effectuée par une masse en chute libre  
 $g = 9,8009540064 \text{ m/s}^2$



# La géodésie relativiste





- Point d'entrée pour la mise en réseau de l'horloge atomique entre la France et l'Italie
- Possibilité d'une mesure stable de la fréquence
- Continuation des mesures de la relativité générale
- Réflexion sur l'intérêt d'avoir une horloge en permanence au LSM

# Biologie : évolution et rayonnements ionisants





# Biologie en souterrain



- Demande des biologistes pour avoir l'accès aux laboratoires souterrains
- Sites faciles d'accès pour étudier la vie des grandes profondeurs
- Conditions extrêmophiles disponibles quasiment à la pailleasse
- Conditions de très basse radioactivité inatteignable ailleurs

# Salle de biologie souterraine

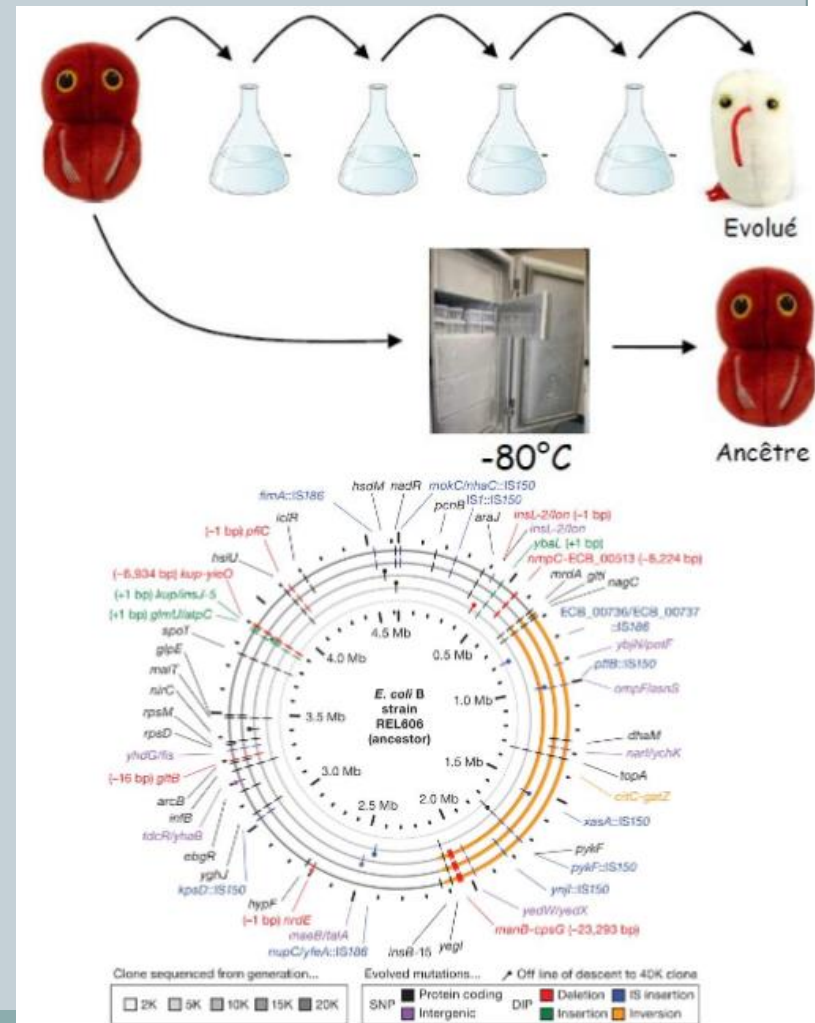


Source	Measurement Method	LPC Clermont (nGy/day)	Modane (nGy/day)	Modane (shielded) (nGy/day)
$\gamma$ background	Dosimeter measurement (rate varied by 10%)	2400	480	15
Muon flux	From theory	460	0	0
Potassium-40 ( $\gamma$ )	Simulations based on concentration	0.4	0.4	0.4
Potassium-40 ( $\beta$ )	Simulations based on concentration	74.4	74.4	74.4
Carbon-14 ( $\beta$ )	Simulations based on concentration	0.02	0.02	0.02
Total		2935	555	90



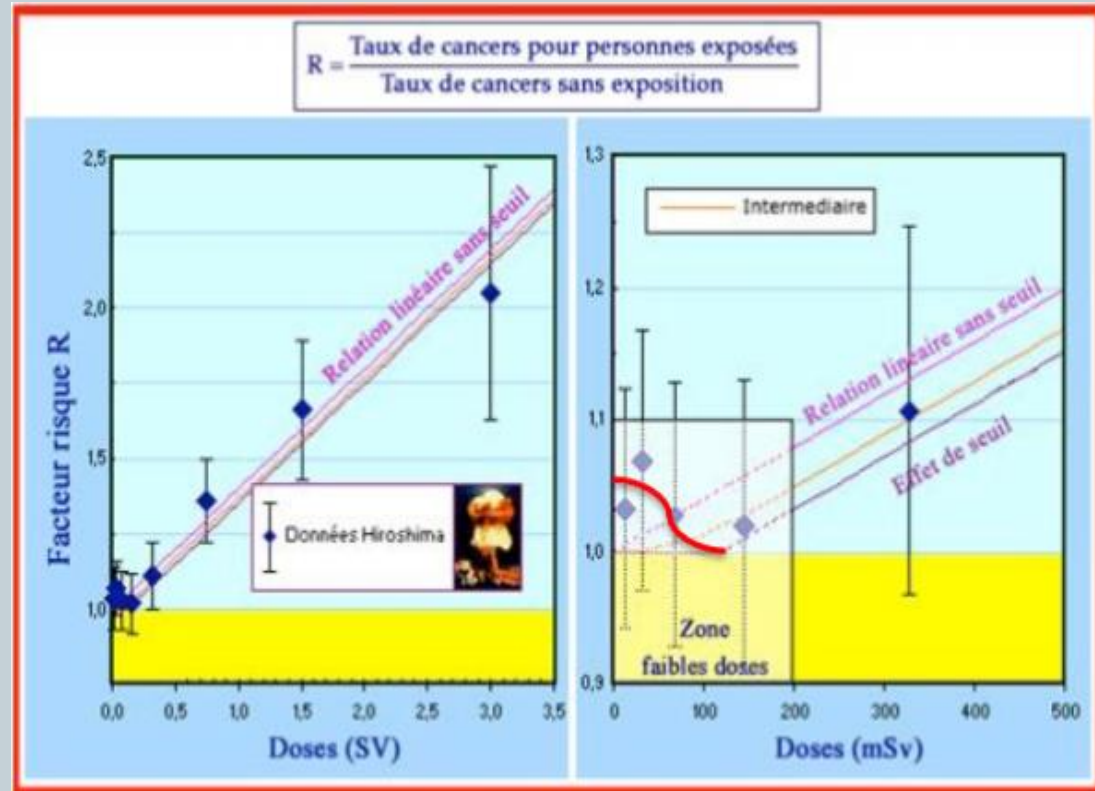
# Evolution expérimentale

- Evolution in vitro sur 40 000 générations menée par R.Lenski et al depuis 1988
- Expérience menée sur E.coli :
  - Bactérie la plus étudiée
  - Génome séquencé
- Influence de la radioactivité



# Influence de la dose

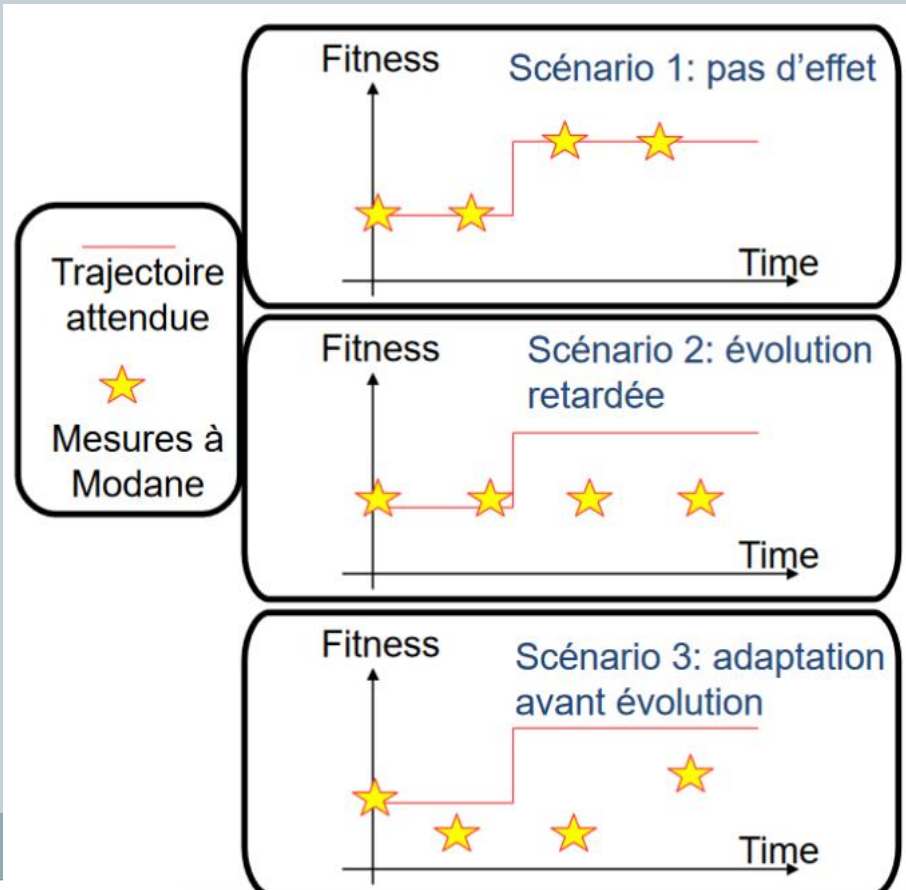
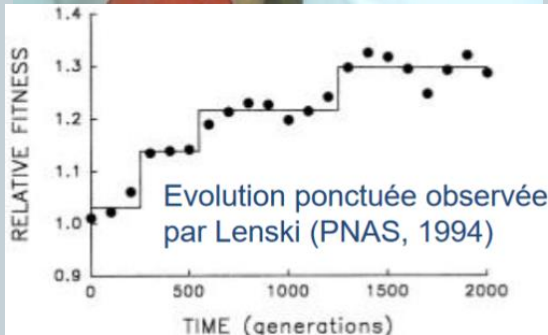
- Fort taux de radioactivité (~Sv ) implique des mutations déterministes
- Pour de faibles doses jusqu'à 100 mSv l'effet est probabiliste
- En dessous de 100 mSv l'effet est extrapolé
- Effet des faibles radiations n'est pas mesuré



# Suppression des rayonnements ionisants



- La radioactivité est un facteur de mutation
- Effet sur l'évolution pour le vivant
- Suppression de ce facteur



# Suppression des rayonnements ionisants



- Culture à l'abris du rayonnement cosmique et de la radioactivité naturelle
- Expérience IRIs:
  - Croissance dans un milieu nutritif Davis medium
  - Changement du milieu tous les jours au LSM
  - Augmentation de 8,23 générations par jour
  - Objectif d'une étude sur 1000 générations
  - Expérience répliquée à Clermont Ferrand
- Présence de potassium dans les milieux de culture qui limite la dose minimale accessible

# Études in silico



- Prédiction sur de longues périodes faite au moyen de Geant 4 DNA
- Mise au point de modèle de calculs des défauts créés sur l'ADN
- Modèle de leur propagation en cours de développement
- Adaptation de G4DNA à la région des faibles doses
- Reproduire les résultats des expériences effectuées au LSM et au LPC Clermont-Ferrand

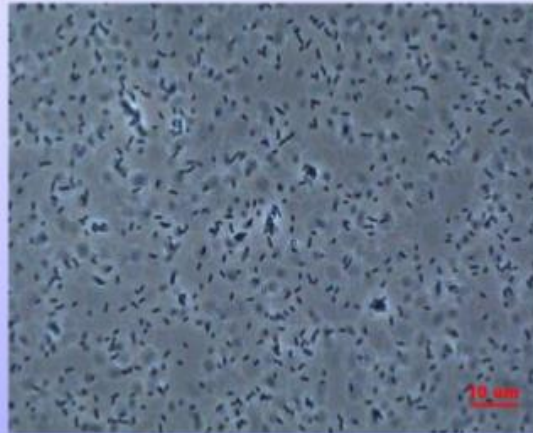
# Nécessité d'une simulation multi-échelle

## Echelle macroscopique



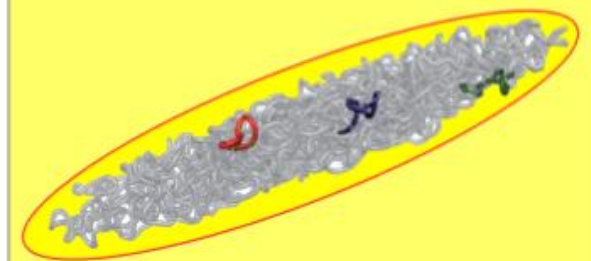
**Entrée:** termes sources  
**Sorties:** dépôts d'énergie et spectres d'électrons secondaires

## Echelle mésoscopique



**Entrée:** spectre d'électrons secondaires  
**Sorties:** spectre des électrons à l'entrée et dépôt d'énergie dans les cellules

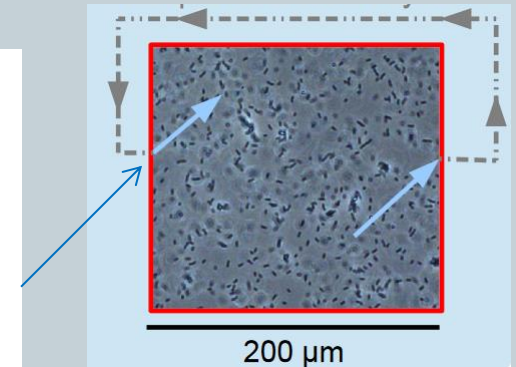
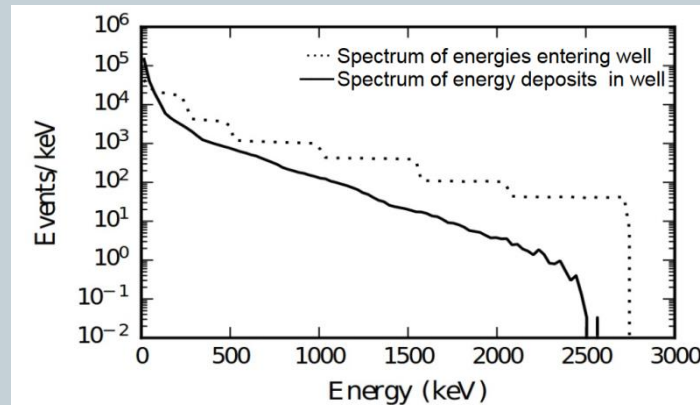
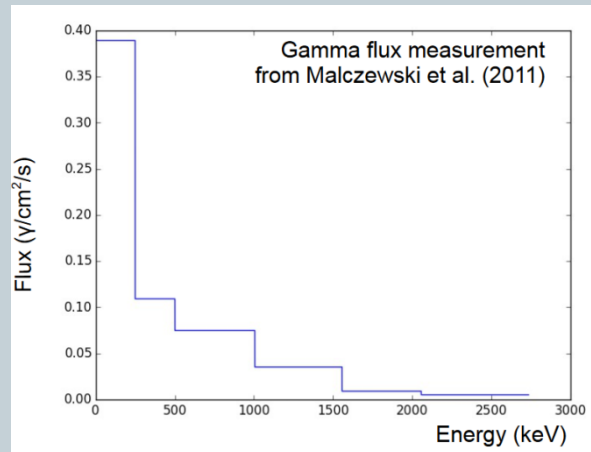
## Echelle microscopique



**Entrée:** spectre des électrons à l'entrée des cellules  
**Sortie:** dommages à l'ADN



- Spectre environnemental des rayonnements gamma en entrée de la simulation transformé en électron dans le puit de culture (tous les puits sont équivalents)

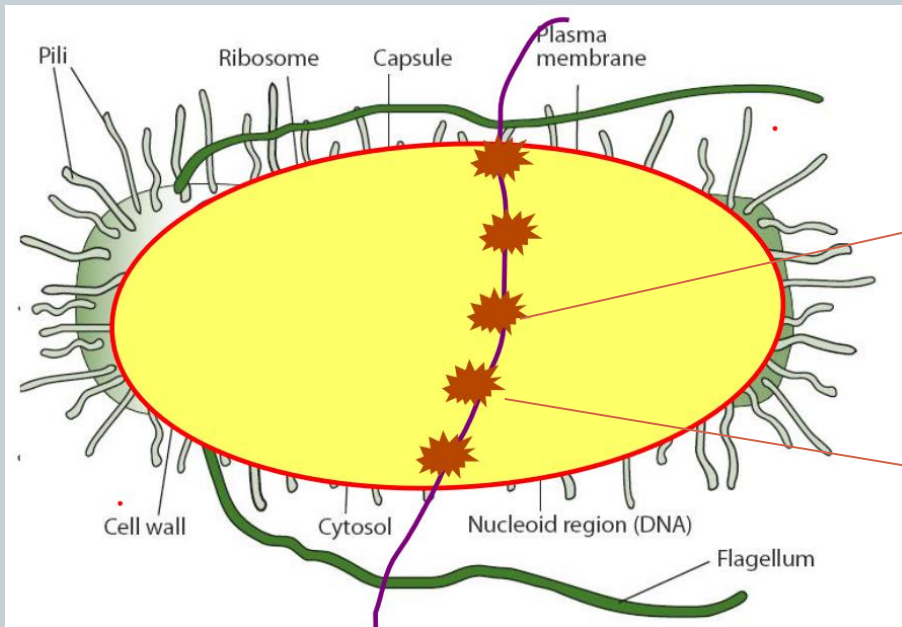


Densité bactéries :  
 $10^8 \text{ b}/\text{cm}^3$

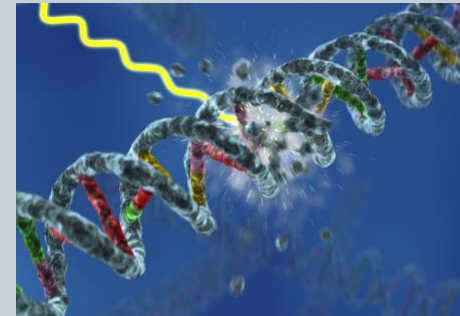
4000 bactéries avec une condition périodique aux limites afin de limiter les calculs

# Simulation multiéchelle

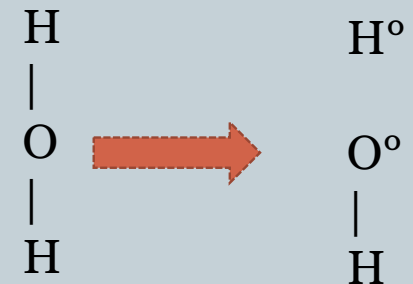
- De la simulation à l'échelle du cube on passe au dépôt d'énergie dans la bactérie



Cassure directe de l'ADN

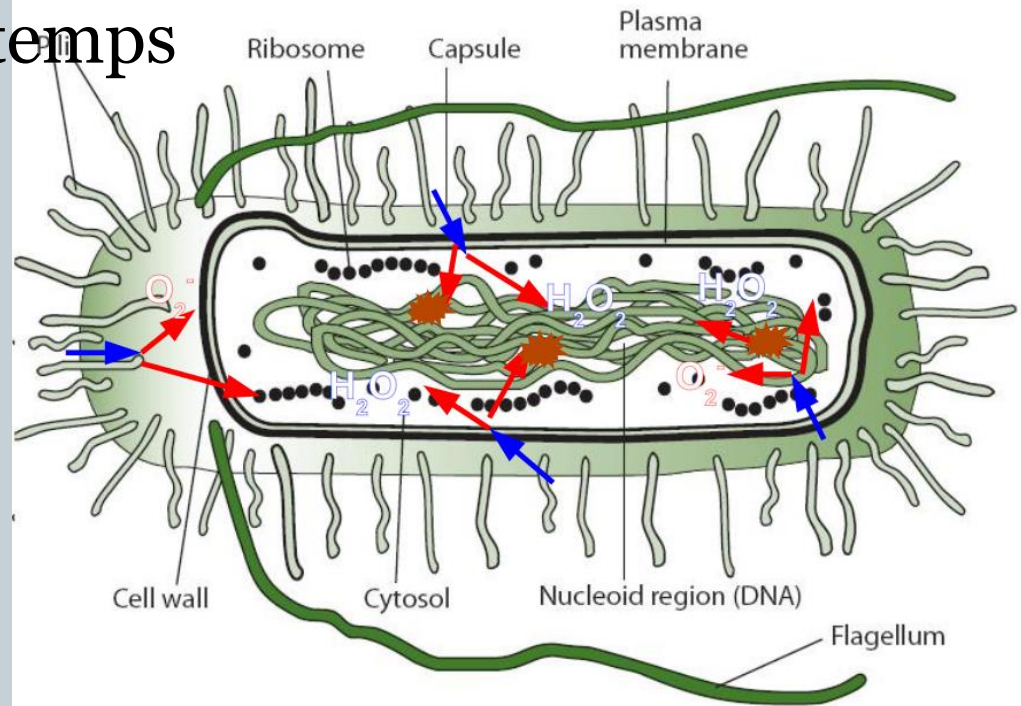


Radiolyse



# Fonctionnement d'une bactérie réelle

- Les dommages influent sur le fonctionnement chimique de la bactérie
- Difficulté de simuler les effets sur les bactéries sur une longue échelle de temps
  - Effet radiation =  $10^{-6}$ s
  - Effet radiolyse =  $10^{-3}$ s
  - Machinerie cellulaire = 1s
  - Division et propagation de la mutation = 20min



# Conclusion



- Mise en place d'un laboratoire de biologie en condition bas bruit
- Culture effective de 800 générations et test de fitness en cours
- Développement de modèles G4DNA plus poussés qui permettront d'envisager de simuler l'évolution
- Autres étude en cours, nouveau champs donc possibilité de brevets ou d'applications industrielles

# Bibliographie



- RE Lenski - 1991
- [https://en.wikipedia.org/wiki/E.\\_coli\\_long-term\\_evolution\\_experiment](https://en.wikipedia.org/wiki/E._coli_long-term_evolution_experiment)
- Lampe et al 2015

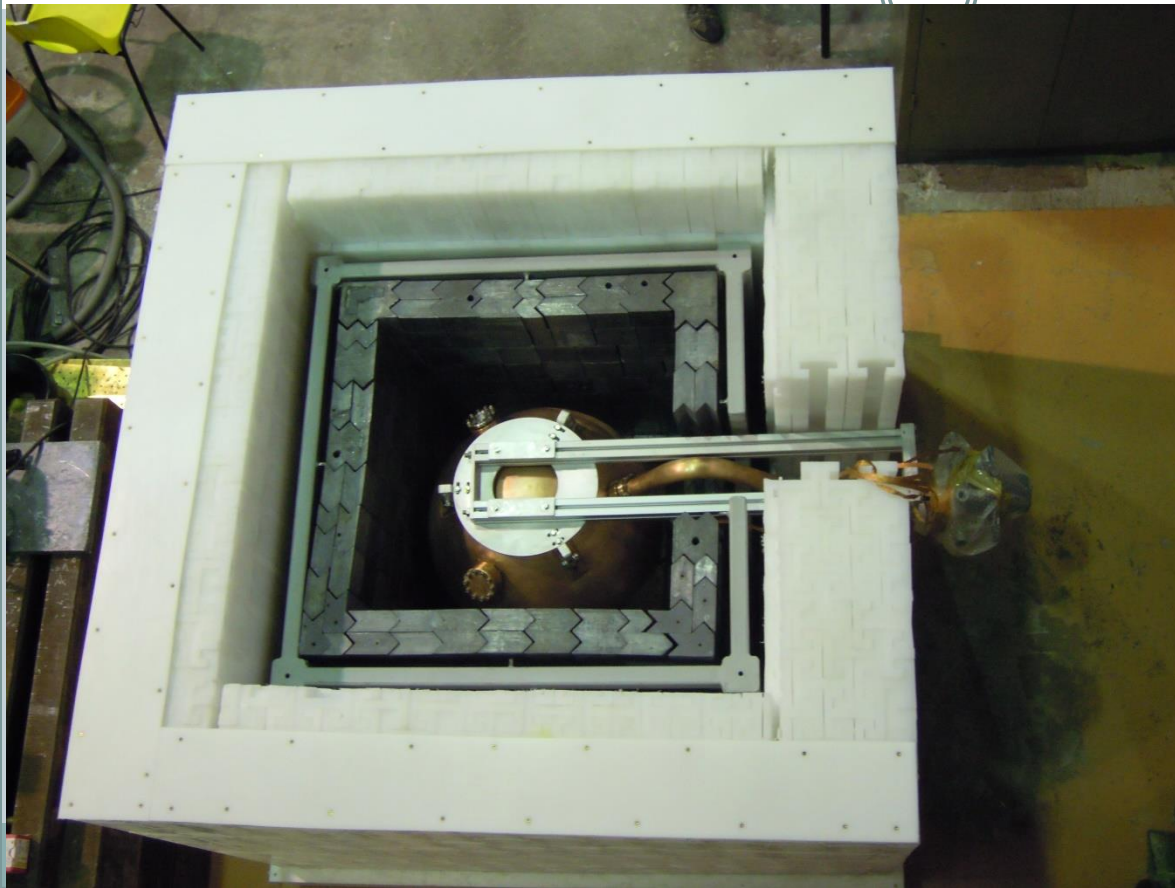
Vincent Breton

[Vincent.breton@idgrille.fr](mailto:Vincent.breton@idgrille.fr)

04 73 40 72 19

LPC Clermont Ferrand

# Compteur proportionnel sphérique



# Compteur proportionnel sphérique dans le monde



1<sup>er</sup> détecteur sphérique  
@ Saclay



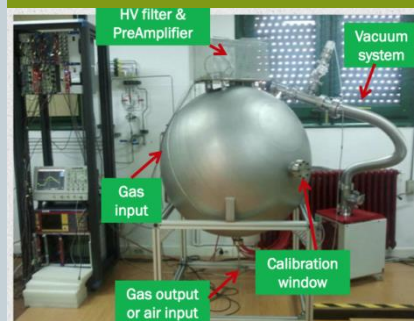
SEDINE, @ LSM



SPC, @  
Thessalonique



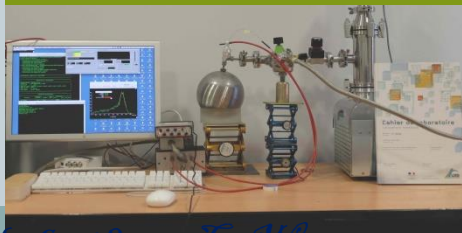
SPC, @ Saragosse



SPC, @ Pékin



Détecteur de  
Neutrons @ LSM



Détecteur sphérique  
@ CPPM



Un futur projet d'un  
SPC de 1.4m sera  
développé  
@ SNOLAB  
(G. Gerbier  
et al.)



# Historique de la sphère



Georges Charpak Physics Noble  
prix, (2008 visit @ Saclay)



Art McDonald Physics Noble prix, (2015 visit @  
SNOLAB, NEWS Lab)

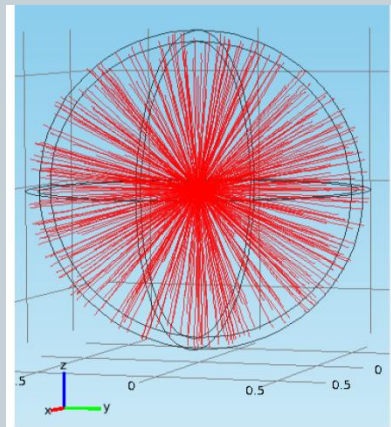
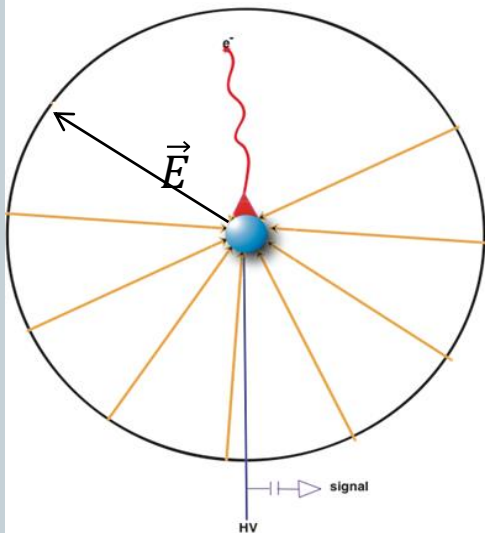
# Principe de comptage

Champ électrique radial :  
Enceinte sphérique à la  
masse

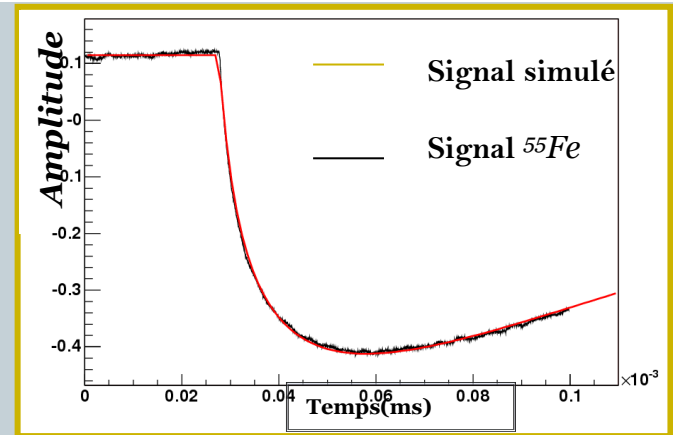
Rayon senseur = 1 - 8 mm

$$E \propto \frac{1}{r^2}$$

Cas idéal :  
Simulation champ  
électrique



A Novel large-volume Spherical Detector with Proportional Amplification read-out,  
I. Giomataris *et al.*, JINST :P09007,2008



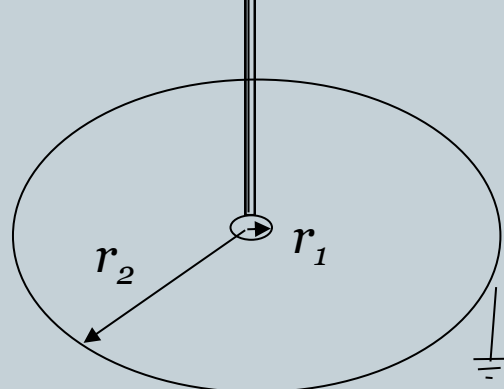
## Caractéristiques principales

- Faible capacité électrique < 1 pF
- Seuil bas en énergie (< 1 keV)  
Indépendant de la taille de la sphère
- Flexibilité : gaz, pression
- Bonne résolution en énergie
- Une seule voie de mesure pour un grand volume
- Robuste, économique et simple

# Champs électrique

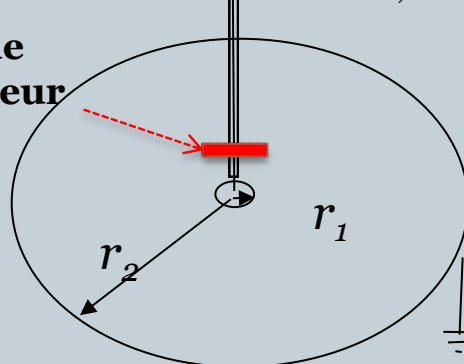
## Senseur avec Bille 16 mm

Haute tension  
**Bille et son support**



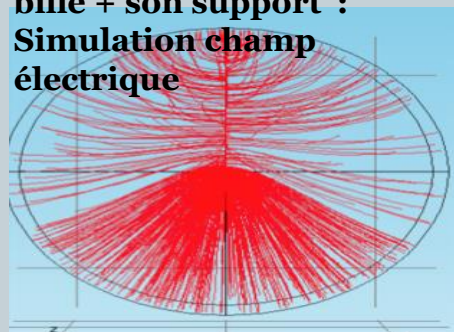
+ disque  
correcteur

Haute tension de  
la bille; **HV1**  
Haute tension du disque  
correcteur; **HV2**

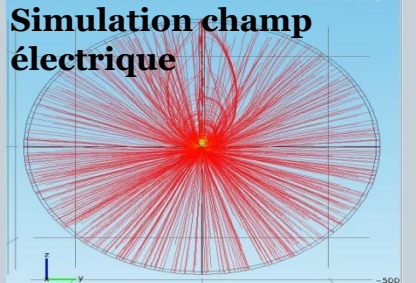


*E. Bougamond et al., arXiv: 1010.4132  
[physics.ins-det] & E. Bougamont et al.,  
J.Phys.Conf.Ser.309:012023,2011.*

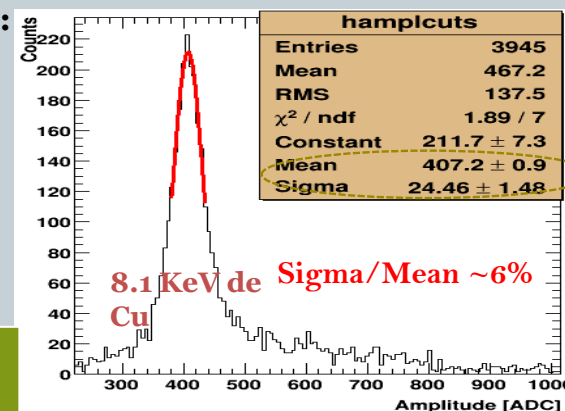
bille + son support :  
**Simulation champ  
électrique**



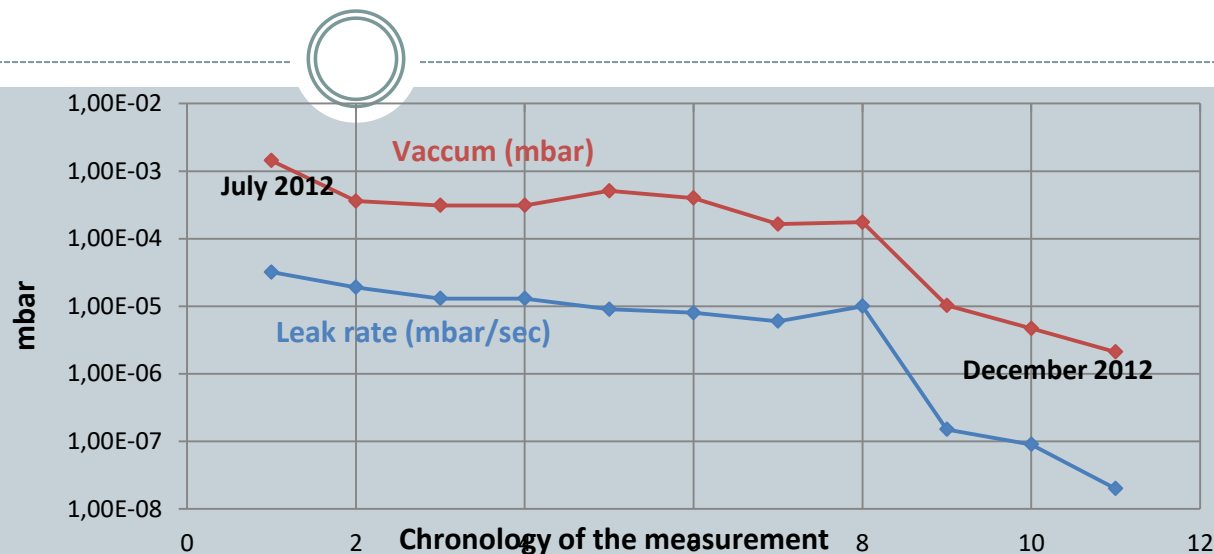
bille + disque correcteur:  
**Simulation champ  
électrique**



**Champ électrique  
uniforme**



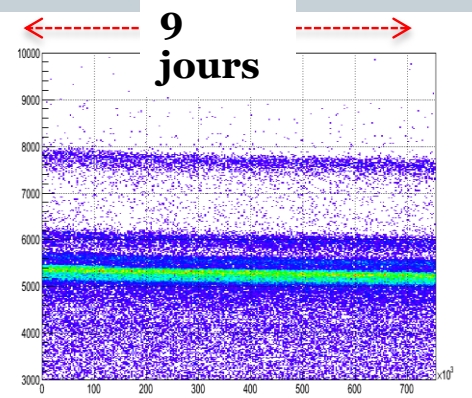
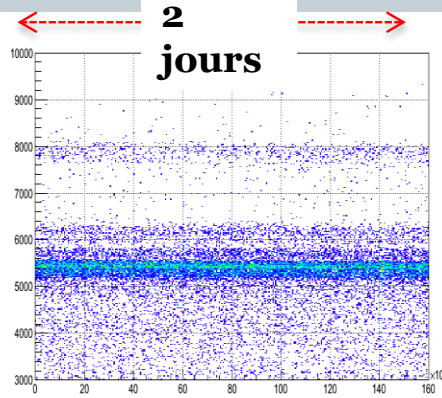
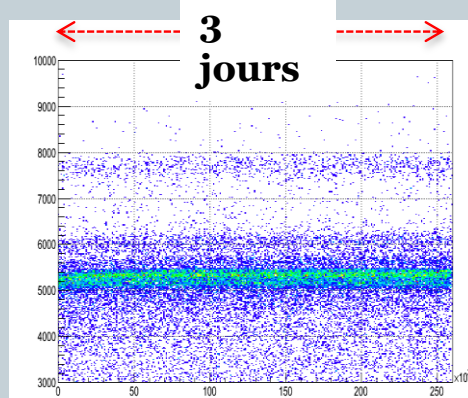
# Principe de comptage



3  
jours

$P = 300 \text{ mbar; Ar} + \text{CH}_4 (2\%)$

Amplitude  
[ADU]



Date [s]

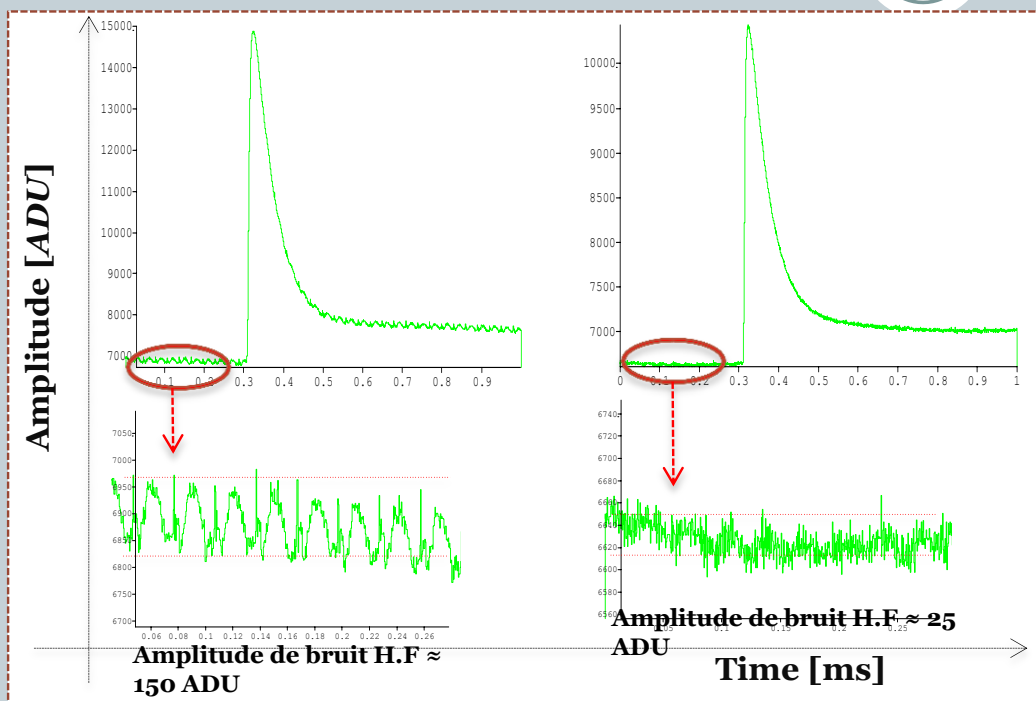
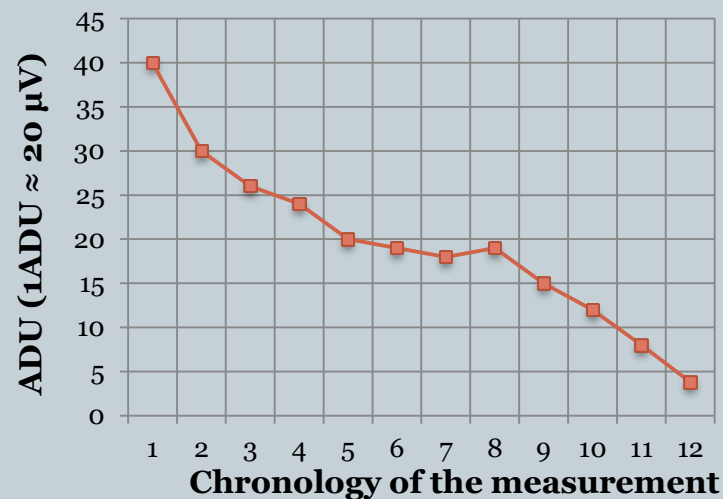
Variation of peak  $^{210}\text{Po}$  :  $< 1\% / \text{day}$

$< 1\% / \text{day}$

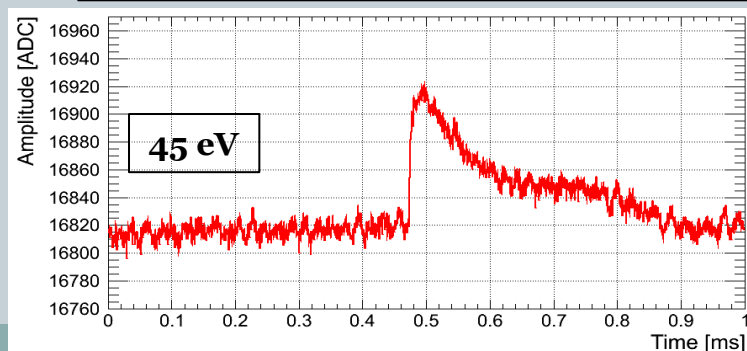
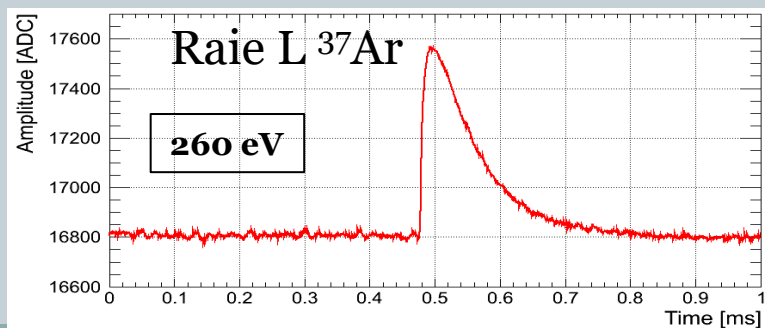
# Seuil de détection

signaux à très basse énergie

## Electronic noise



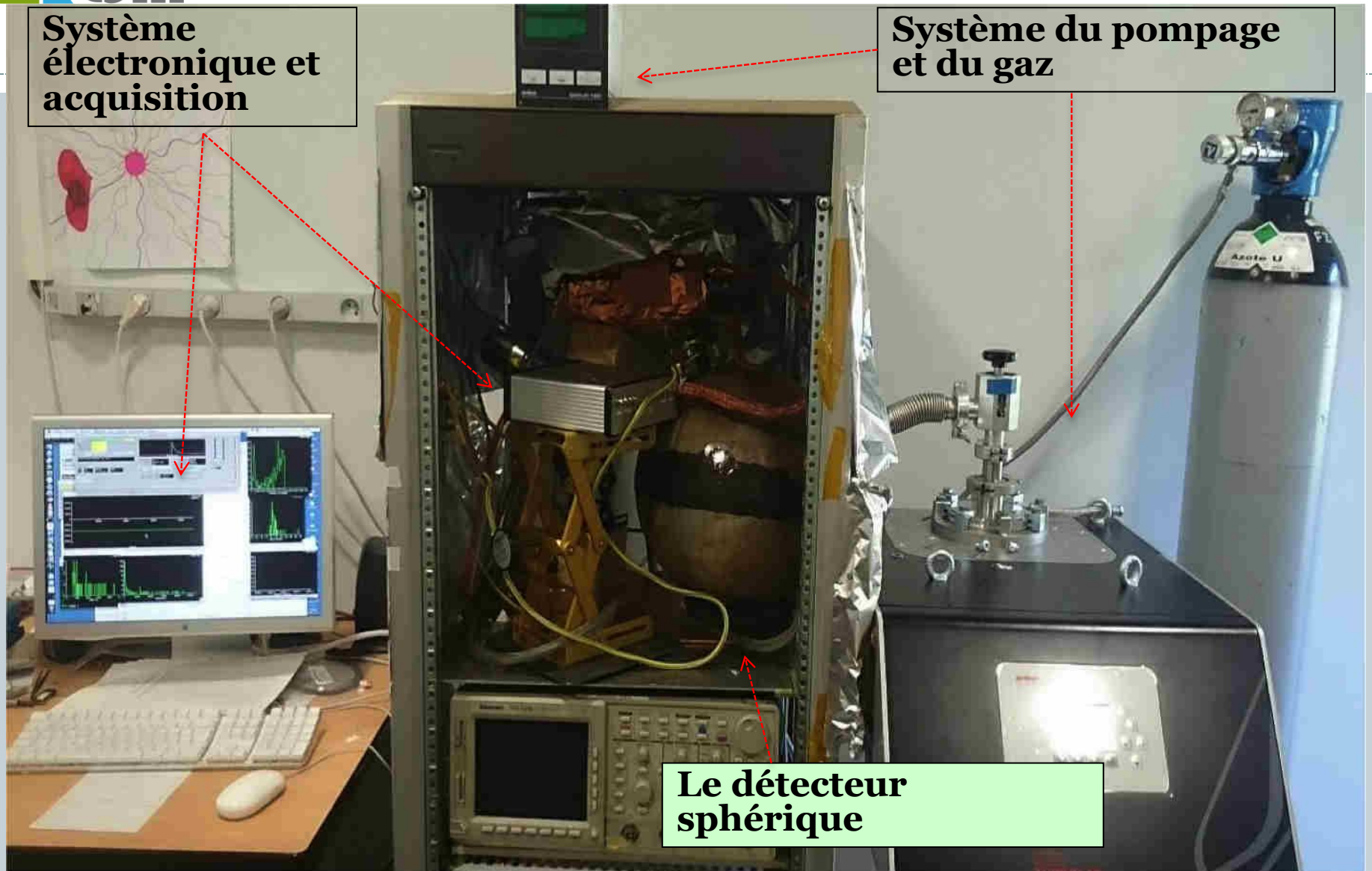
Détection d'événements à 45 eV  
Seuil d'acquisition



# SPC\_neutron au LSM

**Système électronique et acquisition**

**Système du pompage et du gaz**



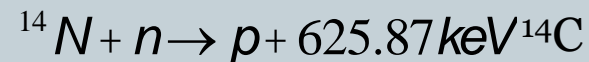
**Le détecteur sphérique**

# Calibration neutron

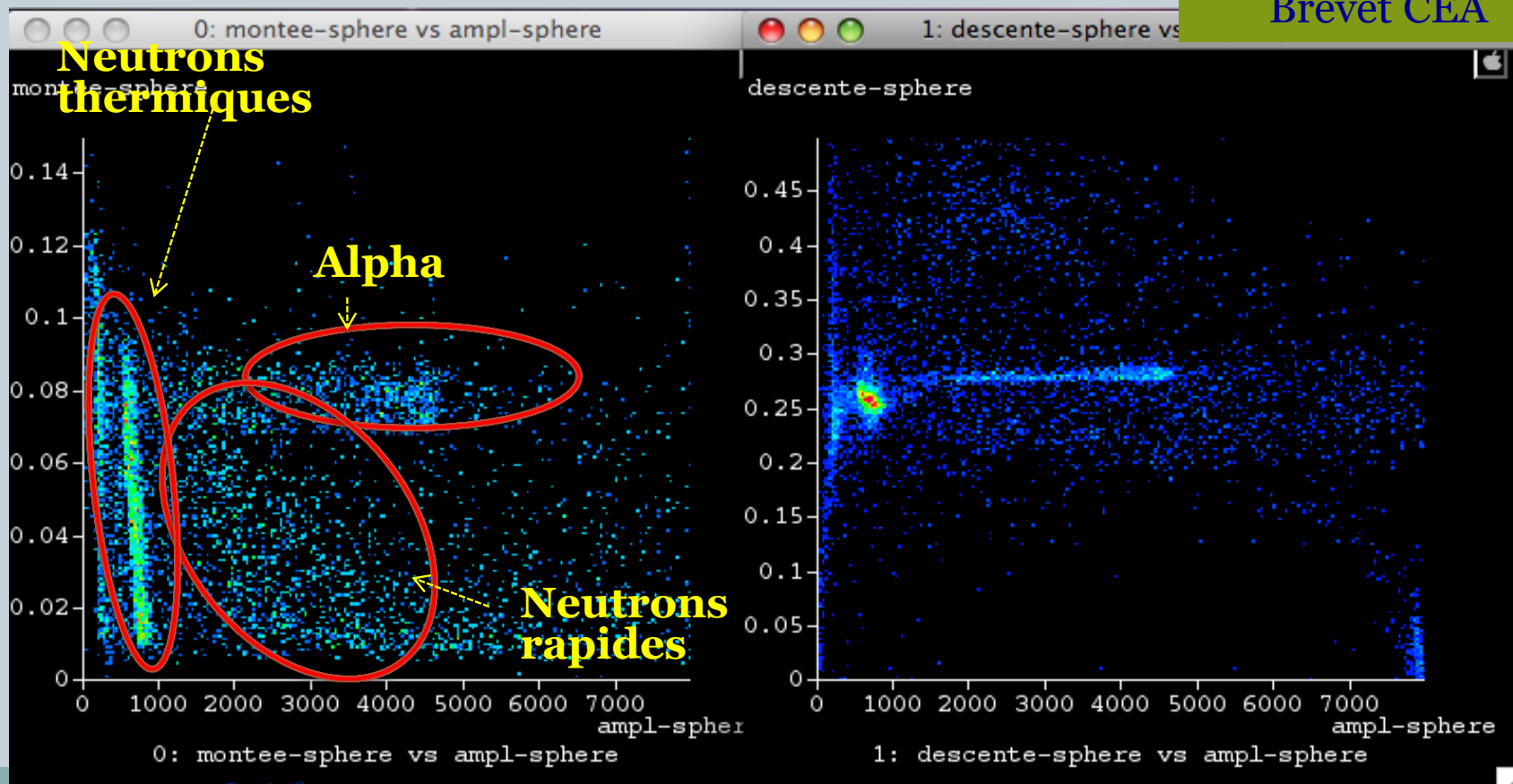


**Diamètre du détecteur : 130 cm**

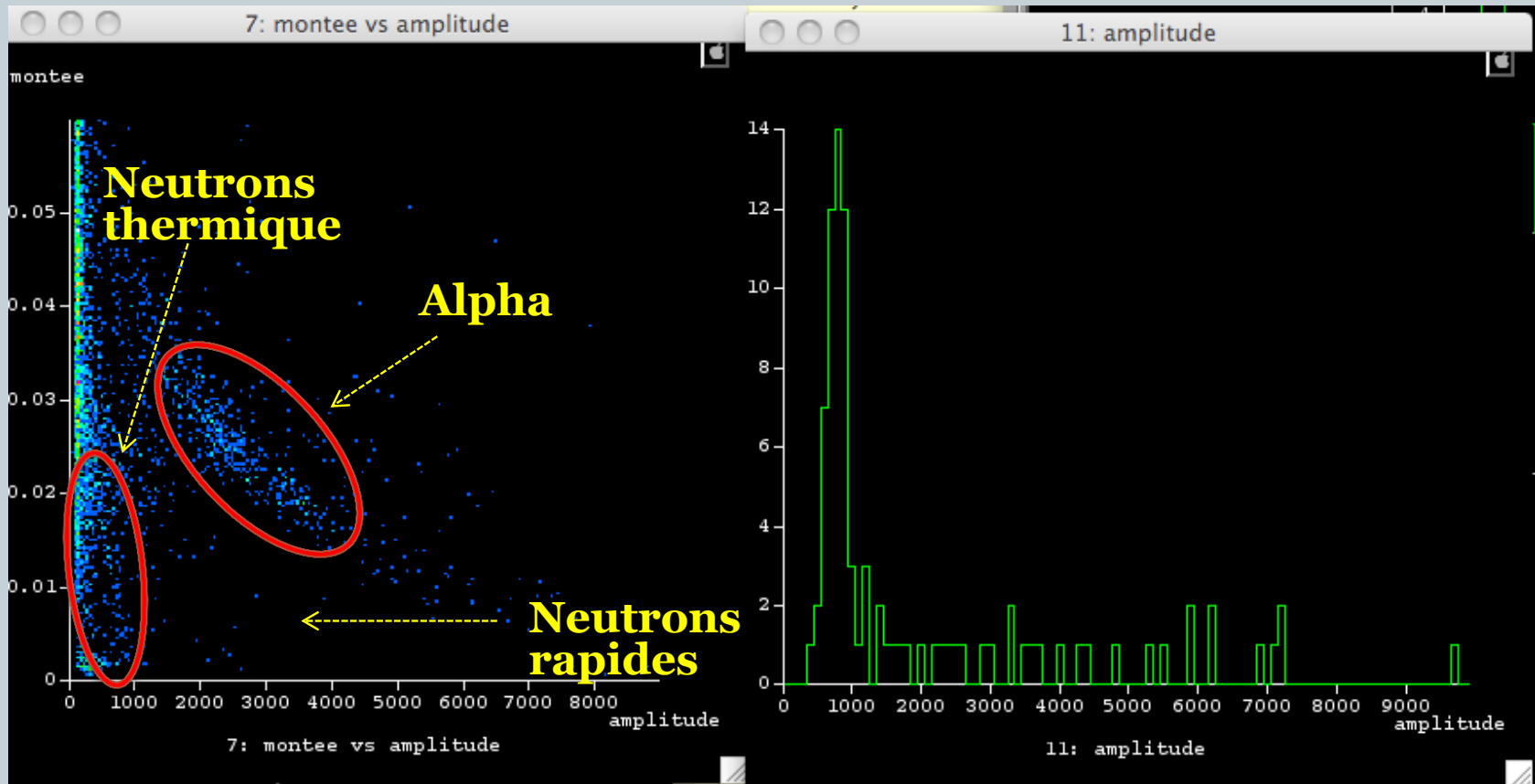
**Lieu de test : Université de Thessalonique (GRECE)**



**Gaz : Azote pur  
Brevet CEA**



# Mesure de l'environnement neutron du LSM



# Conclusion



- 1. Détection de Neutrons avec le Compteur Proportionnel sphérique (SPC)**
- 2. Utilisation d'azote pur, gaz peu cher, à la place de  $^3\text{He}$**
- 3. Calibration avec une source de neutrons (Am-Be)**
- 4. Excellente détection de neutrons**
  - neutrons thermiques**
  - neutrons rapides**

**En moins de 24h pour un flux  $< 10^{-3} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$**

# Bibliographie



- [1] I. Giomataris *et al.*, *A novel large-volume spherical detector with proportional amplification read-out*, *JINST* 3 :P09007,(2008).
- [2] S. Aune *et al*, *NOSTOS: a spherical TPC to detect low energy neutrinos*, *AIP Conf. Proc.* 785 110-118 (2005).
- [3] G. Gerbier *et al.*, *NEWS : a new spherical gaz detector for very light WIMP detection* [arXiv:1401.7902 (2014)].
- [4] A. Dastgheibi FARD PhD Thesis : Etude d'un nouveau détecteur gazeux sphérique à très bas seuil en énergie pour la recherche d'évènements rares. 2013.
- [5] A. Dastgheibi FARD *et al.*, (2015, August). Background reduction of a spherical gaseous detector. In *Low Radioactivity Techniques 2015 (LRT 2015): Proceedings of the 5th International Workshop in Low Radioactivity Techniques* (Vol. 1672, p. 070003). AIP Publishing.
- [6] I. Savidis *et al.* *Underground Low Flux Neutron Background Measurements in LSM Using a Large Volume (1m3) Spherical Proportional Counter*. TAUP Conference 785 (2009) 110
- [7] BOUGAMONT, E., DASTGHEIBI, A., DERRE, J., *et al.* Neutron spectroscopy with the Spherical Proportional Counter. *arXiv preprint arXiv:1512.04346*, 2015.

**Ali.DASTGHEIBI-FARD**  
**LSM/CNRS**  
**Carré Sciences**  
**1125 route de Bardonnèche**  
**73500 Modane**

**ali.dastgheibi-fard@lsm.in2p3.fr**  
**<http://www-lsm.in2p3.fr/>**  
**TEL : (+33) 479 05 22 57**  
**GSM : (+33) 679 19 04 87**  
**FAX : (+33) 479 05 24 74**

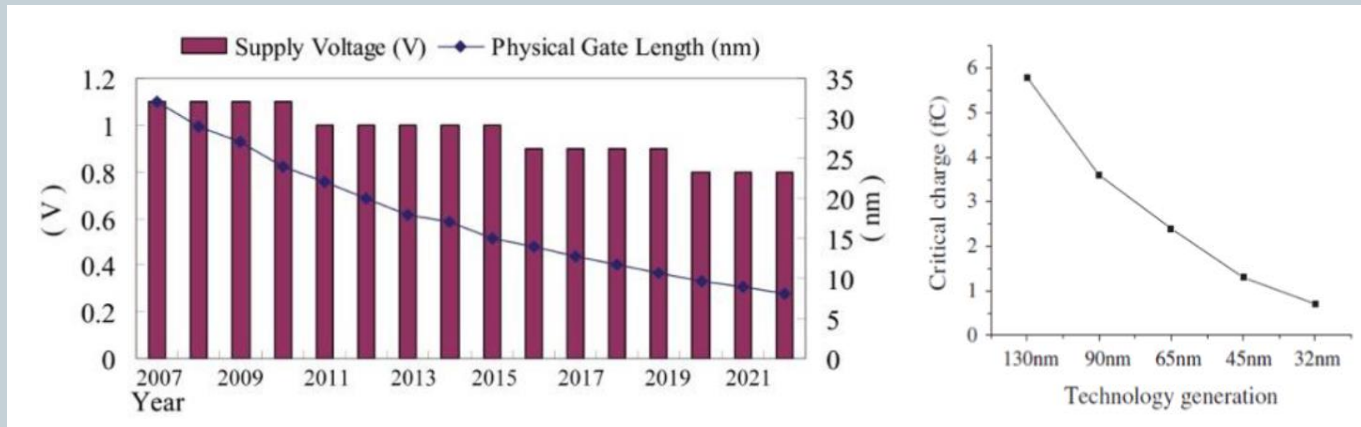
# Electronique et radiation



# Loi de Moore



- Moore a supposé que la taille des transistor est divisée par 2 tous les 18 mois , prédiction vérifiée
- Implique que la charge unitaire diminue et permet de diminuer la tension d'alimentation



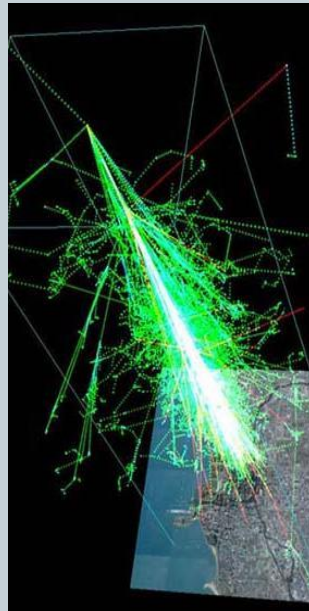
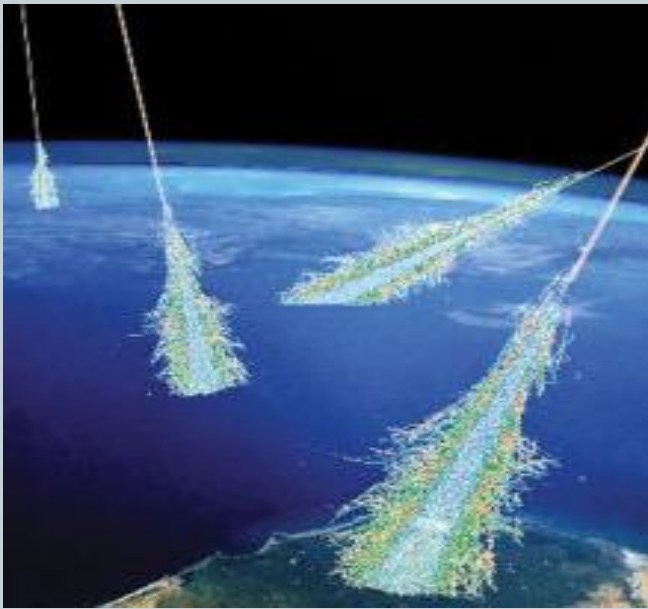
L'énergie du bit flip est à présent inférieur au dépôt d'énergie d'un ion lourd, d'un proton et d'un alpha

# Environnement radiatif naturel

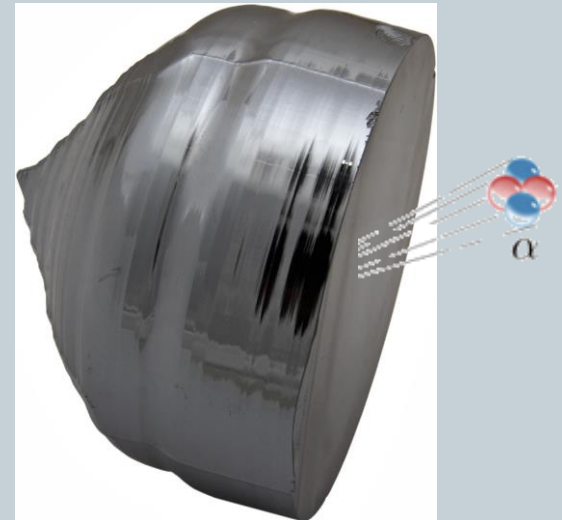


- Les principales radiations influant sur l'électronique

Particules atmosphériques:  
*lons et flux primaire – convertis en  
particules secondaires (neutrons)*



Particules alpha:  
*Contamination U/Th  
Isotopes émetteurs alpha  
dans l'oxyde de grille*



# Impact sur les composants

- Impact en spatial bien connu

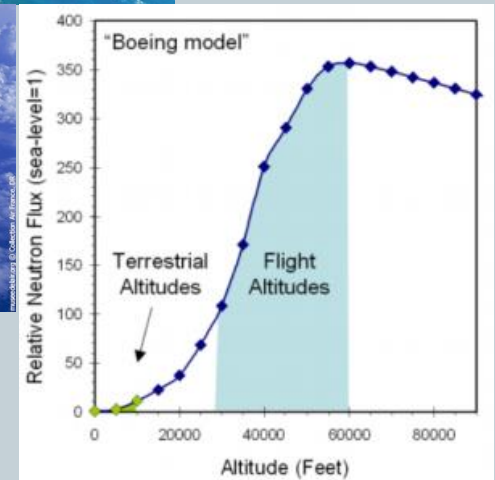
- ✦ >Durcissement des circuit
- ✦ >Test sur accélérateurs



1960  
X<sup>+</sup>

- Impact aéronautique

- ✦ >test neutron accélérés



- Impact au niveau de la mer

- ✦ Flux faible, nombre de cible très grand



# Taux de désintégrations

Élément	$T_{1/2}$ (s)	Abondance naturelle (%)	Désintégrations/ milliard d'heures (pour un volume 250 $\mu\text{m}$ x 1 $\text{cm}^2$ )
$^{147}\text{Sm}$	$3.34 \times 10^{18}$	15	$1.40 \times 10^{14}$
$^{190}\text{Pt}$	$2.05 \times 10^{19}$	0.014	$2.13 \times 10^{10}$
$^{144}\text{Nd}$	$7.23 \times 10^{22}$	23.8	$1.03 \times 10^{10}$
$^{152}\text{Gd}$	$3.41 \times 10^{21}$	0.2	$1.94 \times 10^9$
$^{148}\text{Sm}$	$2.21 \times 10^{23}$	11.24	$1.59 \times 10^9$
$^{187}\text{Re}$	$1.37 \times 10^{18}$	62.6	$1.43 \times 10^9$
$^{186}\text{Os}$	$6.31 \times 10^{22}$	1.59	$7.86 \times 10^9$
$^{174}\text{Hf}$	$6.31 \times 10^{22}$	0.16	$7.91 \times 10^8$
		0,6 réaction/jour = $2.50 \times 10^7$ /milliard heures	
$^{238}\text{U}$ (1ppb)	$1.41 \times 10^{17}$	99.2742	$2.20 \times 10^7$
$^{232}\text{Th}$ (1ppb)	$4.43 \times 10^{17}$	100	$7.04 \times 10^6$

# Mesure des différentes influences



- Norme mise en place par l'industrie électronique : JEDEC
- Tests accélérés de l'influence des neutrons
  - Test sur accélérateur mais spectres différent du rayonnement cosmique
  - Accélération en augmentant l'altitude et la latitude
- Test de l'influence des alpha
  - Possibilités faible d'accélération
  - Tests en temps réels sans l'influence des neutrons
  - LSM est le lieu de référence zéro neutron pour cette norme

# Plateforme Astep



- Expérience temps réel :
  - Exposition longue de plusieurs Gbits de mémoires
- En altitude : multiplication par 6 du flux de neutron par rapport au flux de référence (NYC)

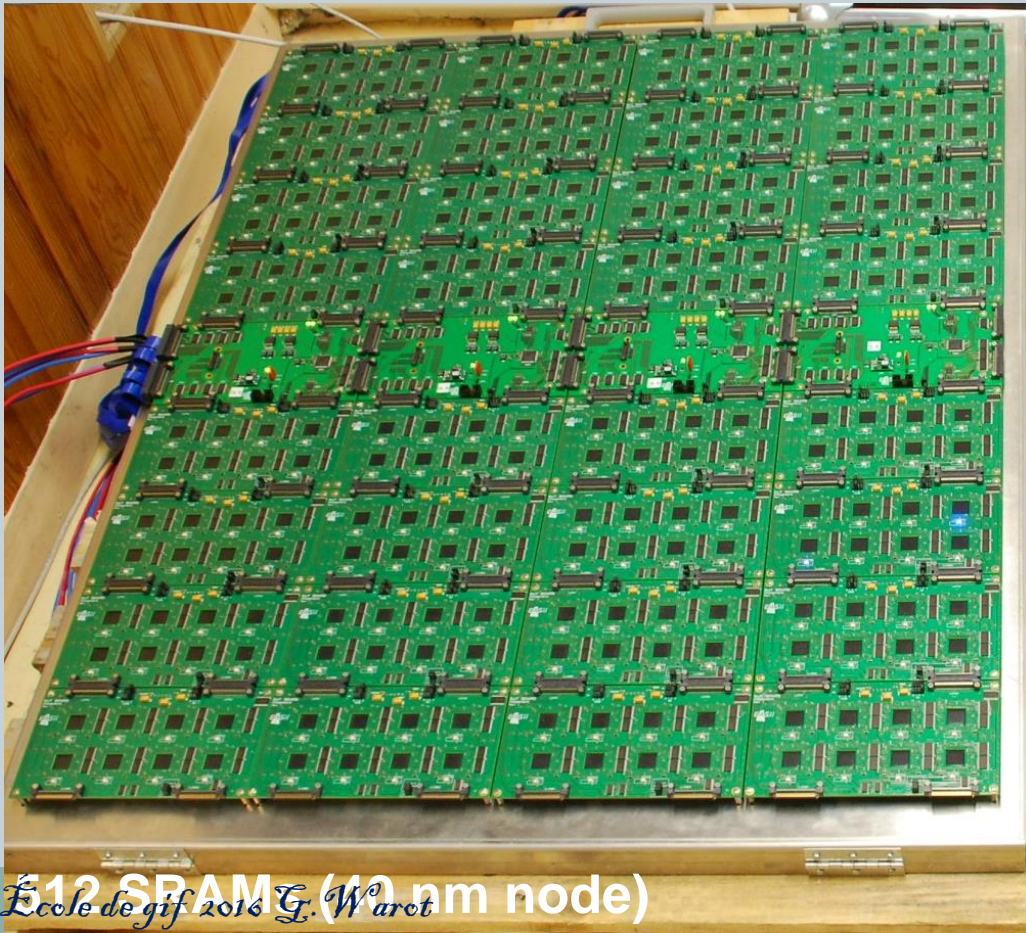


- En souterrain : réduction d'un facteur  $>1000$  sur les neutrons
  - Erreur due uniquement aux alphas

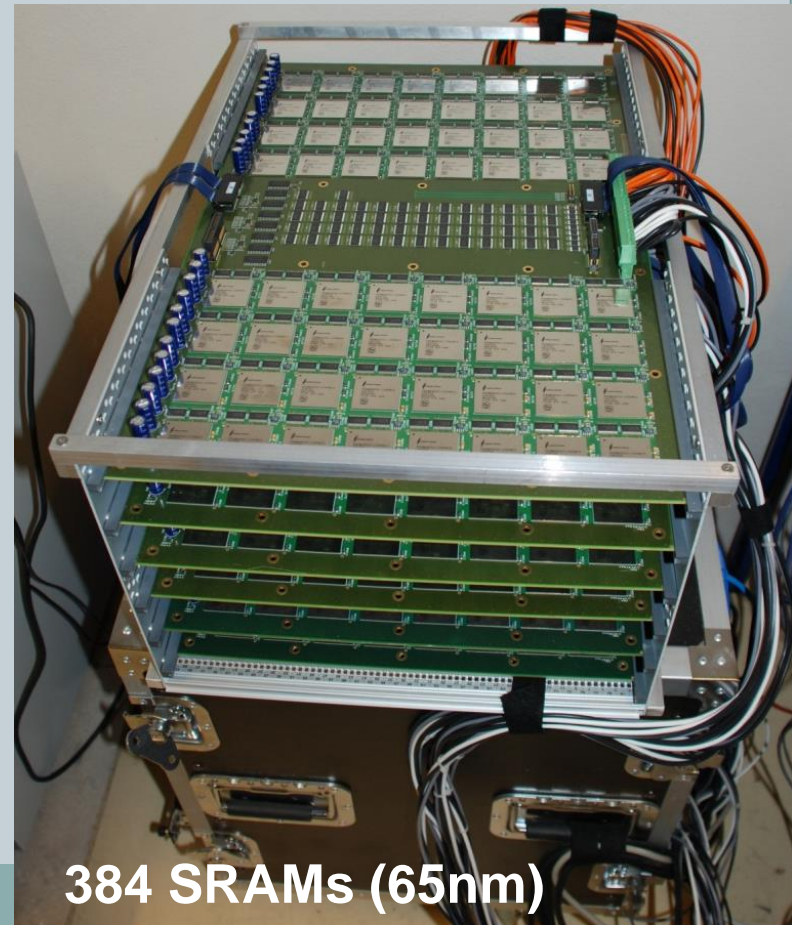
# Dispositif expérimental



- Mémoire avec un mot connue relues en permanence

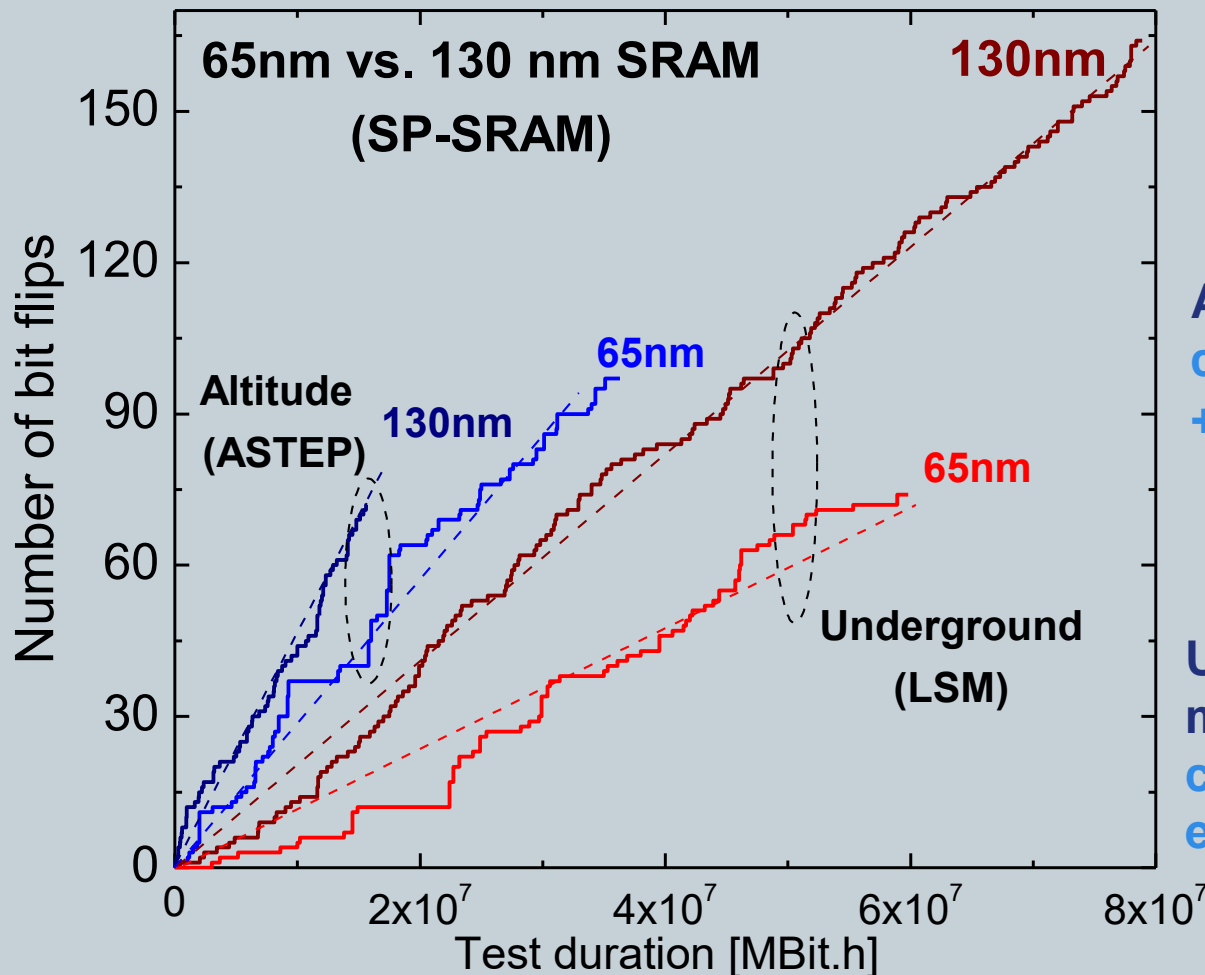


512 SRAMs (40 nm node)  
*École de gif 2016 G. Warch*



384 SRAMs (65nm)

# Mesure de la contribution des alphas



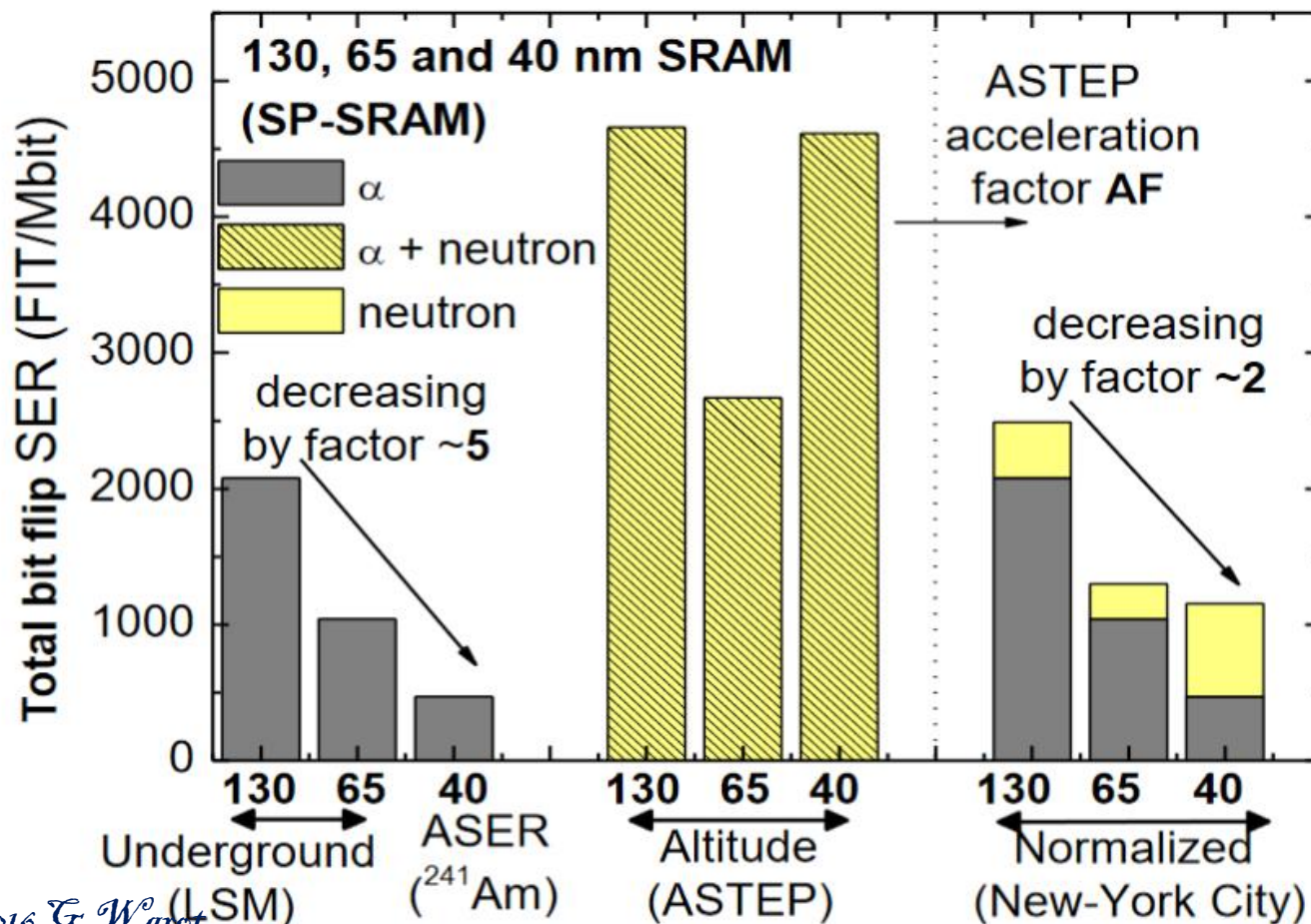
Altitude measurements :  
contribution of neutrons  
+ alpha emitters



Underground  
measurements :  
contribution of alpha  
emitters only

# Mesure directe de la contamination

## Synthèse : 8 années de tests temps réel

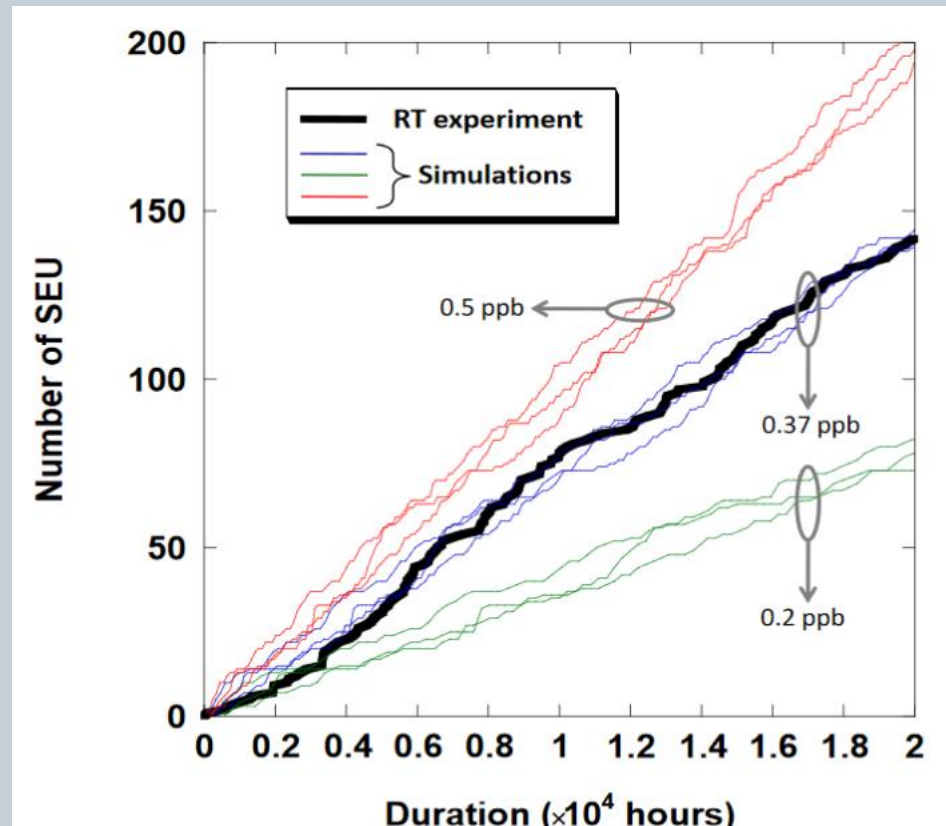
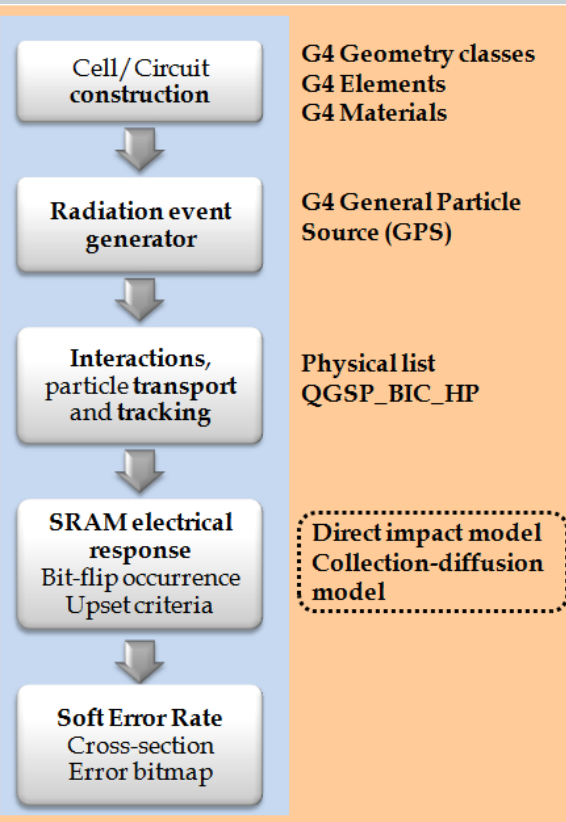


# Simulation des mémoires

→ Complete Monte Carlo simulation  
(TIARA-G4 code)

20000 h d'acquisition à Modane

Évaluation de la contamination à 0,37 ppb U 238



# Mesure directe de la contamination



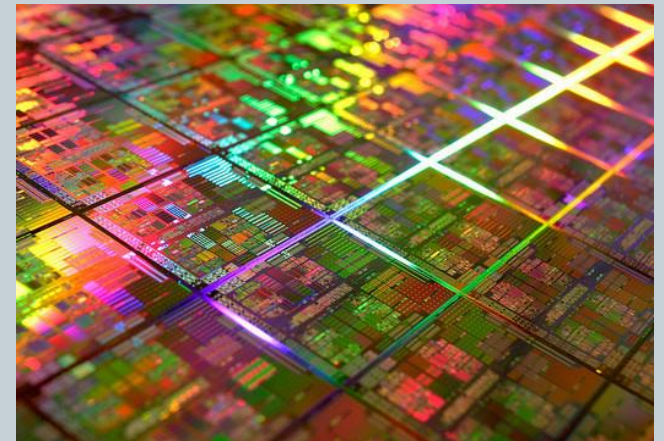
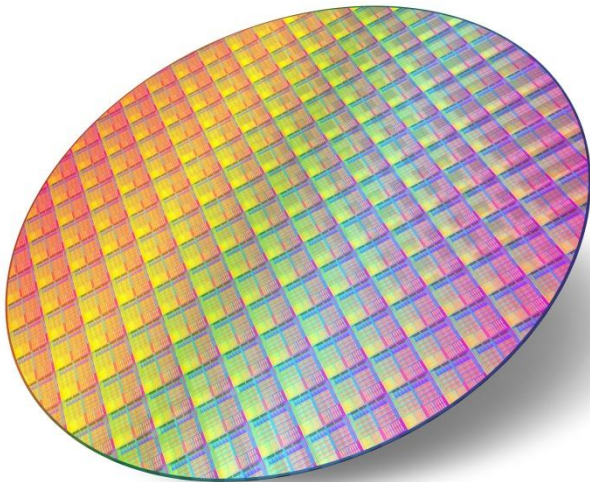
- Les résultats de la simulation permettent d'utiliser des mesures de contamination pour prédire le SER  
**Vapor Phase Decomposition (VPD) coupled with Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICPMS)**  
**Alpha-particle ultra low background counter (alpha-particle emissivity)**



# Mesure de couche mince



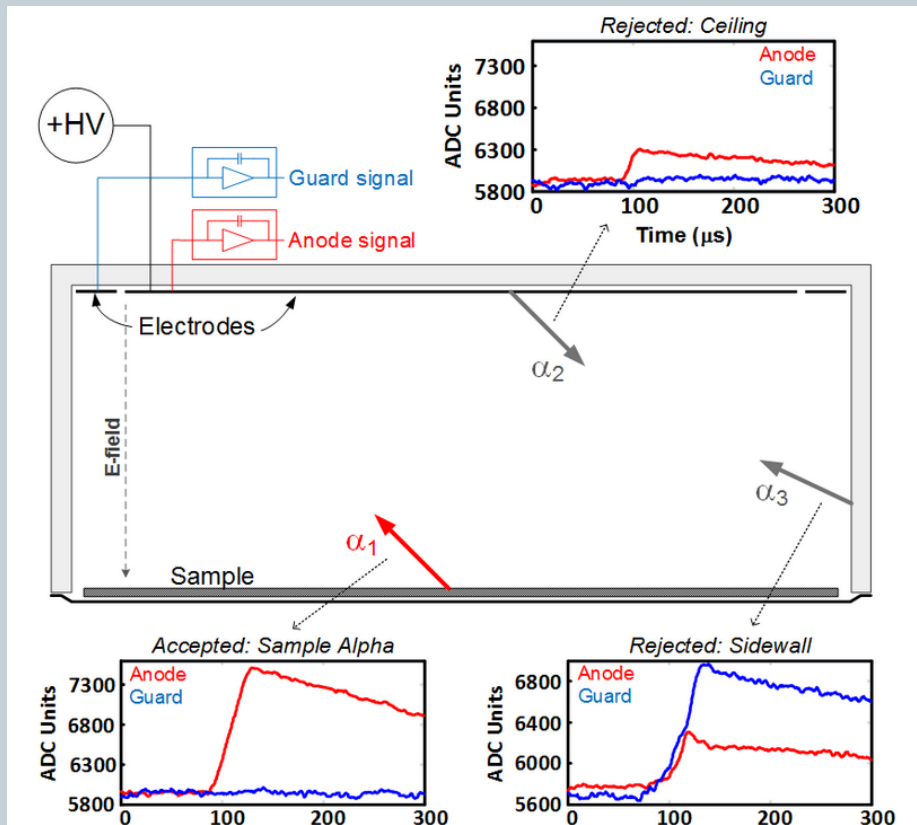
- L'électronique est gravée et déposée en couche successive  $\sim \mu\text{m}$
- Produit final et étape intermédiaire sont de bons candidats pour des mesures alpha



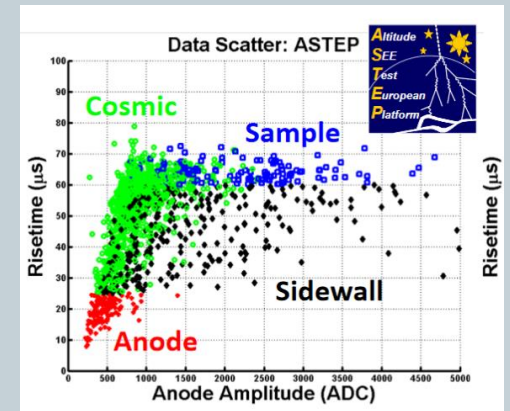
# Mesures alpha



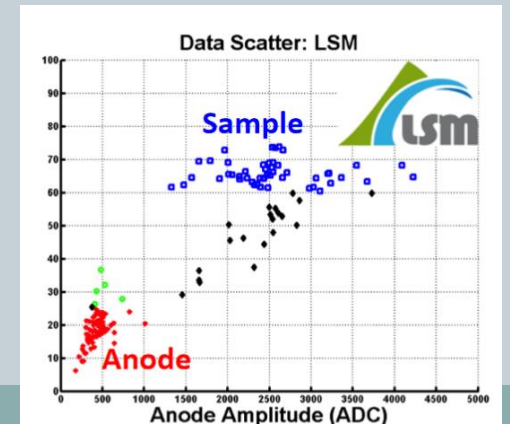
Compteur alpha avec un rejet du bruit de fond pour wafer 450 mm



Acquisition en altitude



Acquisition au LSM => reduction par 6 du temps de mesure



# Mesures gamma

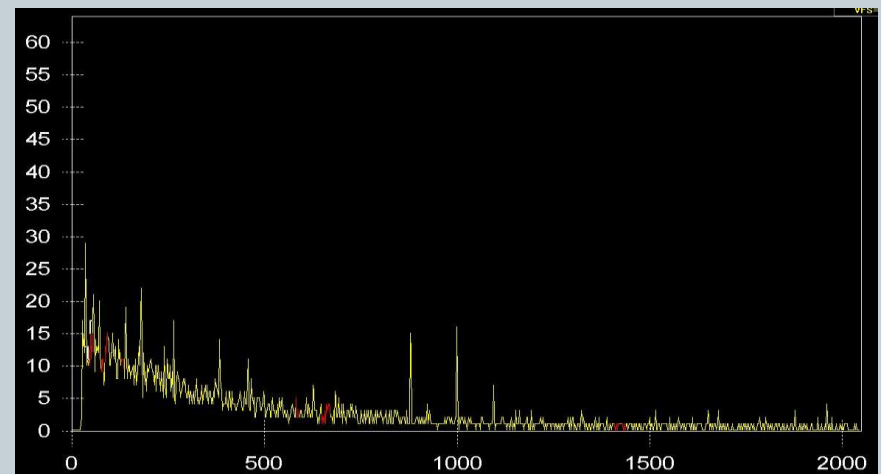


Connaissance de la radioactivité à très faible niveau à Modane	Possibilité de mesure de radioactivité à faible niveau sur détecteurs germaniums
Simulation geant 4 des alphas émis par la pièce	Mesure des radioéléments avec une activité en becquerel

Chain parent	Sub-chain parent	Activity or MDA ( $10^{-6}$ Bq/g)	Alpha emitted ( $\alpha/h.cm^2$ ) $10^{-3}$
$^{232}\text{Th}$	$^{228}\text{Ra}$	$< 12$	0
	$^{228}\text{Th}$	$5 \pm 1$	$0.17 \pm 0.01$
$^{238}\text{U}$	$^{234}\text{Th}$	$14.3 \pm 3.4$	$0.035 \pm 0.008$
	$^{226}\text{Ra}$	$8.9 \pm 2.5$	$0.20 \pm 0.06$
	$^{210}\text{Pb}$	$35.5 \pm 7.6$	$0.16 \pm 0.03$

- Mesure globale :  
 $1.20 \pm 0.06 \pm 0.05$
- Comptage iRoC ( $2.4 \pm 0.5$ )
- Différence expliquée

Spectre gamma typique



# Conclusion



- Projet d'une plateforme de mesure de la radioactivité à destination de la communauté de la  $\mu$ -électronique
- Caractérisation de matériaux en spectrométrie alpha et gamma
- Simulation fiable de l'influence des alpha sur les SER
- Installation de test disponible pour l'industrie et la recherche

# Bibliographie



Autran et al. Int. Reliab. Phys. Symp(2012)

Autran et al. Microelec Reliab 50, 1822–1831(2010)

Autran et al. IEEE REDW (2014)

Dwyer McNally, IEEE SER Workshop (2011)

## Contact:

Jean-Luc Autran

Aix-Marseille University & CNRS, IM2NP, UMR 7334

[jean-luc.autran@univ-amu.fr](mailto:jean-luc.autran@univ-amu.fr)

[www.astep.eu](http://www.astep.eu)



## **GDR CNRS 33469 ERRATA**

Effets des **R**adiations sur l'**E**lectronique aux  
niveaux **A**tmosphérique et **T**errestre

<http://www.gdr-errata.fr/>

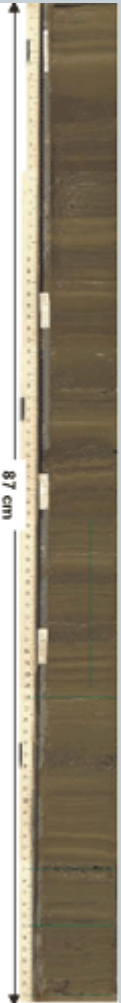
# Mesures environnementales



# Principe de la mesure



- Prélèvement de carotte de sédiments
- Mise en échantillons d'épaisseurs fixes de la carotte (intervalles en  $z$  connus)
- Mesures de ces échantillons par spectrométrie gamma pour datation de la carotte
- Corrélation de l'axe  $z$  et de la date (résolution à 6 mois)
- Méthode d'analyse moderne sur les échantillons du passé

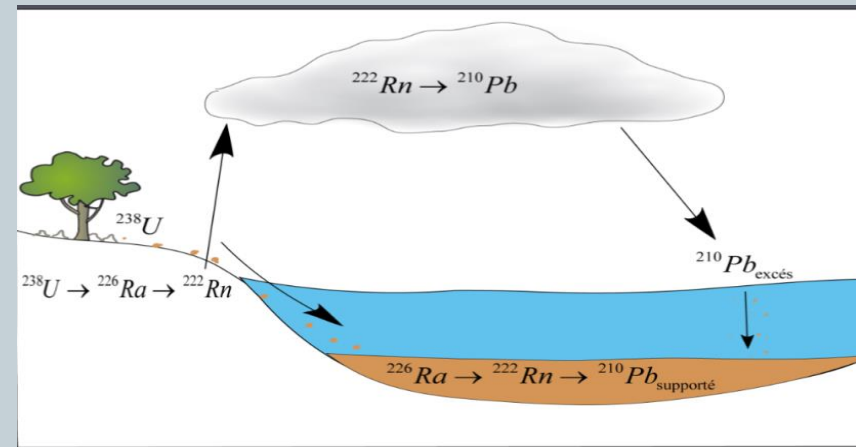


# Calcul de datation



- Famille radioactive naturelle

Element	<sup>238</sup> U decay series	
Uranium	<sup>238</sup> U 4.47x10 <sup>9</sup> y	<sup>234</sup> U 24.66x10 <sup>4</sup> y
Protactinium	↓	<sup>234</sup> Pa 1.18 mn
Thorium	<sup>234</sup> Th 24.1 d	<sup>230</sup> Th 75.4x10 <sup>3</sup> y
Actinium		↓
Radium		<sup>226</sup> Ra 1600 y
Francium		↓
Radon		<sup>222</sup> Rn 3.82 d
Astatine		↓
Polonium	<sup>218</sup> Po 3.1 m	<sup>214</sup> Po 164 μs
Bismuth	↓	<sup>214</sup> Bi 19.9 m
Lead	<sup>214</sup> Pb 26.8 m	<sup>210</sup> Pb 22.2 yrs
Thallium		<sup>210</sup> Pb 138.4 d
		<sup>206</sup> Pb stable



$$(^{210}\text{Pb})_{\text{ex}}^t = (^{210}\text{Pb})_{\text{ex}}^0 \times e^{-\lambda t}$$

$$\ln(^{210}\text{Pb})_{\text{ex}}^t = -\lambda \frac{Z}{V} + \ln(^{210}\text{Pb})_{\text{ex}}^0$$

V en cm/an => durée, date donnée par le zéro de la carotte



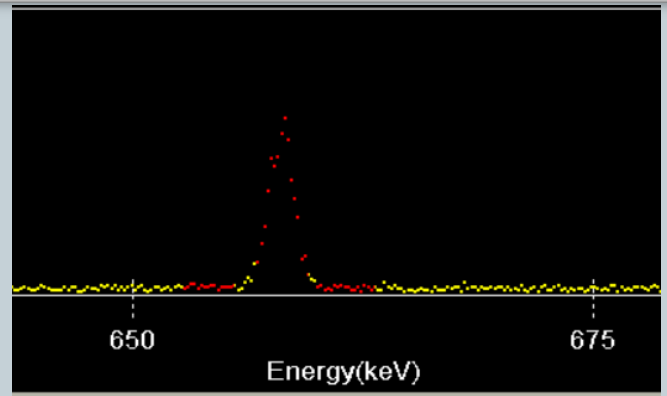
- [illegible]

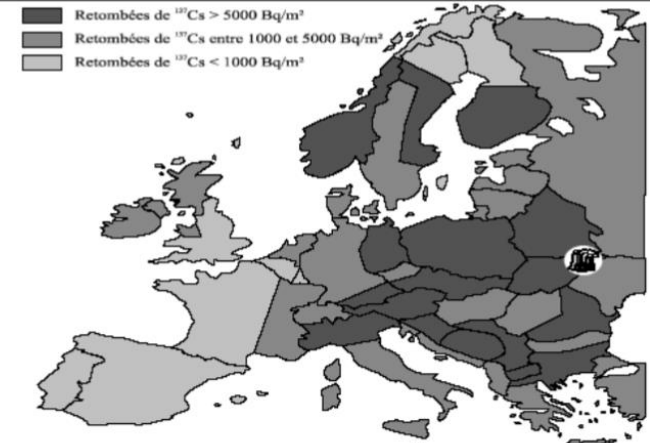
# 1963 essais atmosphériques

A large, glowing orange and yellow mushroom cloud from a nuclear explosion, viewed from a low angle over a dark, flat landscape. The cloud has a thick, dark stem rising from the ground, topped by a bright, glowing fireball that has expanded into a large, flat, disc-like shape. The surrounding landscape is dark and appears to be a desert or coastal area with some low-lying vegetation. The sky is dark, and the overall scene is dramatic and powerful.

# 1986 Tchernobyl

An aerial photograph of the Tchernobyl nuclear power plant site. The image shows the damaged reactor building, which is partially collapsed and surrounded by debris. A large, white, cylindrical containment structure is visible next to the damaged building. The surrounding area is a mix of industrial structures and open land. The text '1986 Tchernobyl' is overlaid in the top left corner.

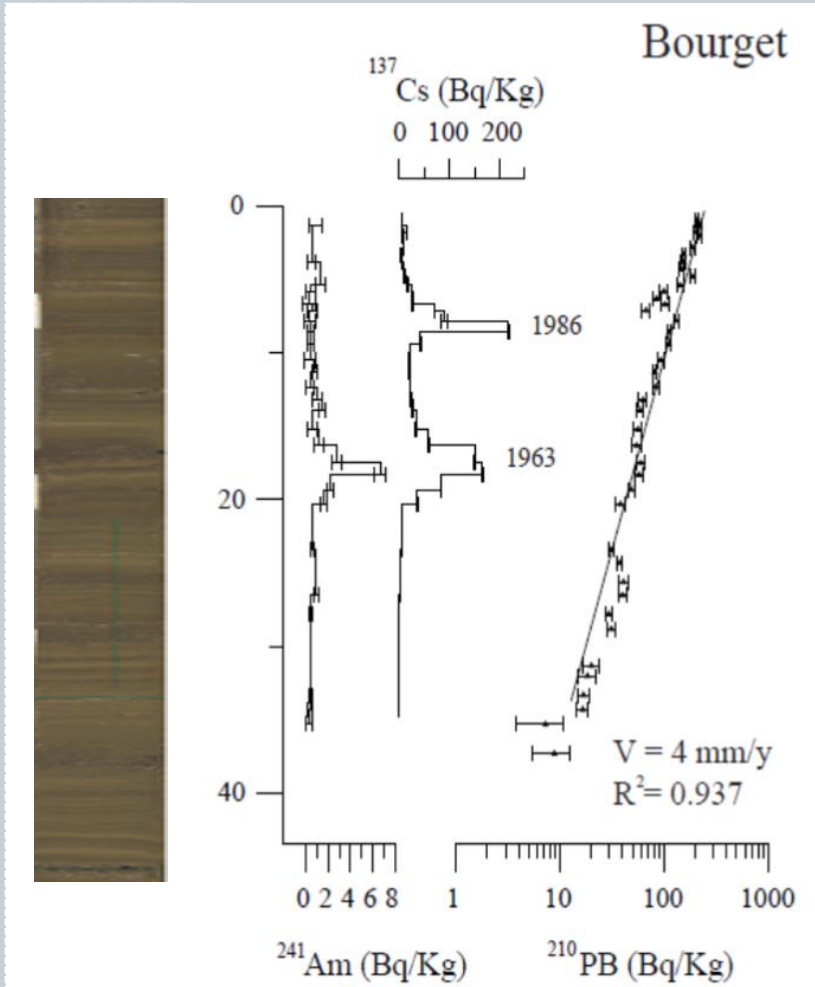




### Répartition mondiale des retombées de strontium 90 en fonction de la latitude

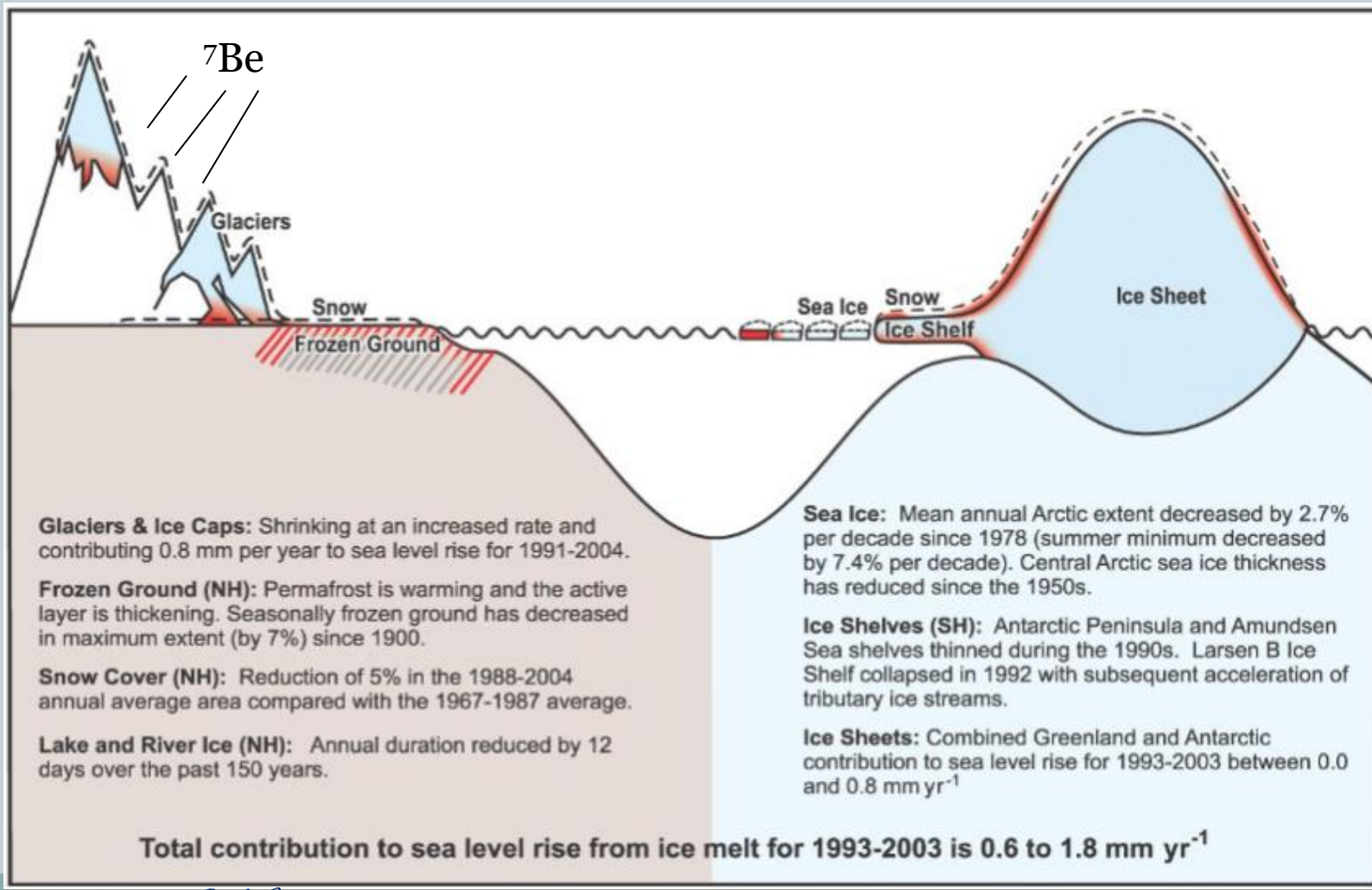


# Etudes de la pollution des lacs



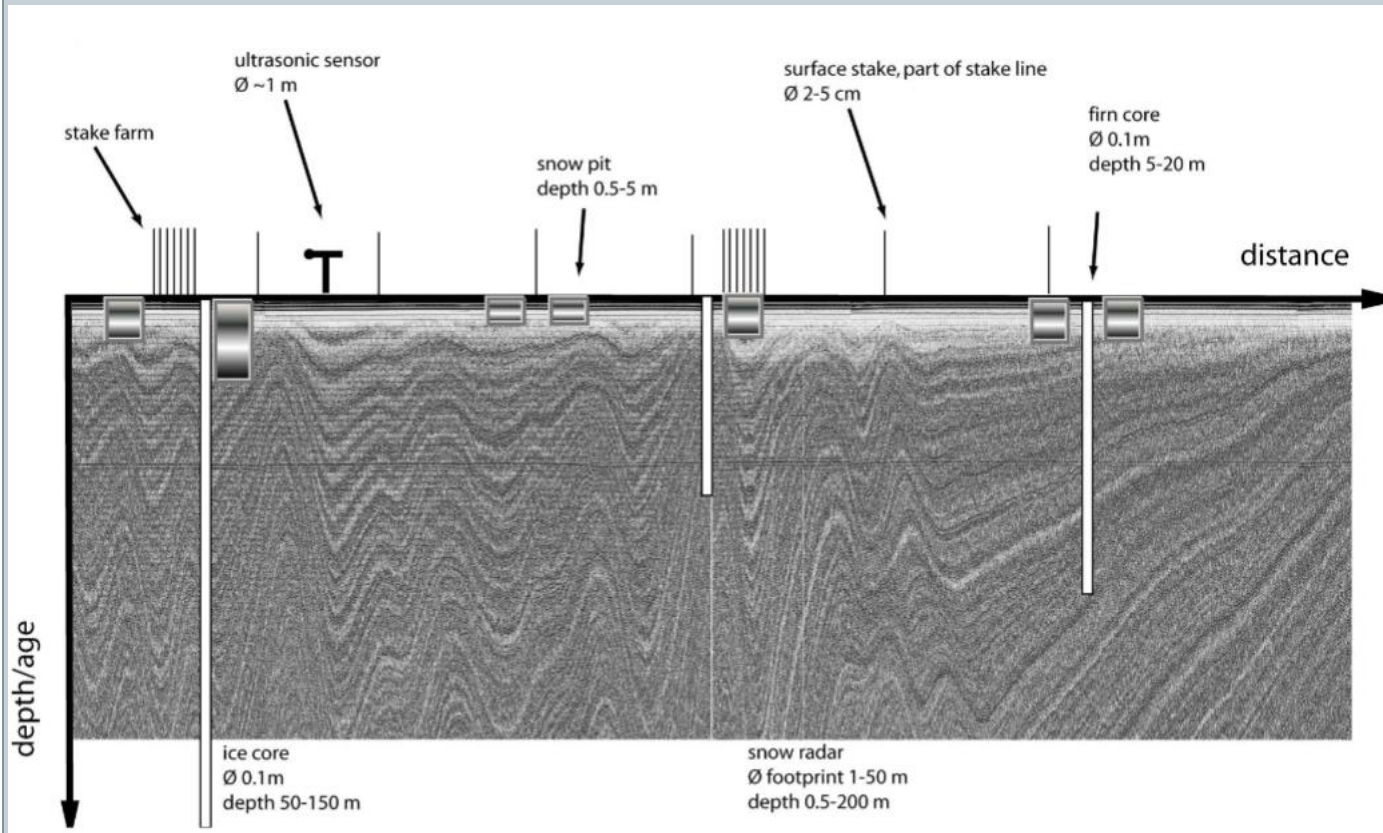
- Exemple d'une carotte à sédimentation constante
- Décroissance linéaire du plomb
- Cohérence des dates absolues avec le taux de sédimentation
- Carotte disponible pour les analyses supplémentaires

# Étude du climat

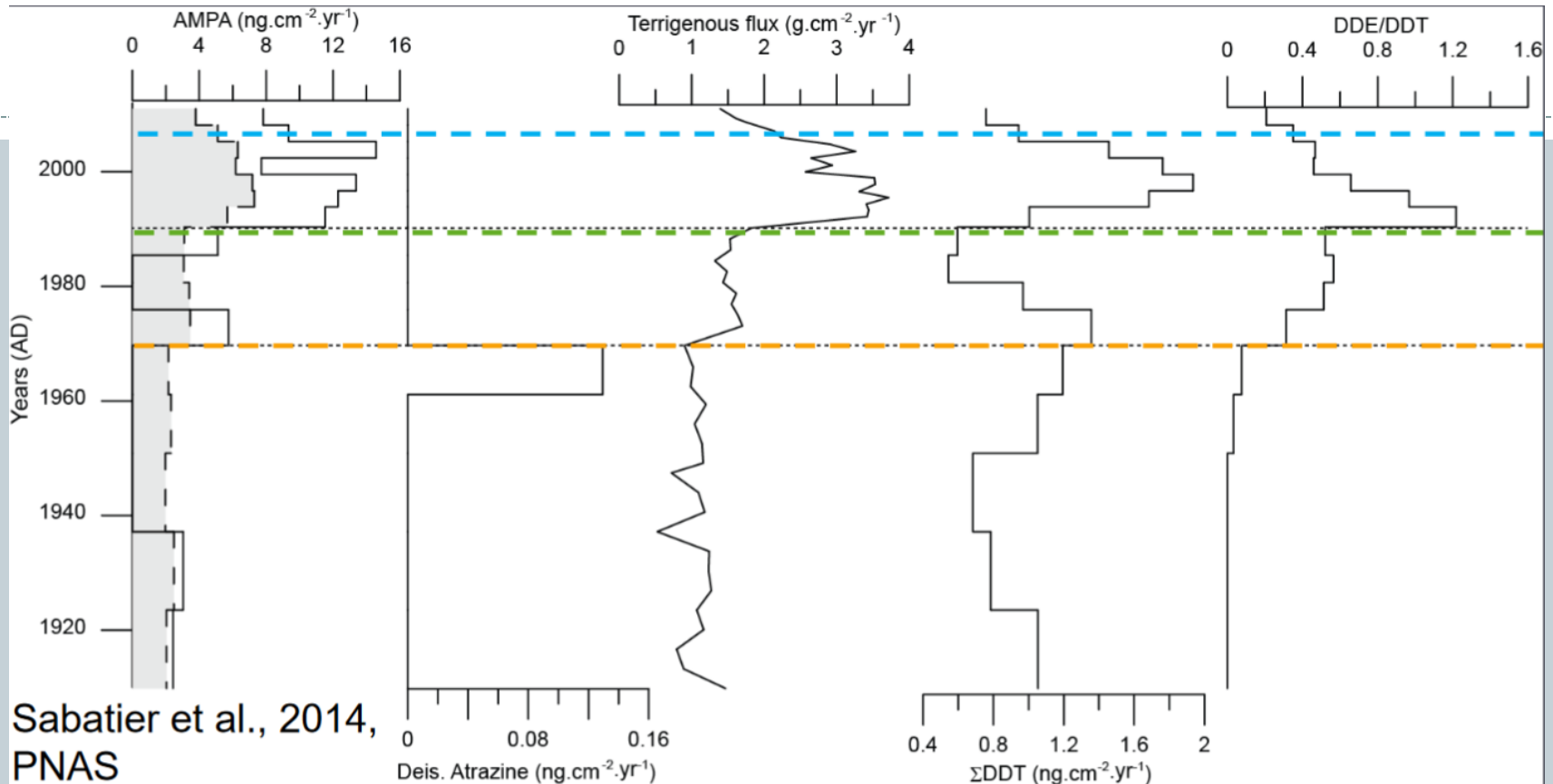


# Étude du climat via antarctique

- Calibration du radar à neige



# Cas plus complexe

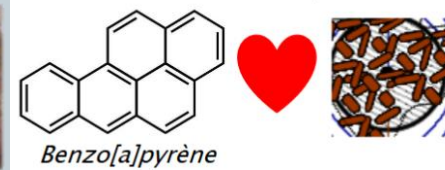
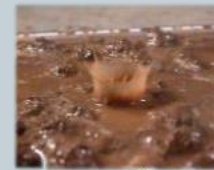


- Début des années 70, forte mécanisation de la vigne + premier herbicide (Atrazine)  
Augmentation de l'érosion et des apports terrigène dans le lac
- Début des années 90, forte utilisation des herbicides (Glyphosate, Roundup)  
Renforcement de l'érosion, ré-émergence de pesticides interdits (DDT)
- Depuis 2007, enherbement des parcelles, diminution des phytosanitaires  
Diminution de l'érosion et de l'enregistrement de phytosanitaire

# Problématique de l'érosion



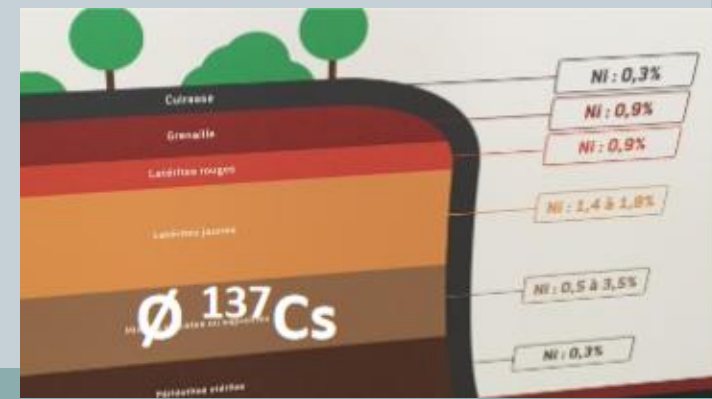
Relargage de polluants



# Mesure des contributions



- Sédiments dans les bassins miniers en Nouvelle-calédonie
  - Contribution minière
  - Contribution naturelle
  - Quantification du mélange
  - Analyse de carottes pour vérifier la stabilité dans le temps

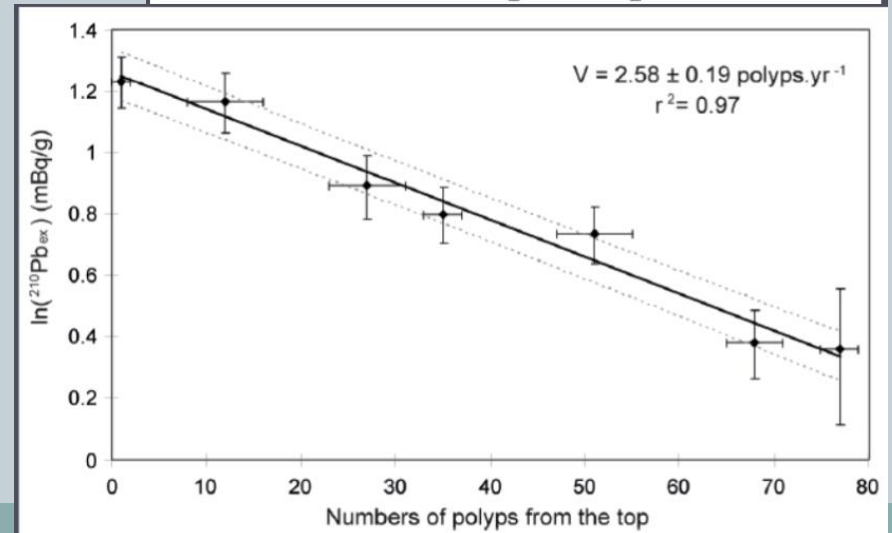
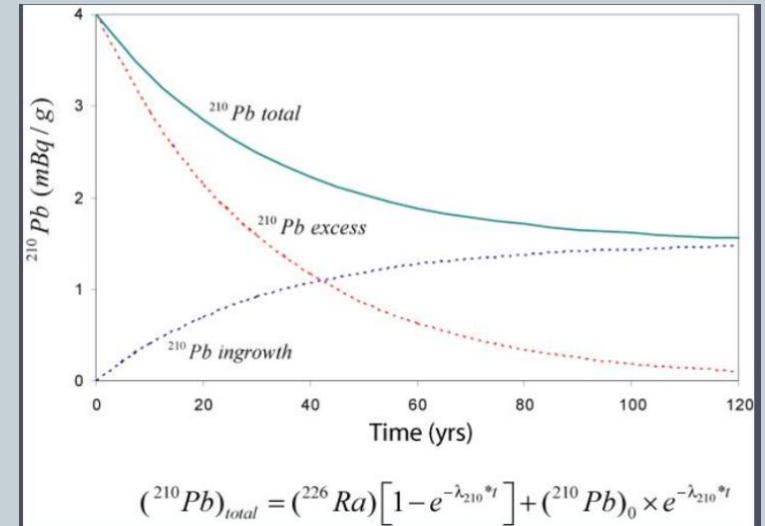
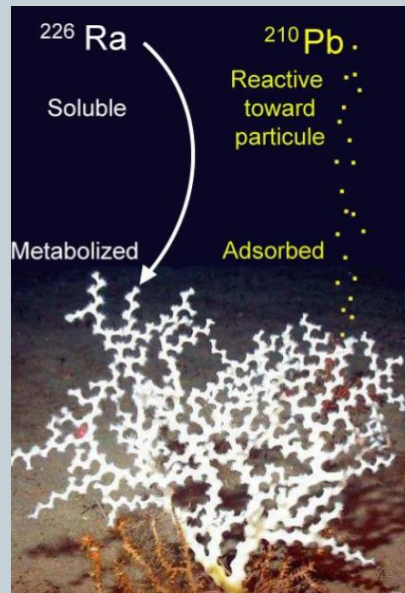


# Datations de coraux



Pollution des océans

Sabatier et al, 2012  
Biogéoscience



# Conclusion



- Mesure de nombreux échantillons nécessaire
- Disponibilité d'archives sédimentaire, glacières et biologique sur des endroit non instrumentés
- Données permettent de comprendre les phénomènes géographiques et climatiques
- Prédiction des modèles climatiques à partir de ces données d'entrée

# Bibliographie



- [pierre.sabatier@univ-savoie.fr](mailto:pierre.sabatier@univ-savoie.fr)



- [Olivier.Evrard@lsce.ipsl.fr](mailto:Olivier.Evrard@lsce.ipsl.fr)



Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement

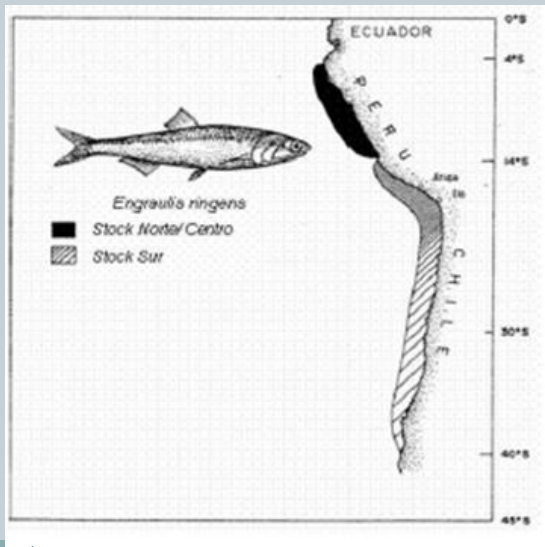
- [magand@lgge.obs.ujf-grenoble.fr](mailto:magand@lgge.obs.ujf-grenoble.fr)

# Applications de la spectrométrie gamma

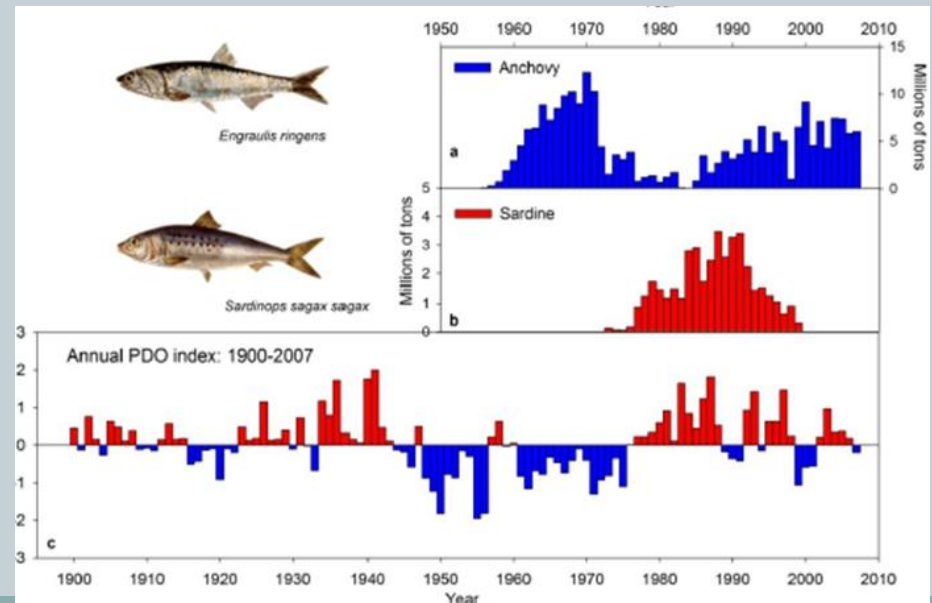




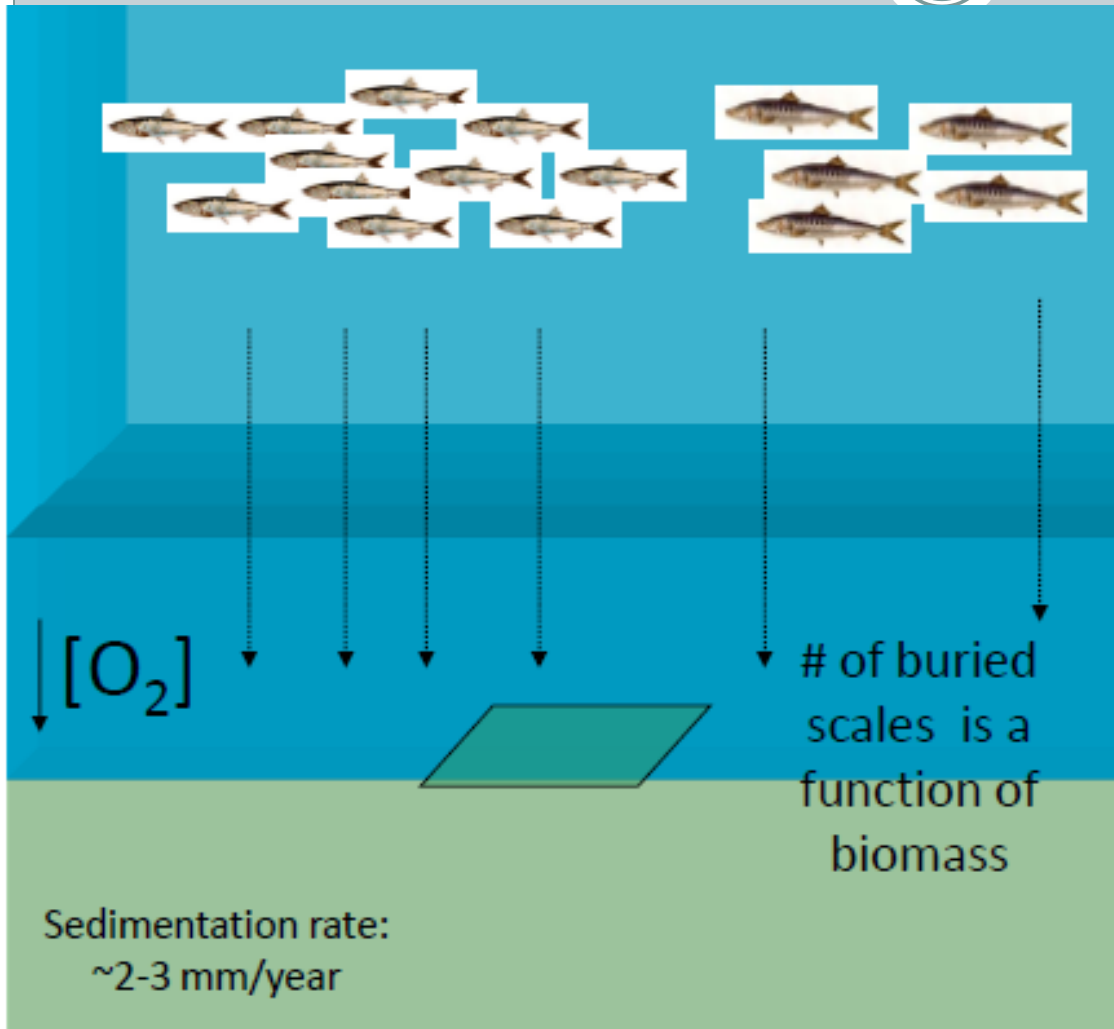
- L'écosystème du courant de Humboldt en particulier au large du Pérou produit 10 % de la ressource halieutique mondiale surtout des anchois
- Alternance de annuelle et decennal de la population de sardine et d'anchois



Variation relative des sardines/ anchois

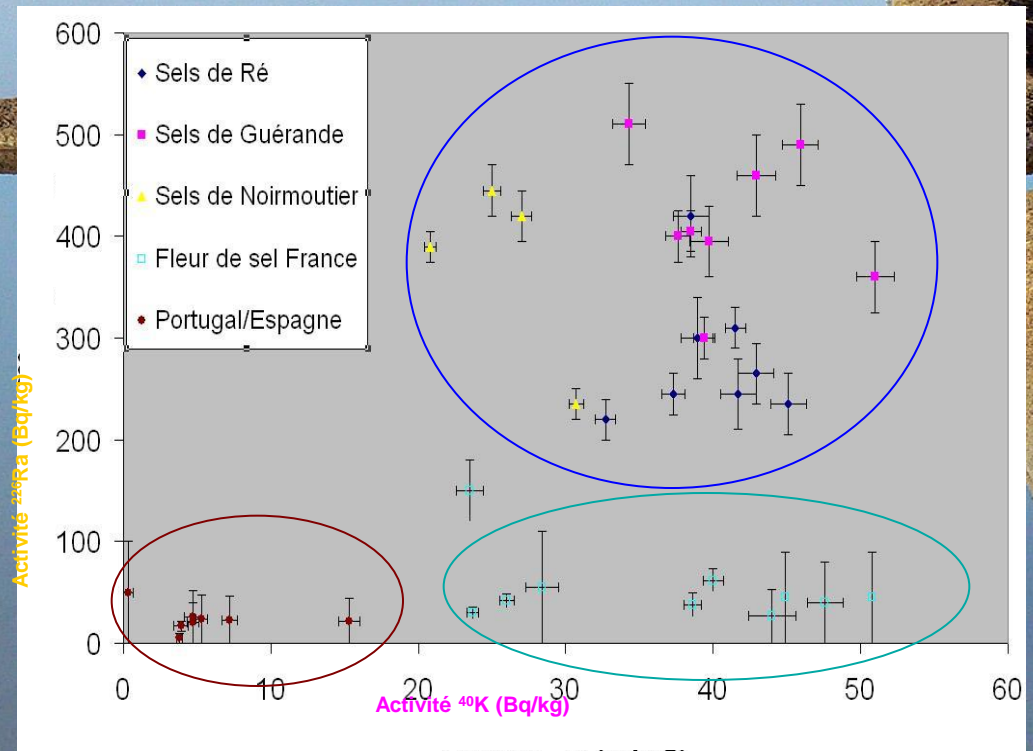


# Surveillance de la pêche



- Étude de carotte sédimentaires
- Quel est le lien avec les changements climatiques ?
- Quelles sera la population dominante avec le réchauffement ?

# AOC du sel de mer



How to guarantee the origin of the salt ?



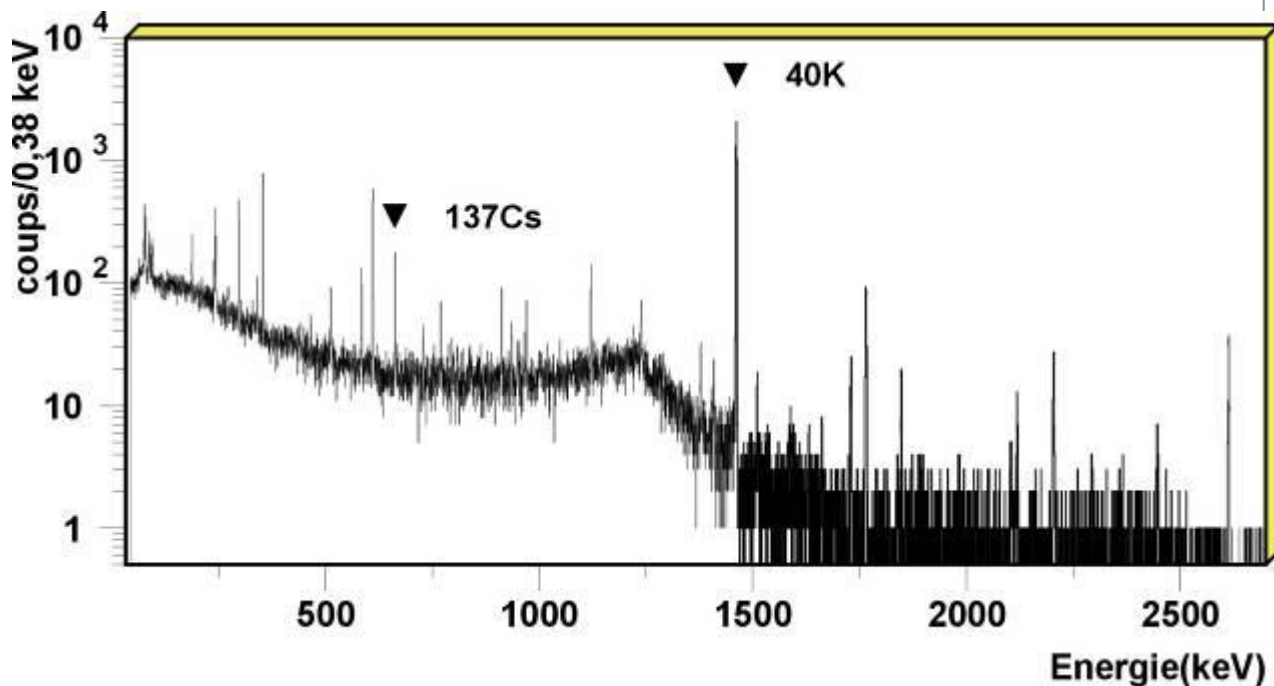
Mise en vente exceptionnelle  
pour l'an 2000



# Mesures non destructives

$^{137}\text{Cs} \rightarrow 661 \text{ keV}$  gamma line

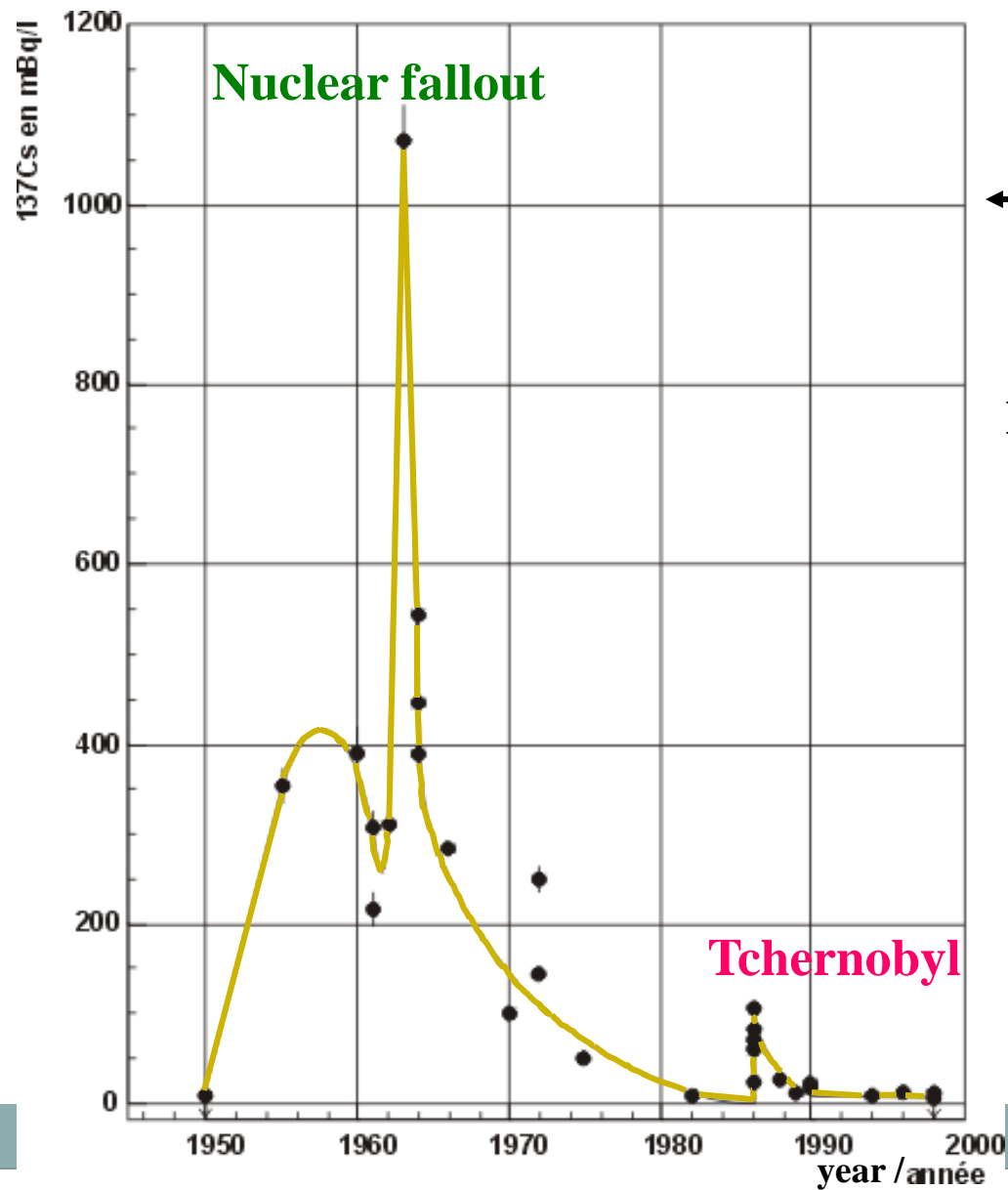
est très peu atténuée par le verre



No  $^{137}\text{Cs}$  in glass

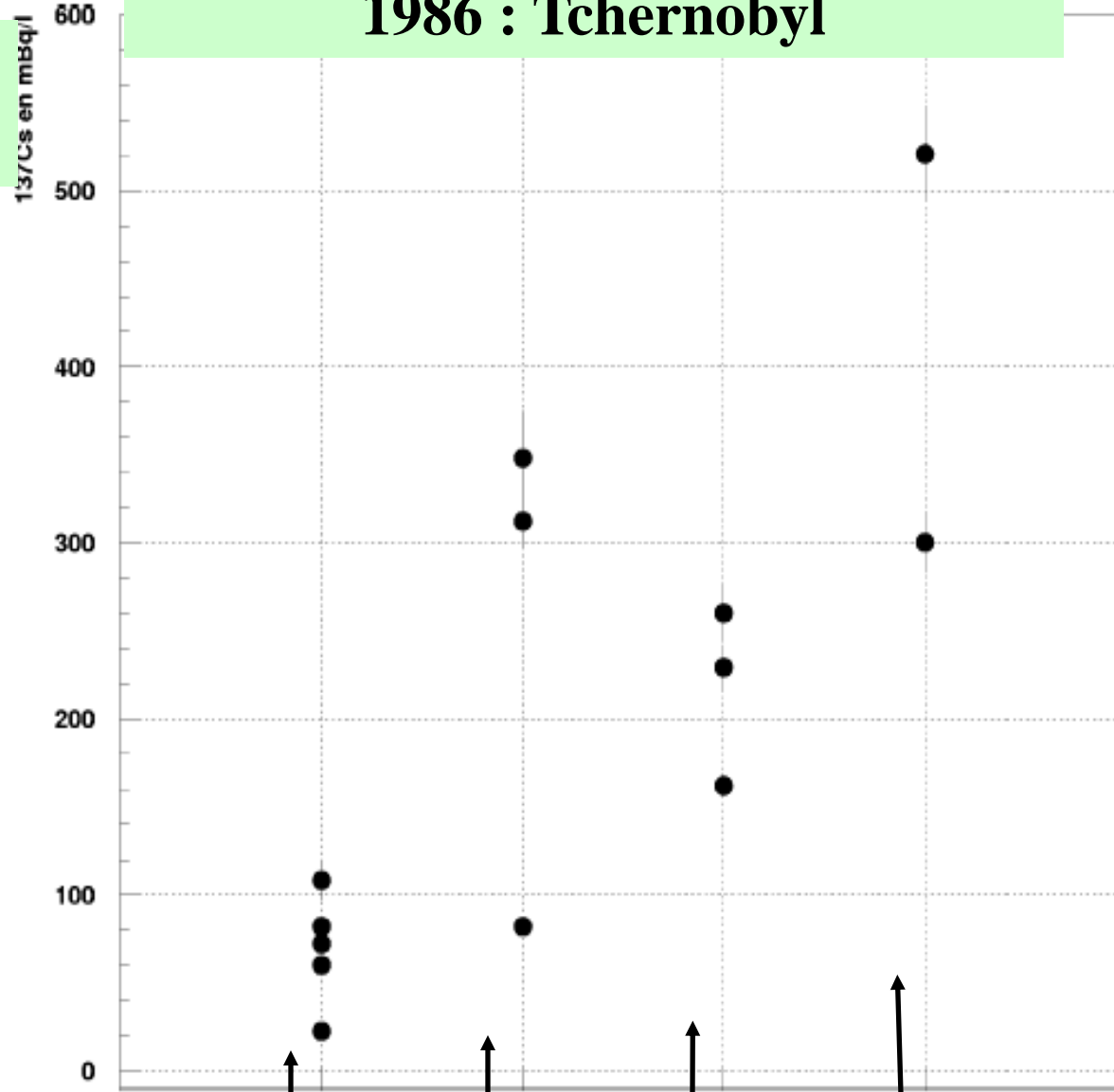
Only trace of  $^{137}\text{Cs}$  in corks

# $^{137}\text{Cs}$ Activity (mBq/l)



## 1986 : Tchernobyl

$^{137}\text{Cs}$  activity  
mBq/kg



Origin of wines →

Bordeaux

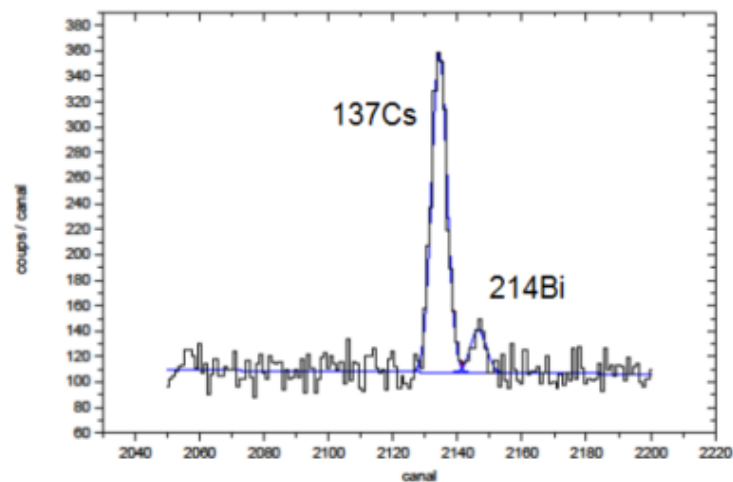
Rhone  
Burgundy

Alsace

Provence  
Corsica



Margaux  
1900 ?



Fitting Results

# Conclusion



- Reconstitution de l'histoire d'écosystèmes et prédiction de leur avenir
- Possibilité de tester le vin sans ouvrir la bouteille
- Identification possible des millésimes
- Technique transposable à d'autre millésimes
- A l'inspiration d'autres technique d'identification d'aoc

# Bibliographie



- [hubert@cenbg.in2p3.fr](mailto:hubert@cenbg.in2p3.fr)
- jean-louis.reyss@lsce.ipsl.fr

# Conclusion générale



- Laboratoire souterrain sont un lieu unique pour des expériences et pas seulement en physique des particule
- Rôle du physiciens des particules est avant tout la caractérisation du bruit de fond
- Recherche restant de petite taille mais avec des besoins humains importants
- De tous nouveaux champs de recherches s'ouvrent dans les environnements souterrains