

Recherche interdisciplinaires au LSM



Plus d'information sur 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 ~ 1 tonne => support

Horloge et relativité





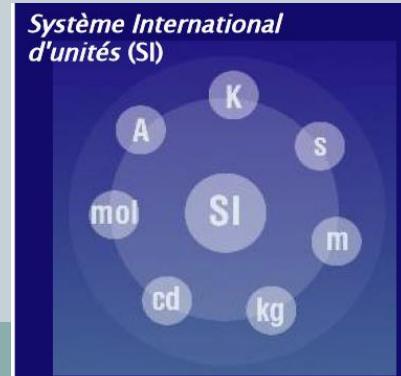
Horloge et relativité



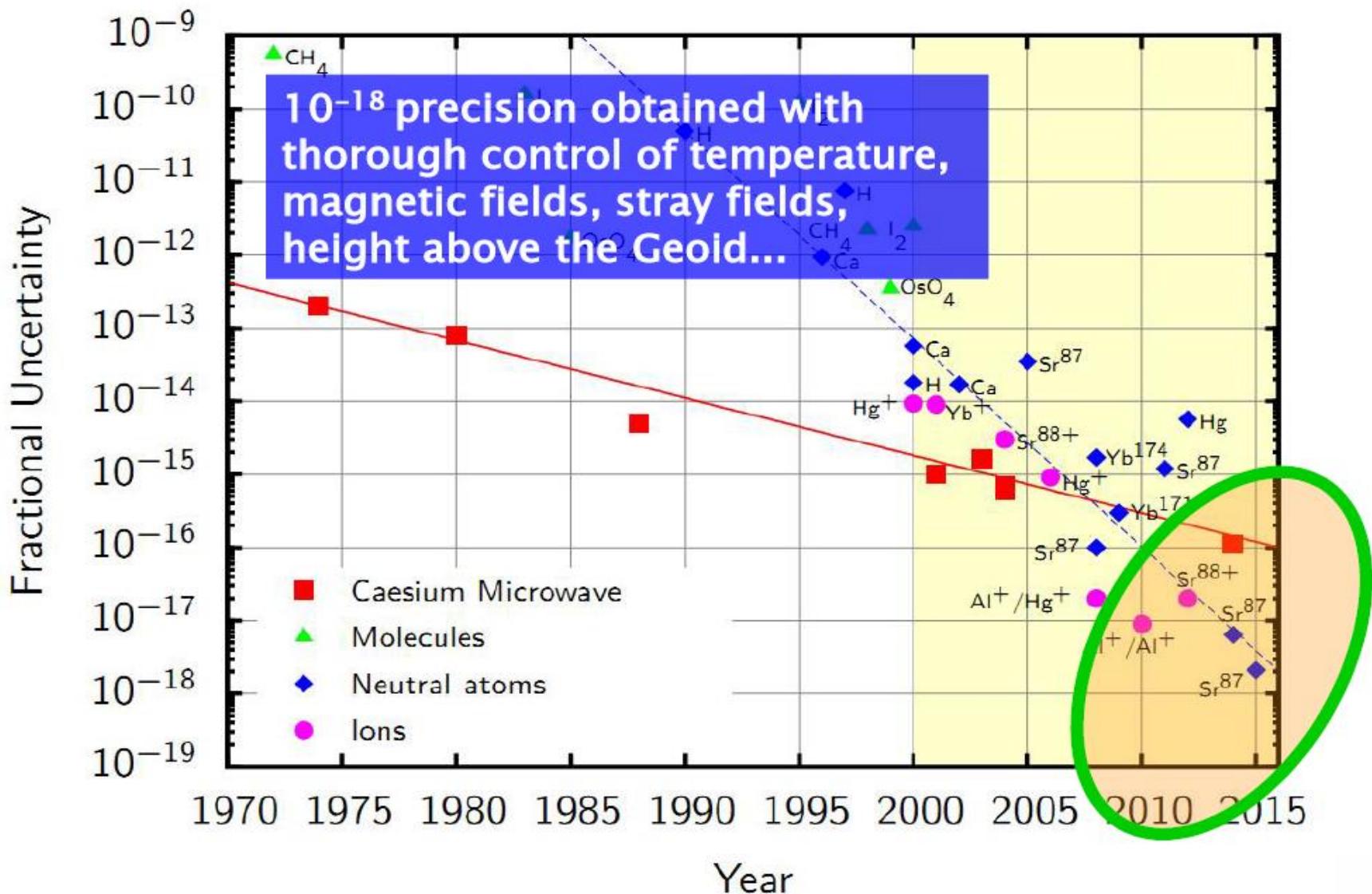
- Collaboration INRIM(Turin) - LSM
- Situation géographique spécifique du LSM
- Point d'entrée de la fibre optique « Renater »
- Altitude élevée (1200 m) du LSM

Expérience INRIM-LSM

- Institut de métrologie italien en charge de la définition de la seconde
- SI définit la seconde comme $v=9192631770$ 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



Réalisations actuelles



Décalage vers le rouge gravitationnel



- Les horloges sont soumises à la relativité générale
- 2 horloges placés à 2 endroit différent du puit de gravité subissent un décalage en fréquence

$$\frac{v_0 - v(\bar{r})}{v_0} = \frac{W(\bar{r}) - W_0}{c^2}$$

- Sur terre la formule se simplifie en :

$$\frac{v_0 - v(\bar{r})}{v_0} \approx \frac{g_0}{c^2} m^{-1} = 1.09 \times 10^{-16} m^{-1}$$

Mesure précise de la gravité

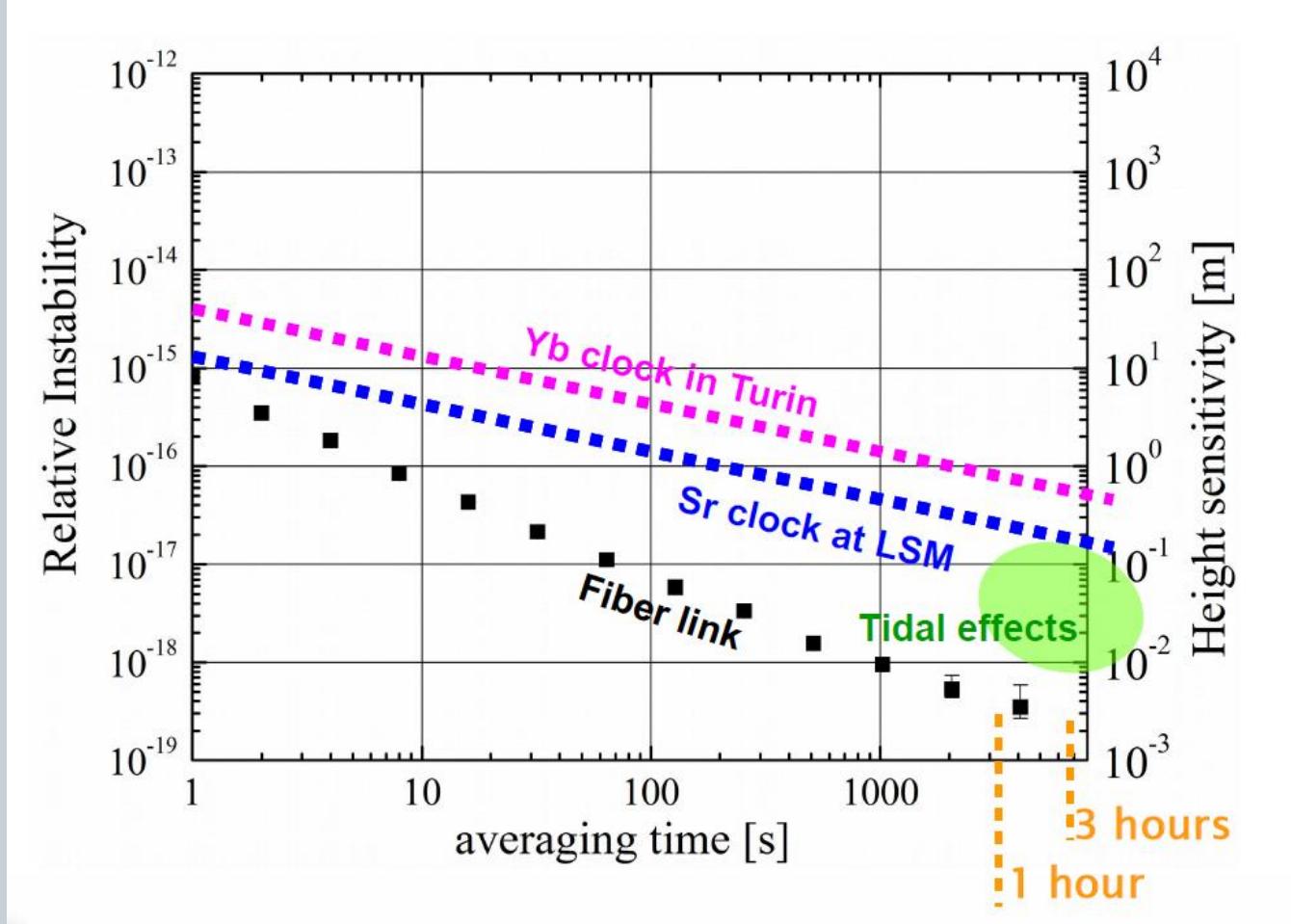


- Nécessité de faire une mesure précise du champs gravitationnel pour comparer précisément la fréquence de 2 horloges
- Mesure effectuée par une masse en chute libre

$$g = 9,8009540064 \text{ m/s}^{-2}$$



La géodésie relativiste



Conclusion

- 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



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

Salle de biologie souterraine

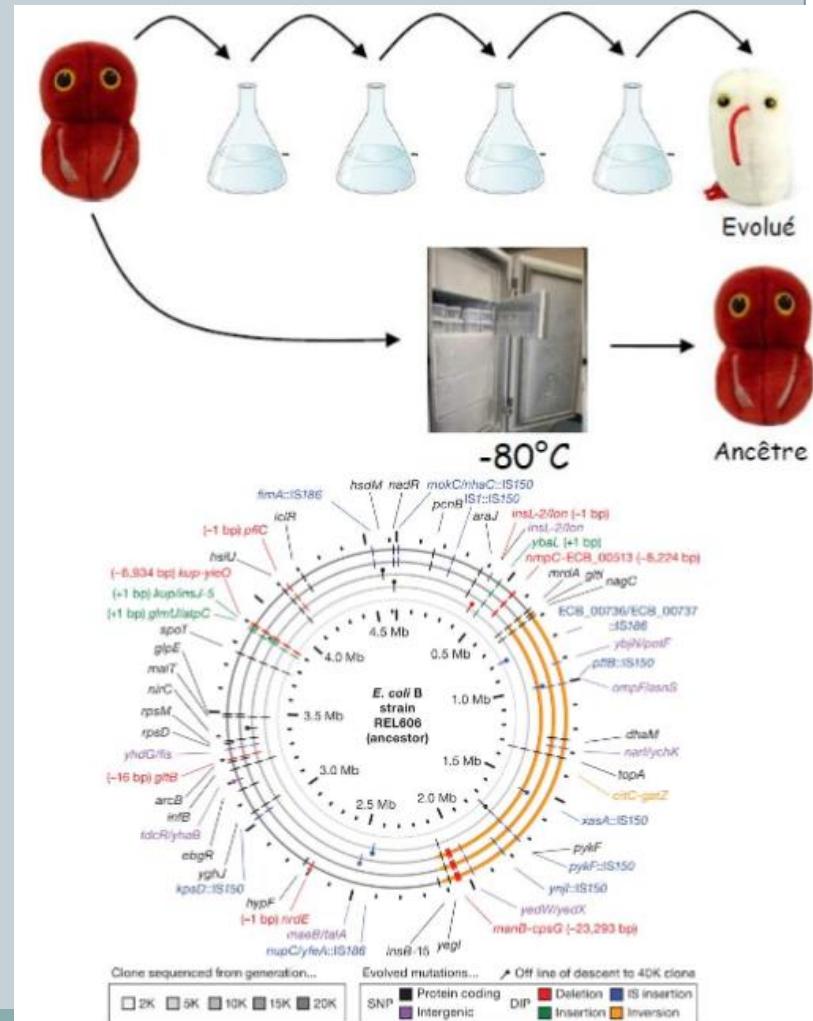


Source	Measurement Method	LPC Clermont (nGy/day)	Modane (nGy/day)	Modane (shielded) (nGy/day)
γ background	Dosimeter measurement (rate varied by 10%)	2400	480	15
Muon flux	From theory	460	0	0
Potassium-40 (γ)	Simulations based on concentration	0.4	0.4	0.4
Potassium-40 (β)	Simulations based on concentration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



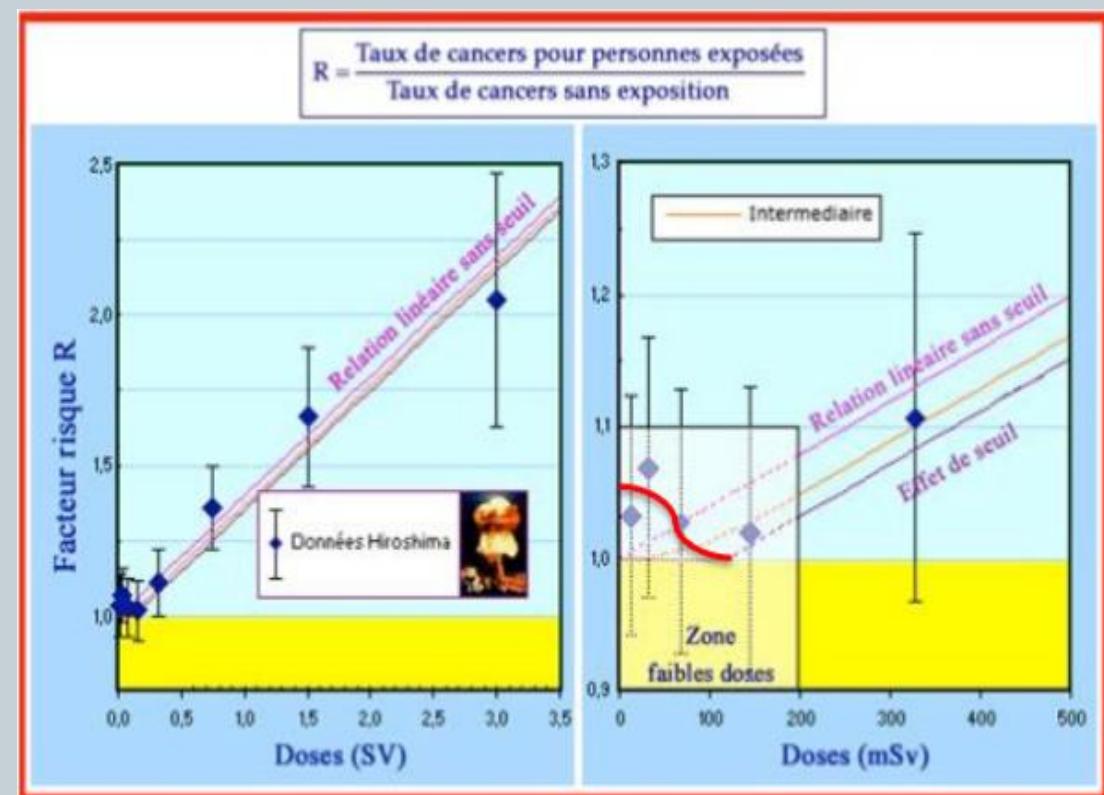
Evolution expérimentale

- 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



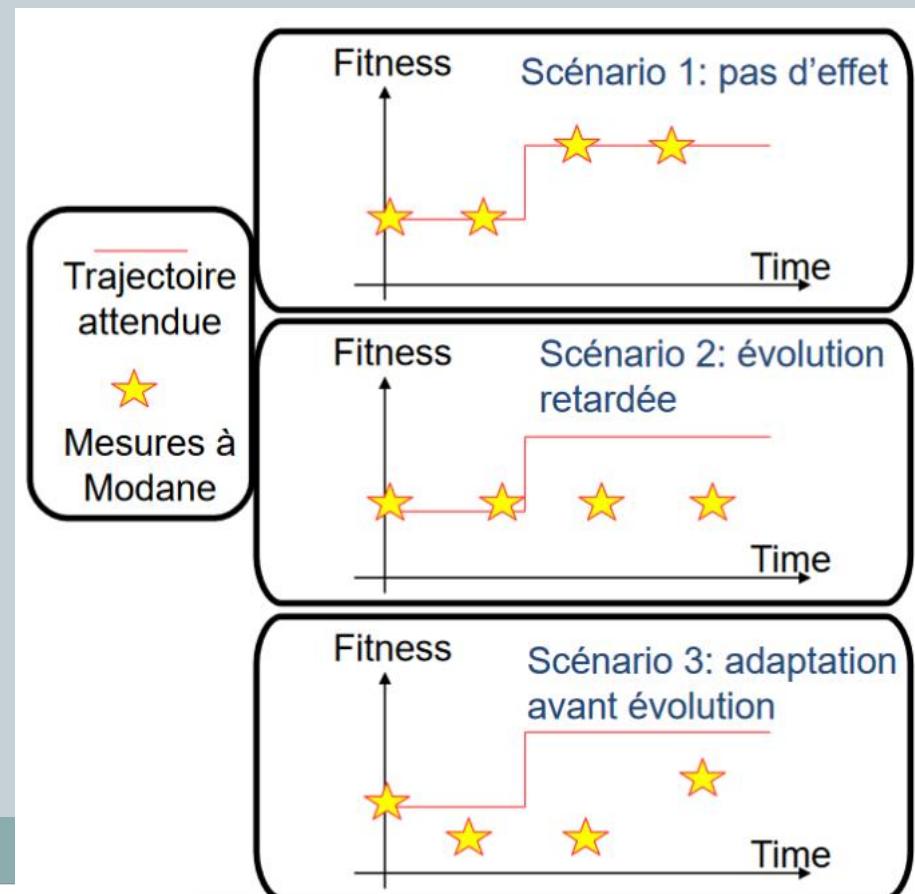
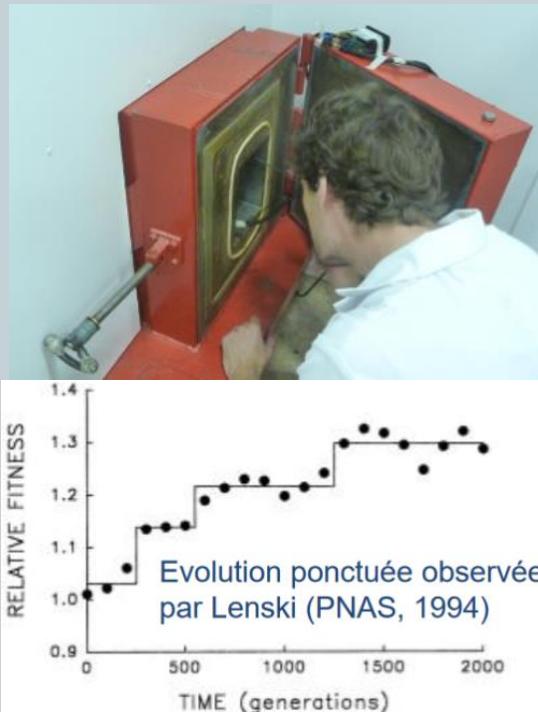
Influence de la dose

- Fort taux de radioactivité($\sim \text{Sv}$) implique des mutation déterministe
- Pour de faible dose 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



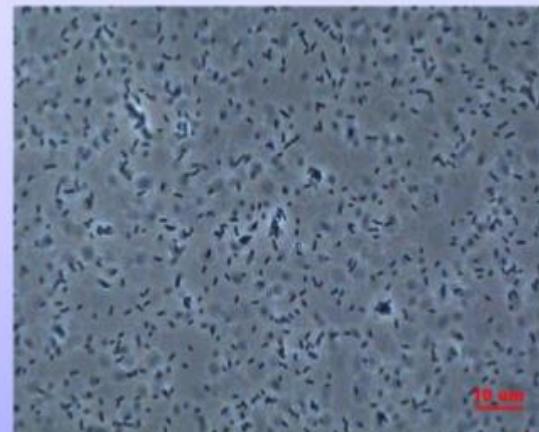
- Prédiction sur de longue périodes faites au moyen de Geant 4 DNA
- Mise au point de modèle de calculs des défauts créés sur l'ADN
- Modèle de leur propagation en cours de développement
- Adaptation de G4DNA à la région des faibles doses
- Reproduire les résultats des expériences effectuées au LSM et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

Nécessité d'une simulation multi-échelle

Echelle macroscopique

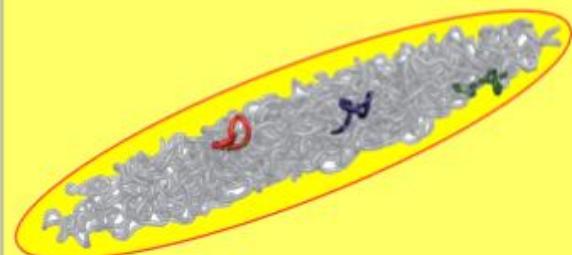


Echelle mésoscopique



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

Echelle microscopique



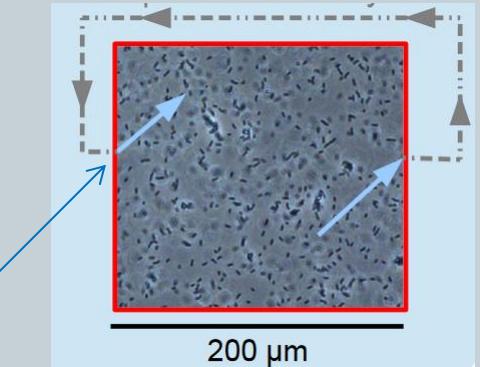
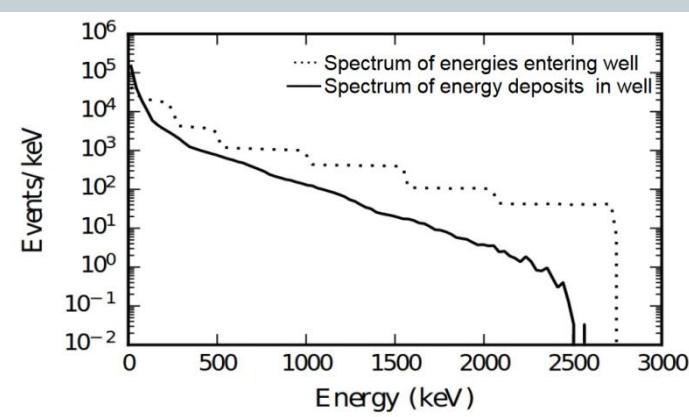
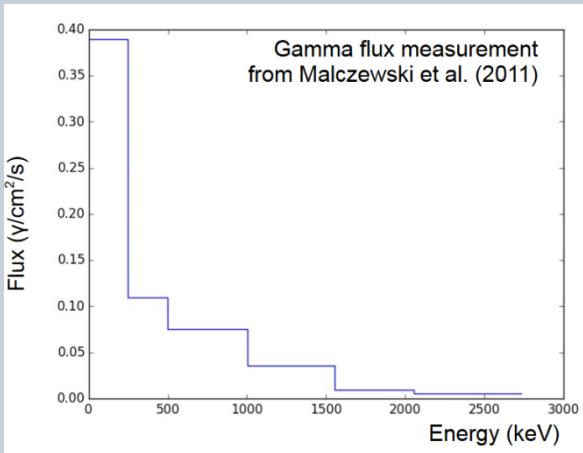
Entrée: spectre d'électrons secondaires
Sorties: spectre des électrons à l'entrée et dépôt d'énergie dans les cellules

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

Simulation multi-échelle



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



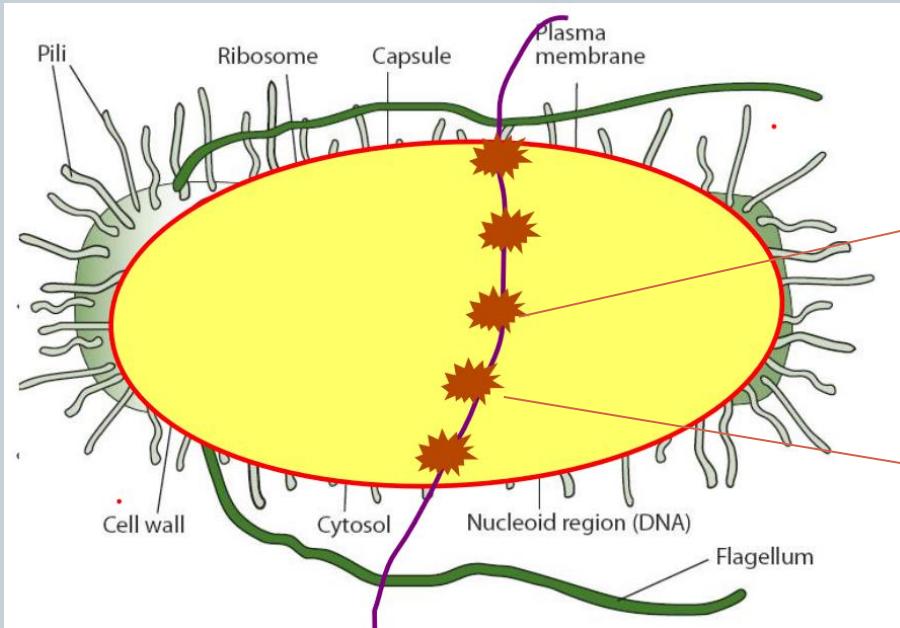
Densité bactéries :
 10^8 b/cm^{-3}

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

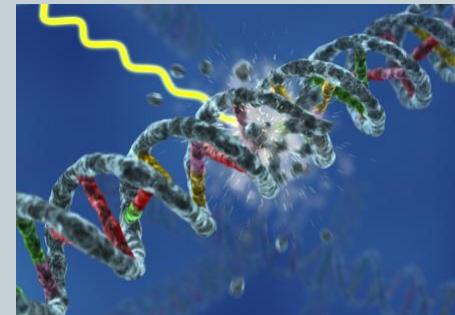
Simulation multiéchelle



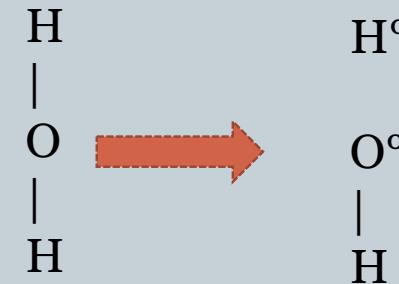
- De la simulation à l'échelle du cube on passe au dépôt d'énergie dans la bactérie



Cassure directe de l'ADN



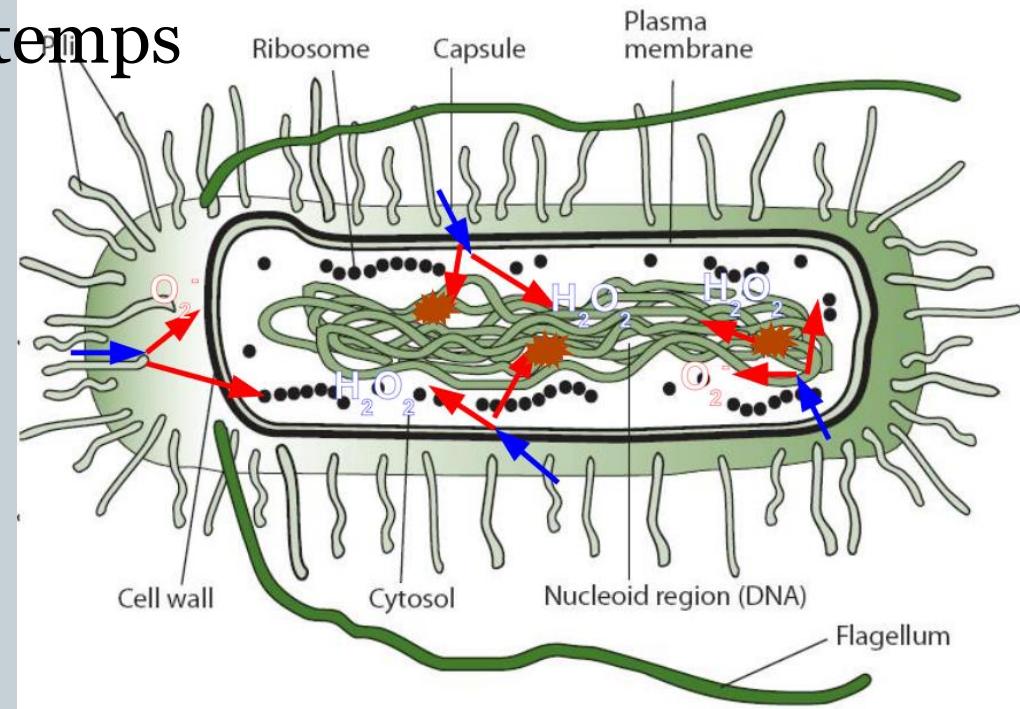
Radiolyse



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
- Lampe et al 2015

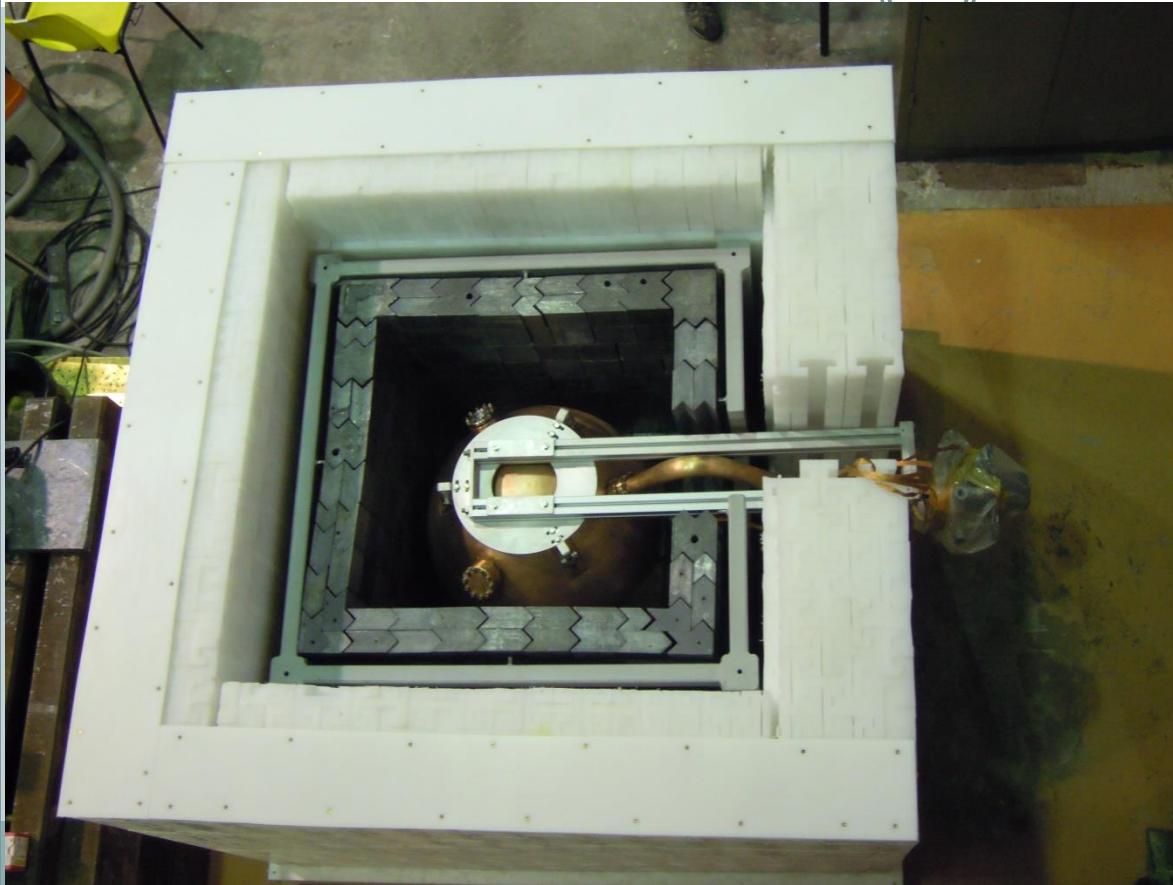
Vincent Breton

Vincent.breton@idgrille.fr

04 73 40 72 19

LPC Clermont Ferrand

Compteur proportionnel sphérique



Compteur proportionnel sphérique dans le monde



1^{er} détecteur sphérique
@ Saclay



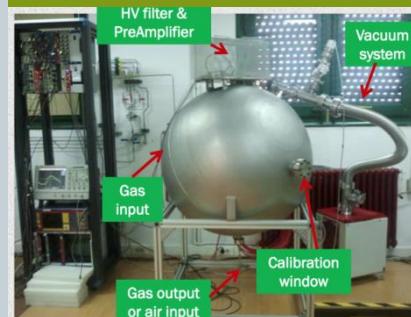
SEDINE, @ LSM



SPC,@
Thessalonique



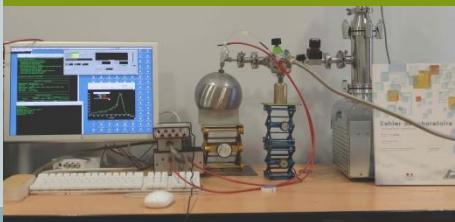
SPC,@ Saragosse



SPC,@ Pékin



Détecteur de
Neutrons @ LSM



École de gif 2016 G. Warot

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 Nobel
prix, (2008 visit @ Saclay)



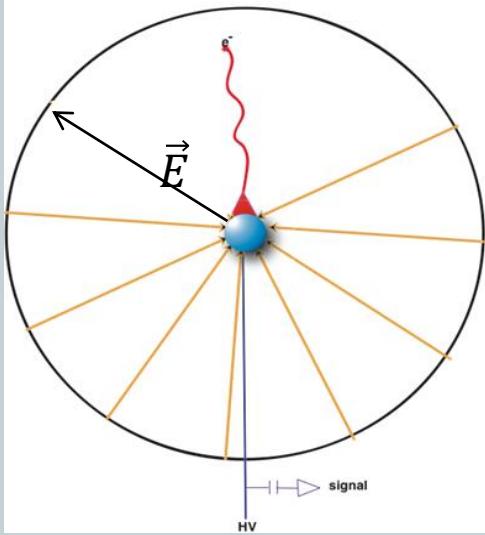
Art McDonald Physics Nobel prix, (2015 visit @
SNOLAB, NEWS Lab)

Principe de comptage

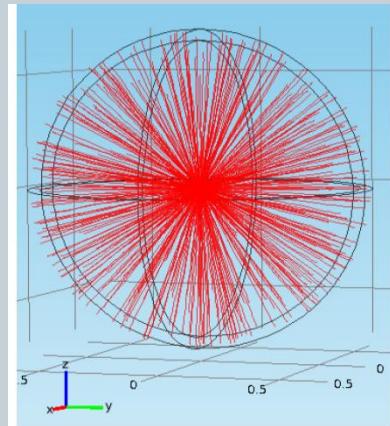
Champ électrique radial :
Enceinte sphérique à la
masse

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

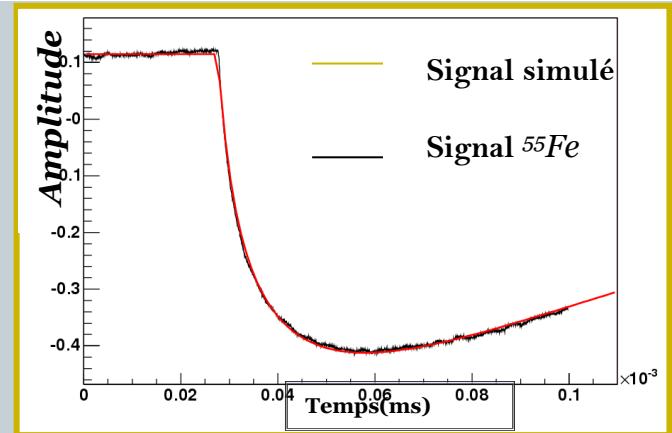
Rayon senseur = 1 - 8 mm



Cas idéal :
Simulation champ
électrique



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

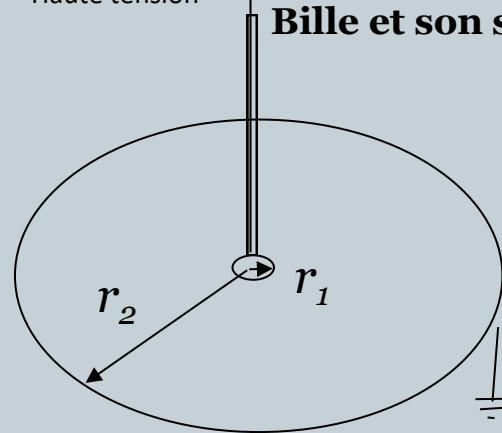


Caractéristiques principales

- 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

Haute tension

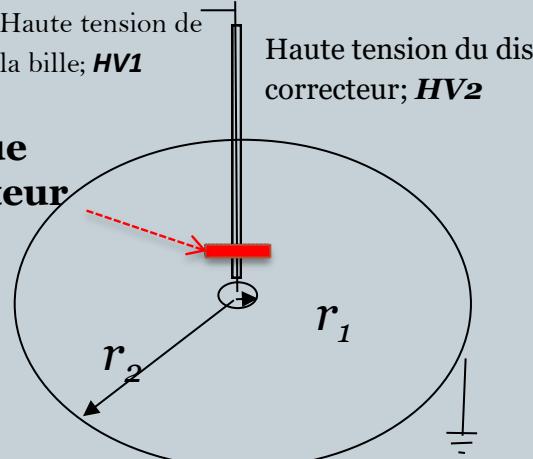


Bille et son support

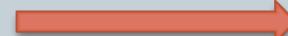
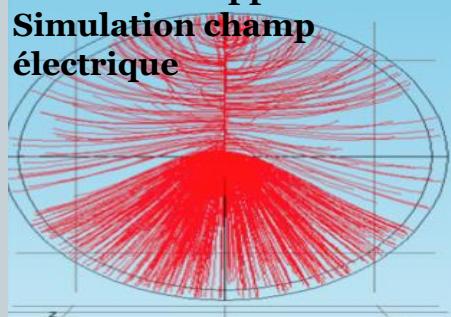
Haute tension de la bille; ***HV1***

Haute tension du disque correcteur; ***HV2***

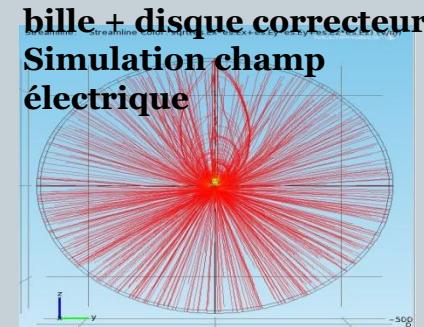
+ disque correcteur



bille + son support :
Simulation champ électrique



bille + disque correcteur:
Simulation champ électrique

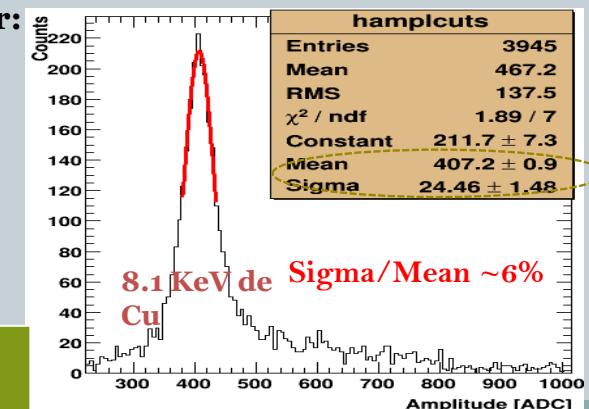


Champ électrique uniforme

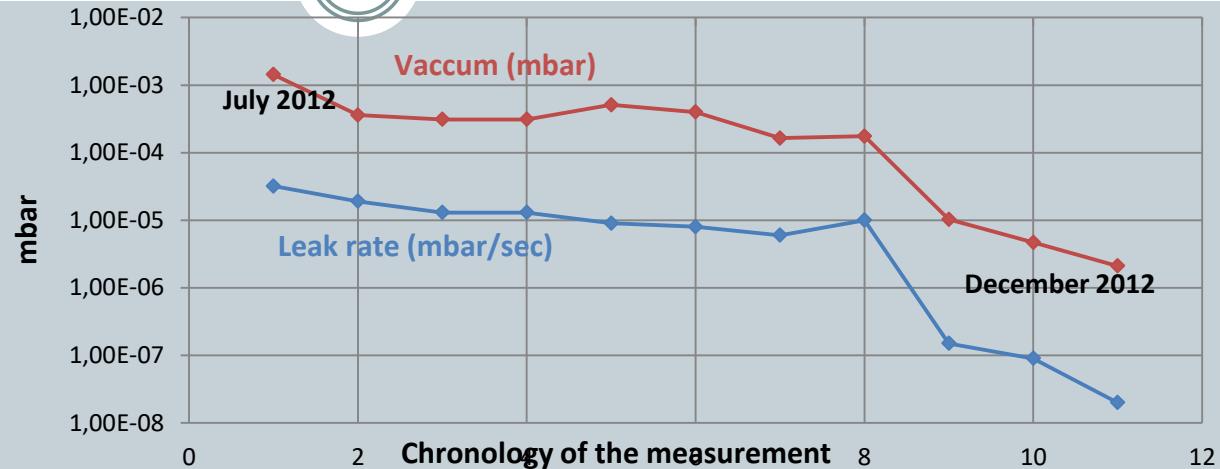
Senseur avec Bille 16 mm



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

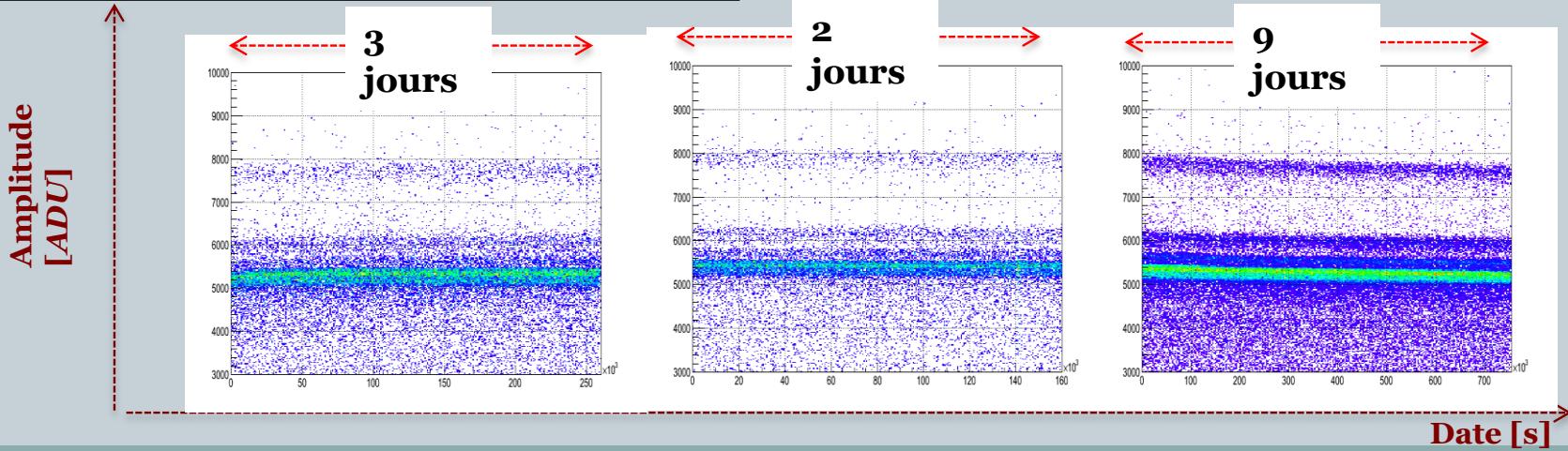


Principe de comptage



3
jours

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



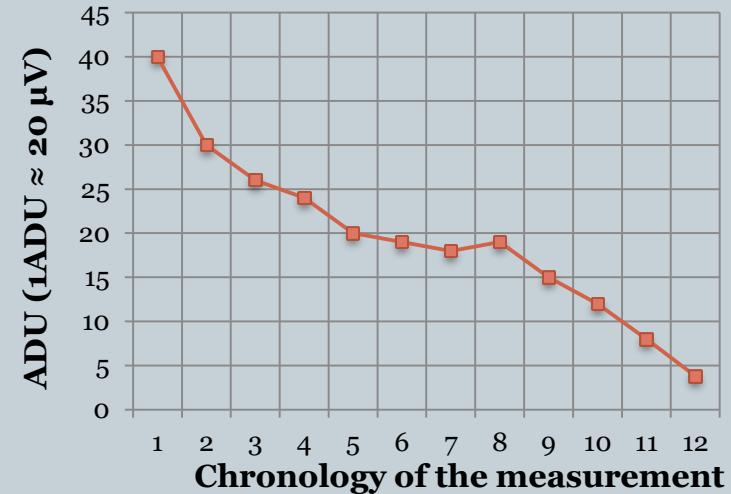
Variation of peak ^{210}Po : < 1% / day

Seuil de détection

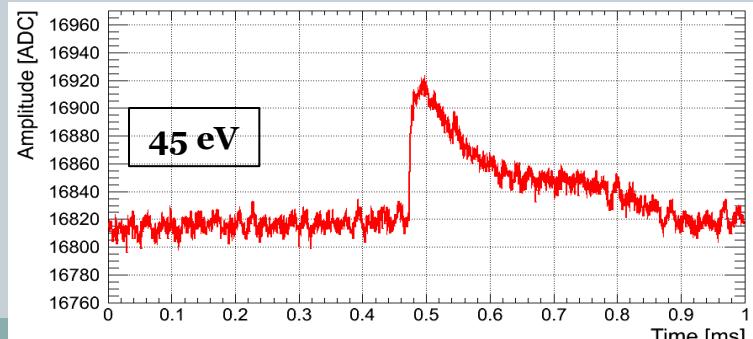
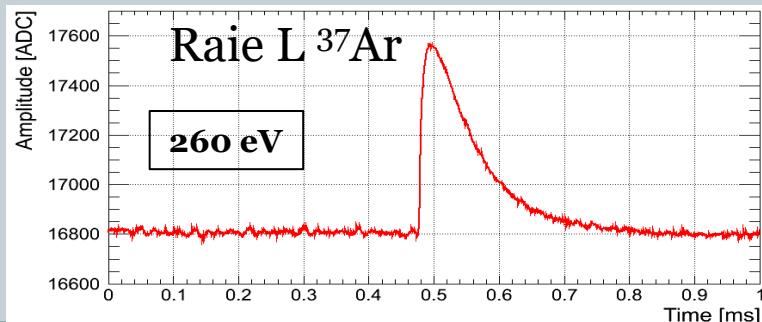


signaux à très basse énergie

Electronic noise



Détection d'événements à 45 eV
Seuil d'acquisition

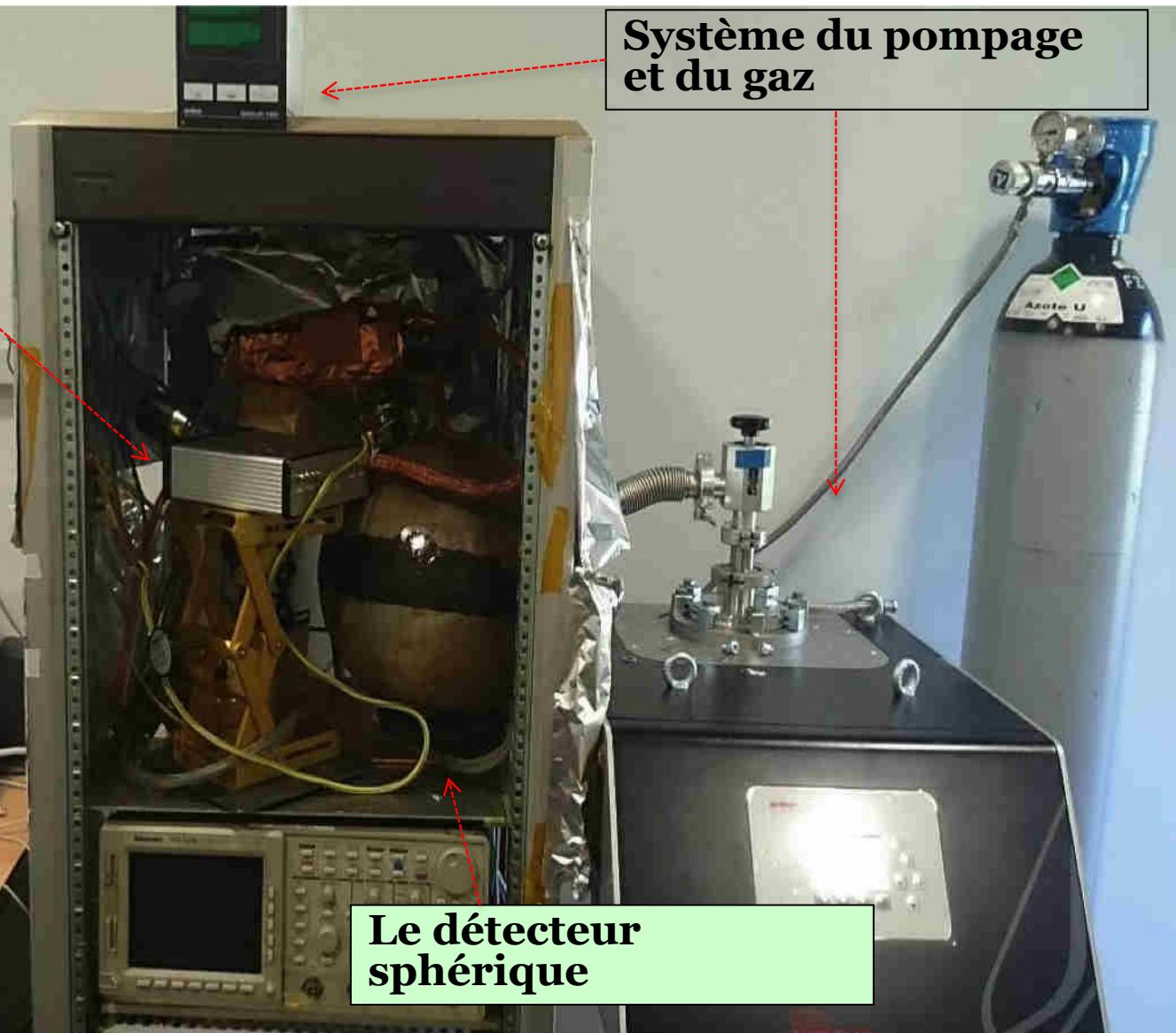


SPC_neutron au LSM

Système
électronique et
acquisition



Système du pompage
et du gaz



Le détecteur
sphérique

Calibration neutron

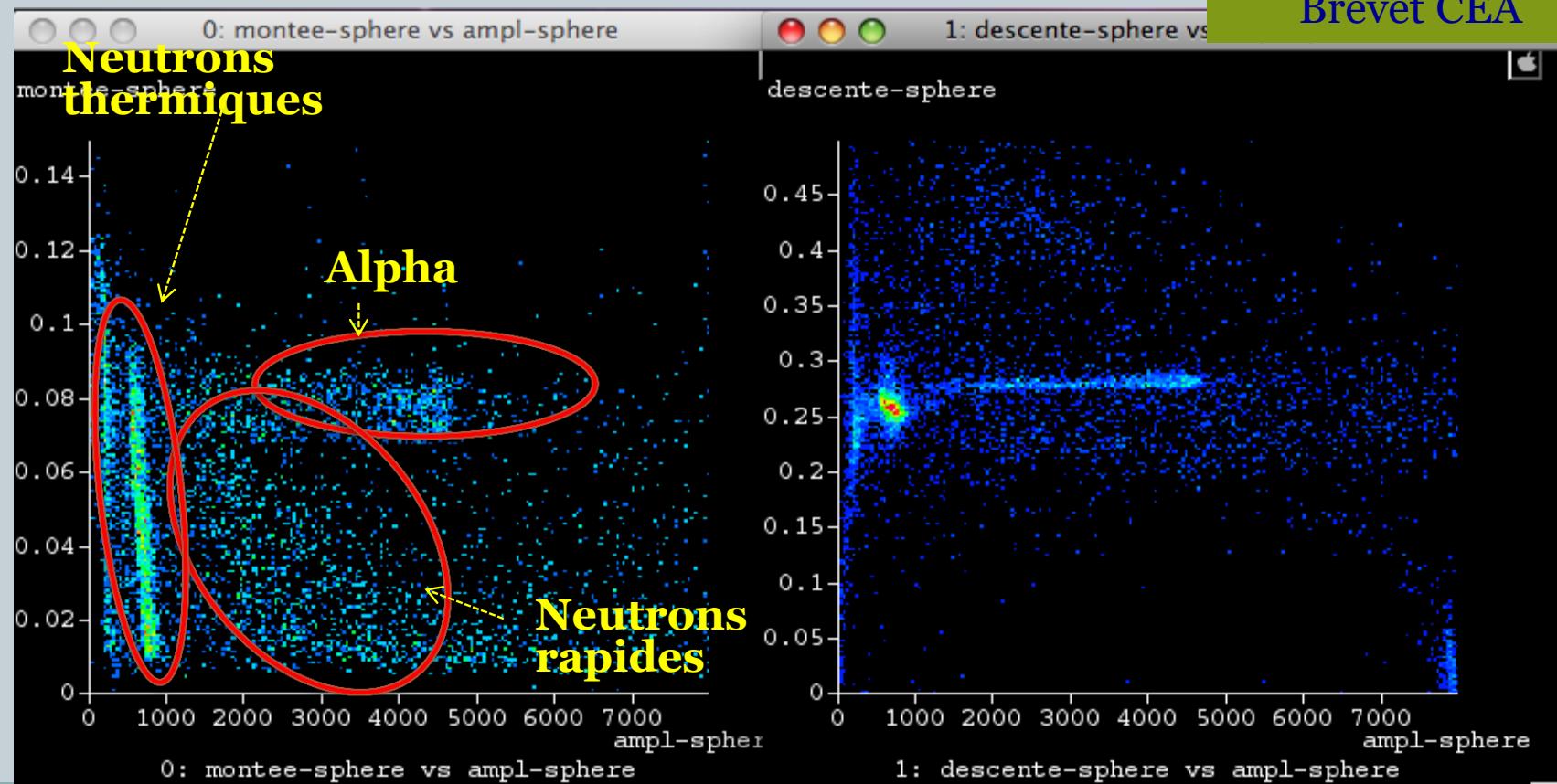


Diamètre du détecteur : 130 cm

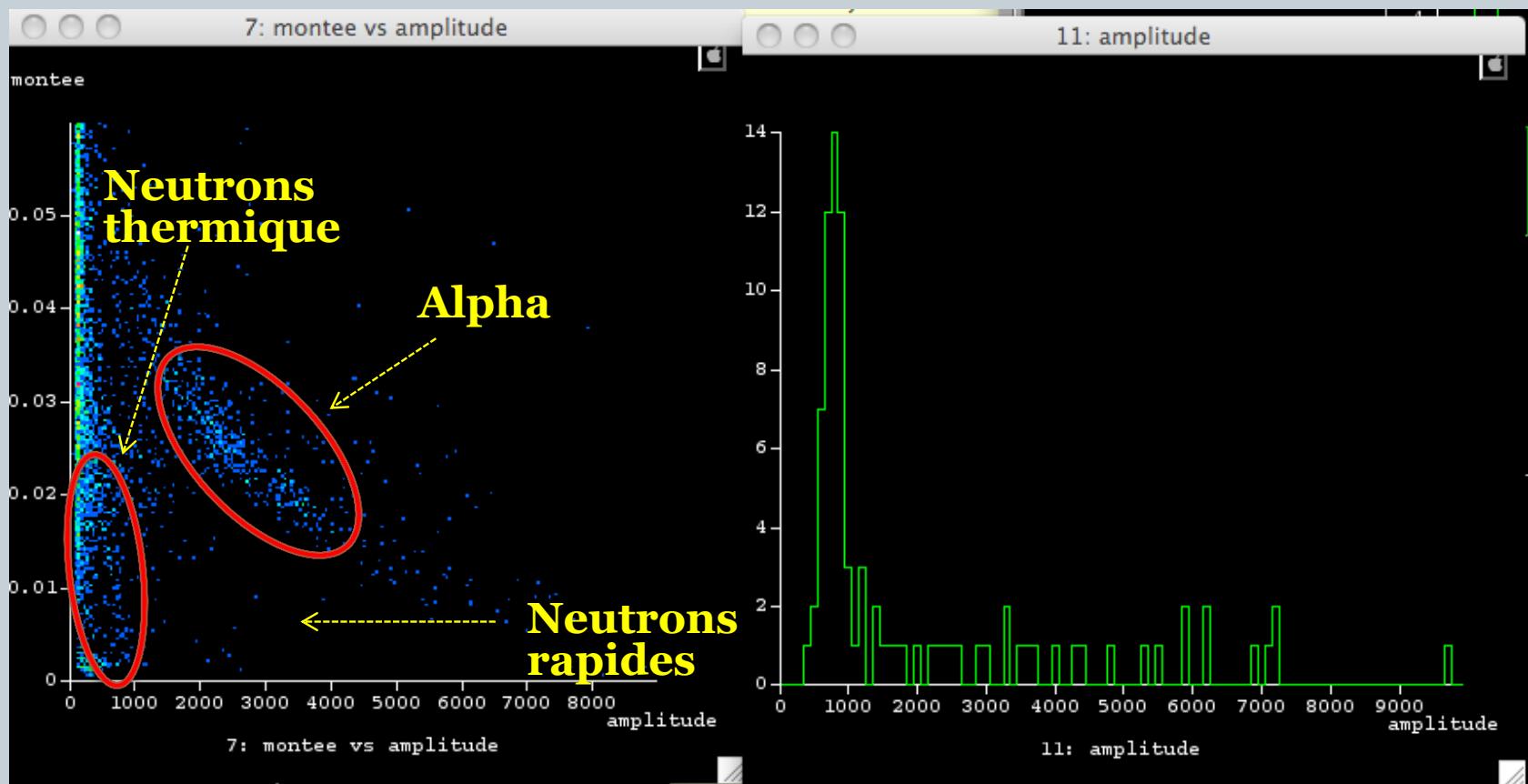


Lieu de test : Université de Thessalonique (GRECE)

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

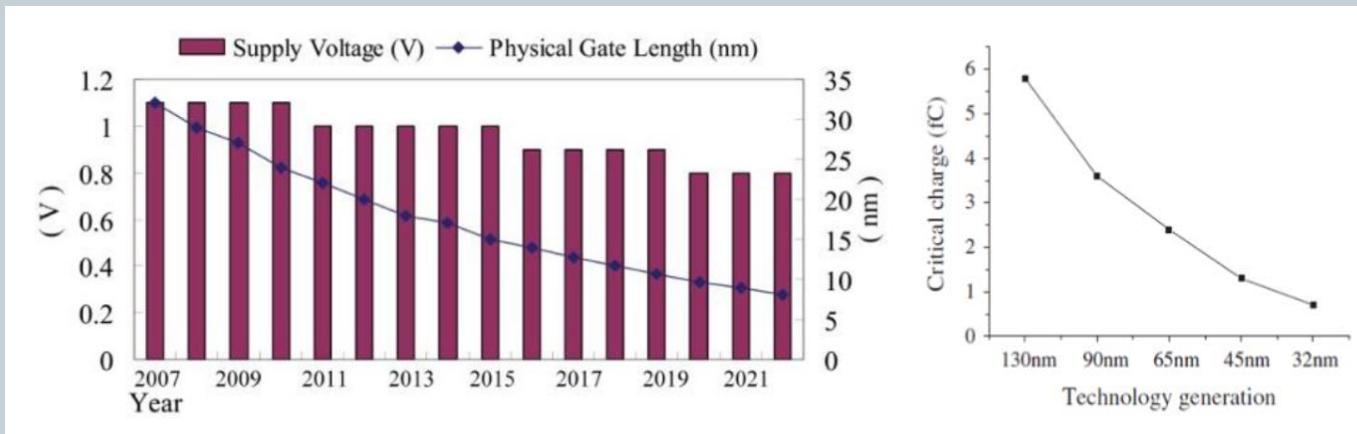
Electronique et radiation



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

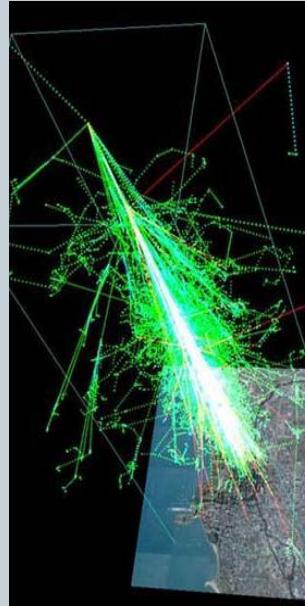
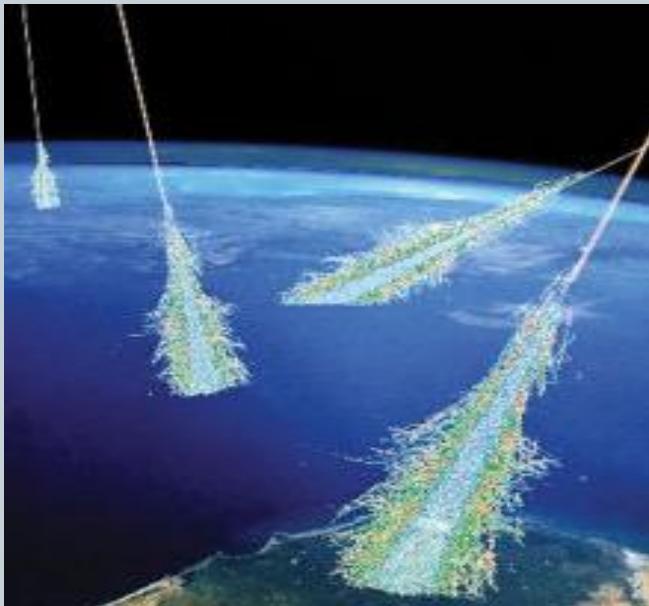
Environnement radiatif naturel



- Les principales radiations influant sur l'électronique

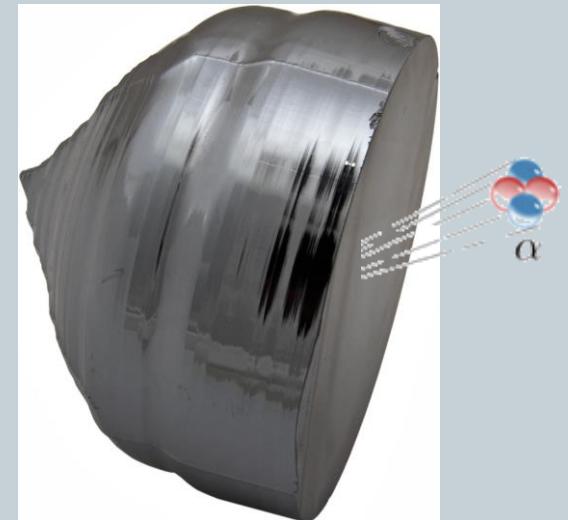
Particules atmosphériques:

Ions 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

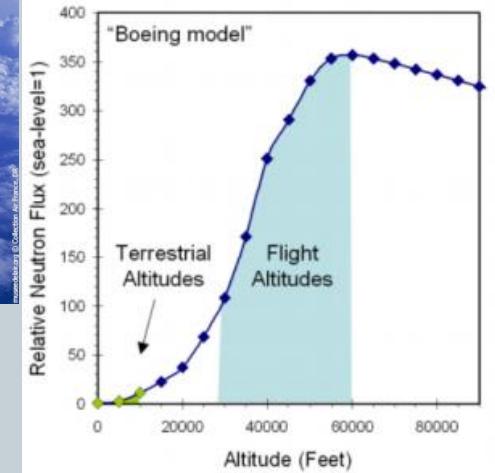
- >Durcissement des circuit
 - >Test sur accélérateurs



1960
X⁺

- Impact aéronautique

- test neutron accélérés

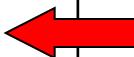


- Impact au niveau de la mer

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

N
e
u
t
r
o
n

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)

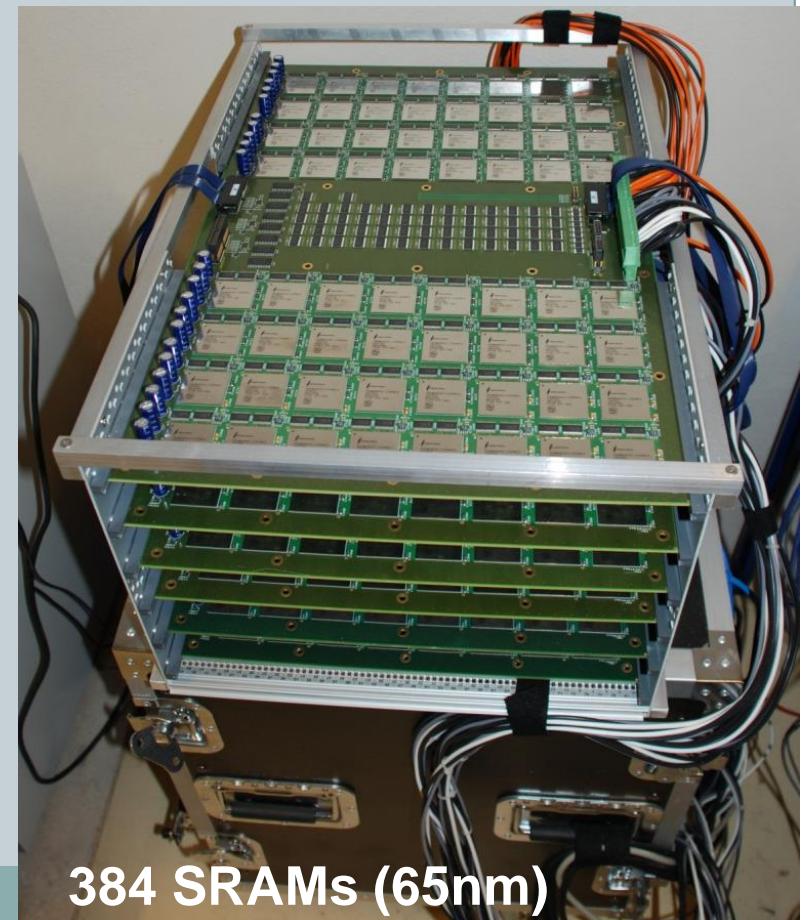
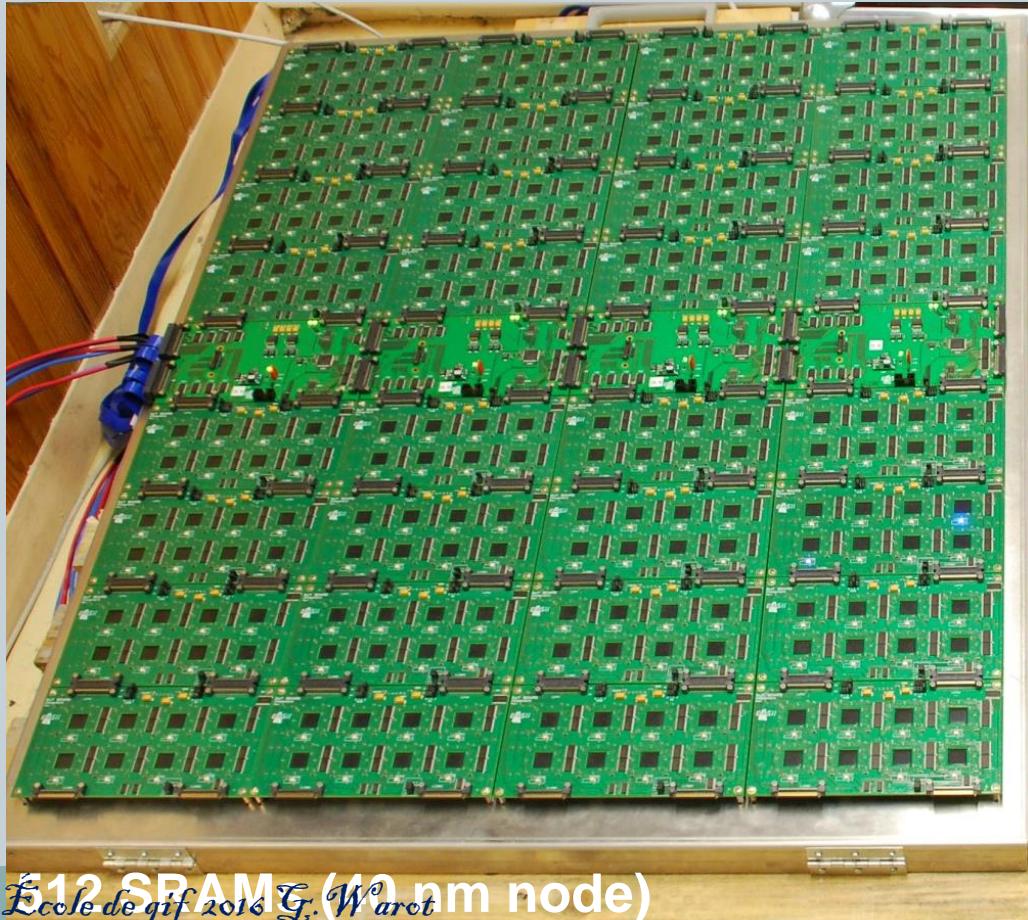


- En souterrain : réduction d'un facteur >1000 sur les neutrons
 - Erreur due uniquement aux alphas

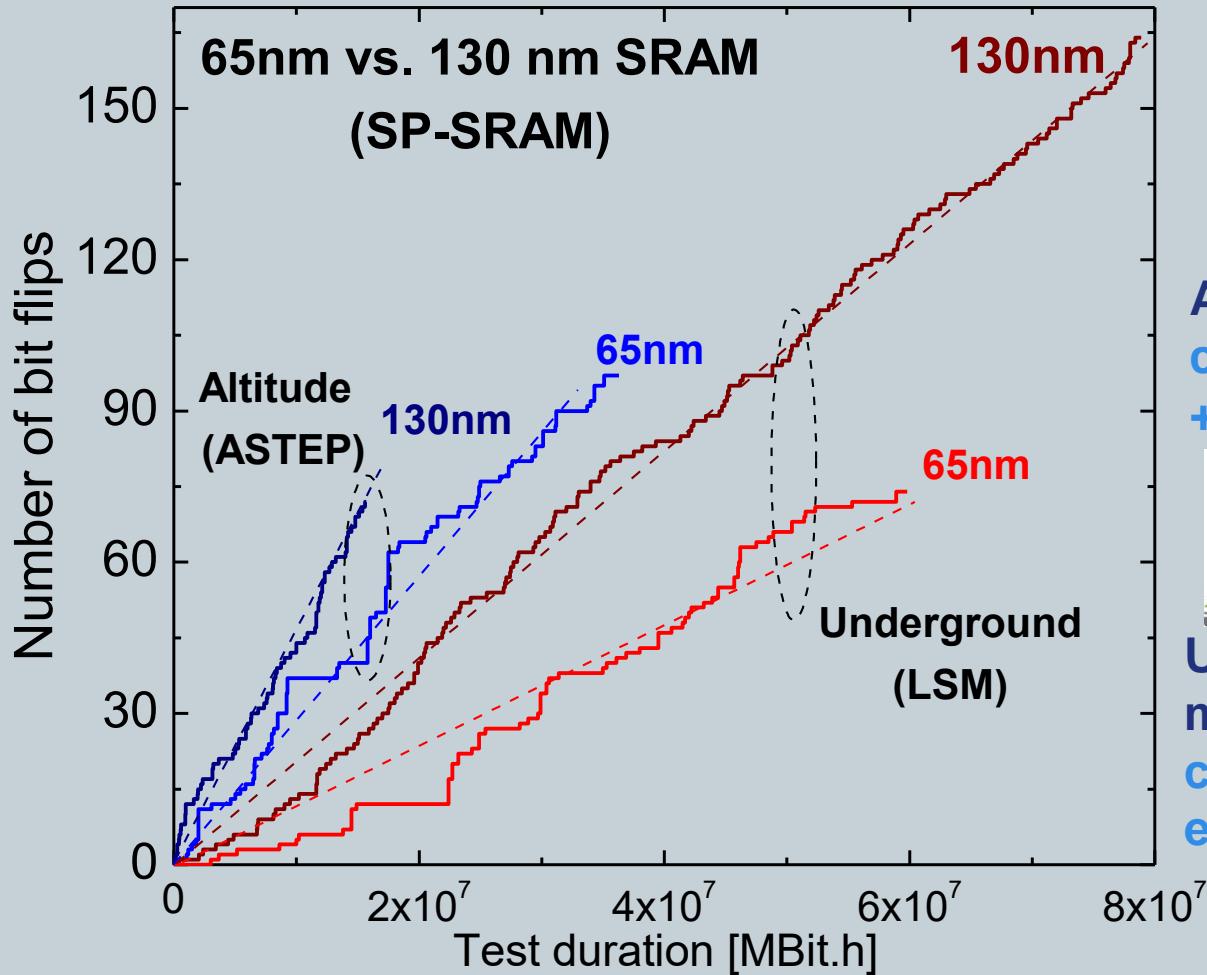
Dispositif expérimental



- Mémoire avec un mot connue relues en permanence



Mesure de la contribution des alphas



Altitude measurements :
contribution of neutrons
+ alpha emitters

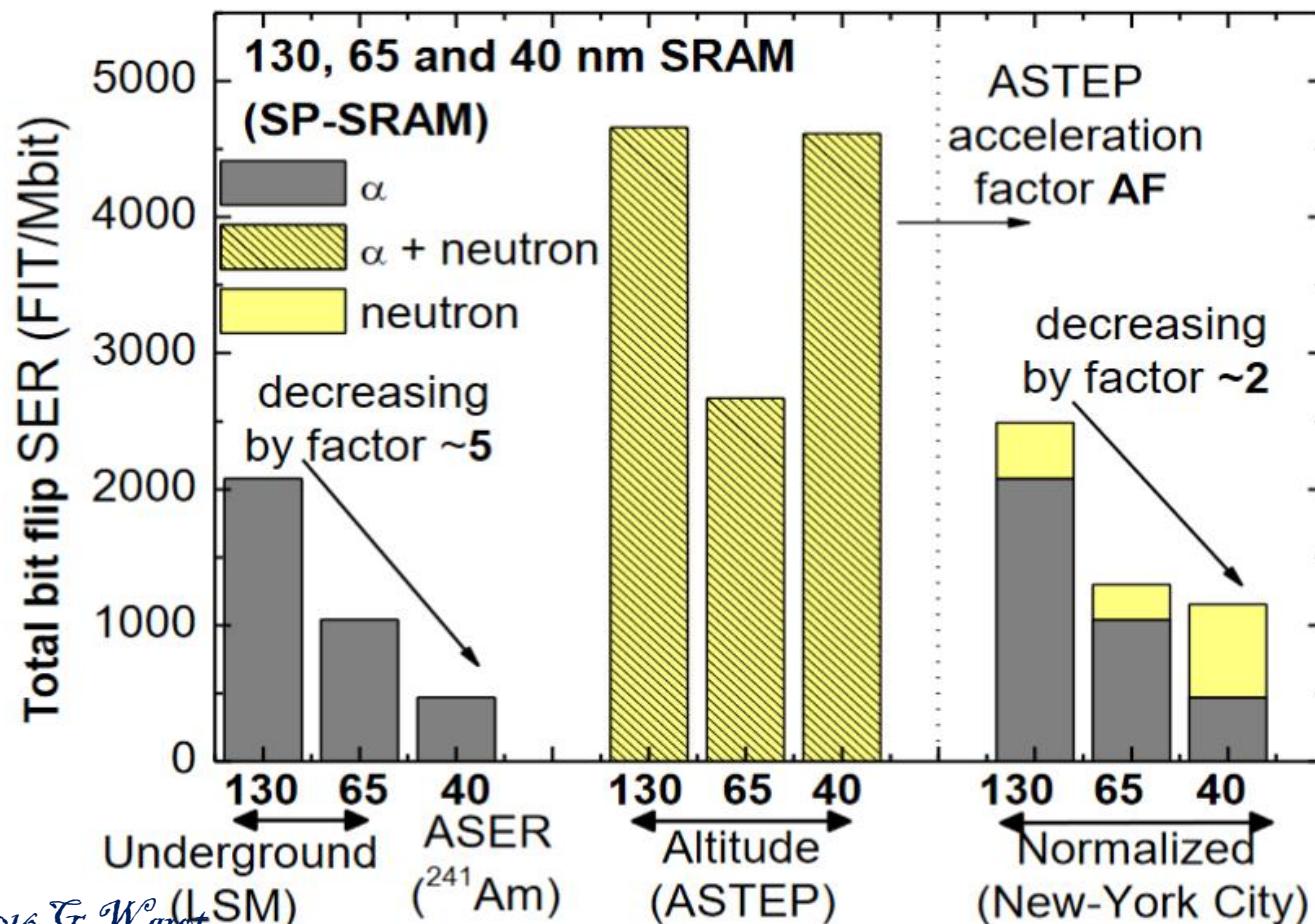


Underground
measurements :
contribution of alpha
emitters only

Mesure directe de la contamination



Synthèse : 8 années de tests temps réel

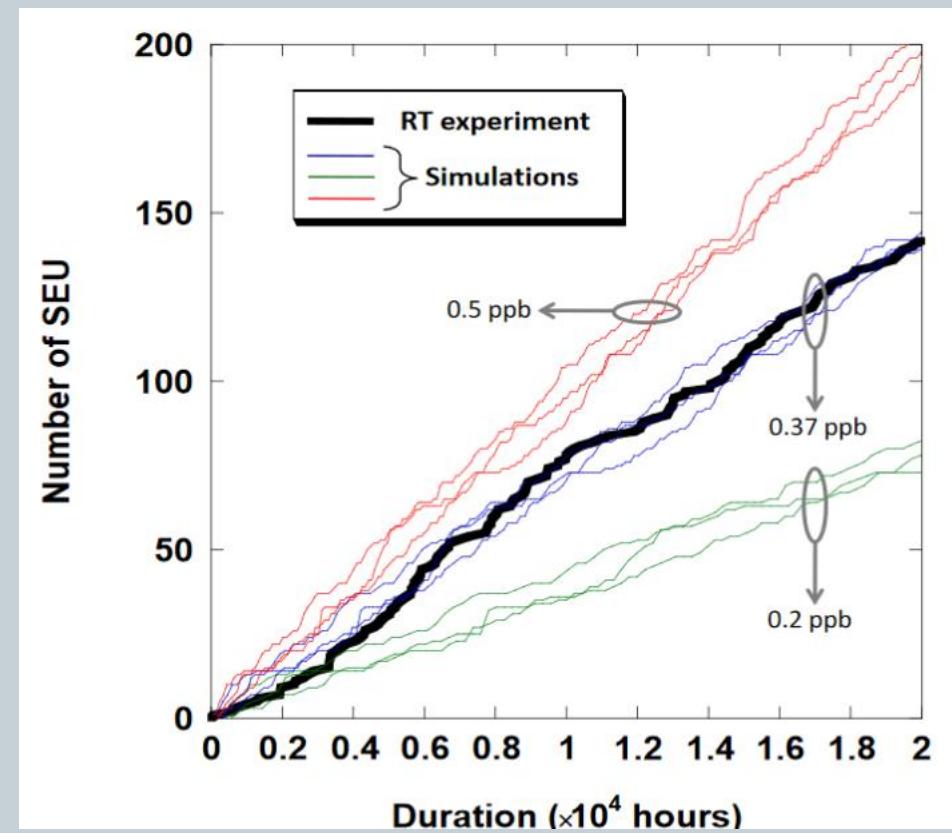
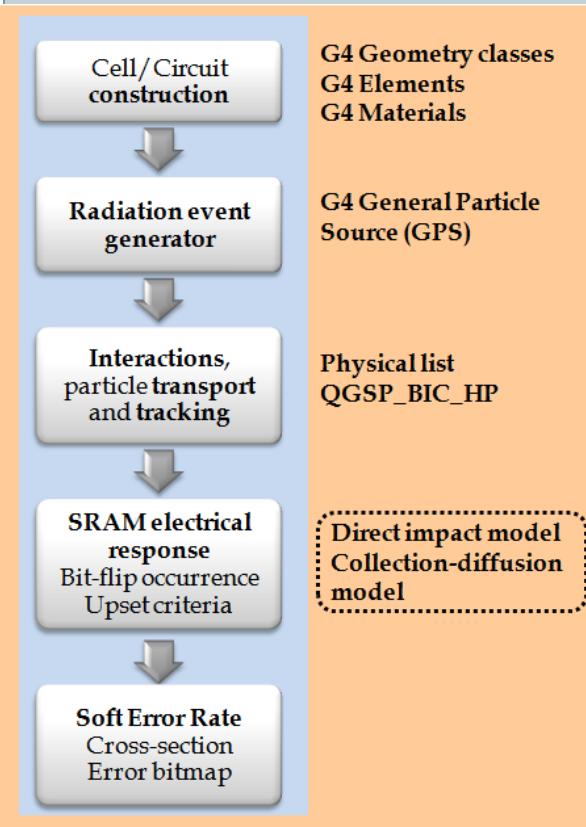


Simulation des mémoires



→ 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

*Alpha-particle ultra low background counter
(alpha-particle emissivity)*

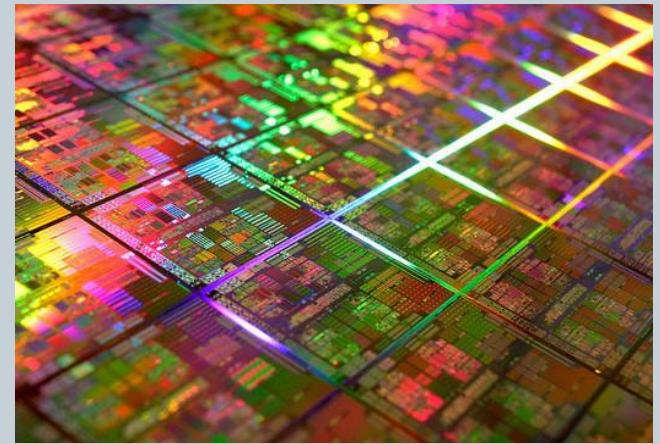
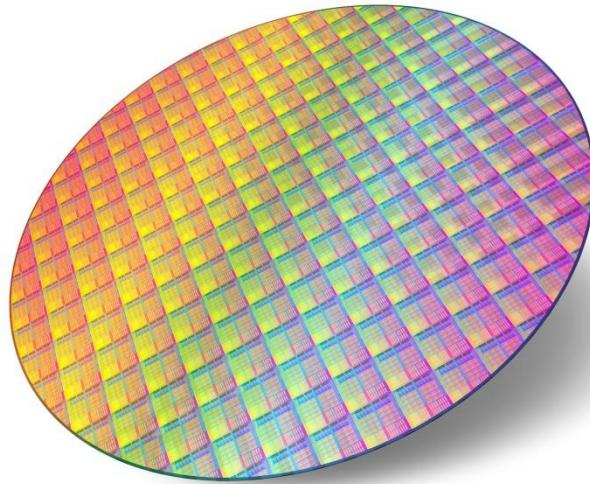
**Vapor Phase Decomposition
(VPD) coupled with
Inductively Coupled Plasma
Mass Spectrometry (ICPMS)**



Mesure de couche mince

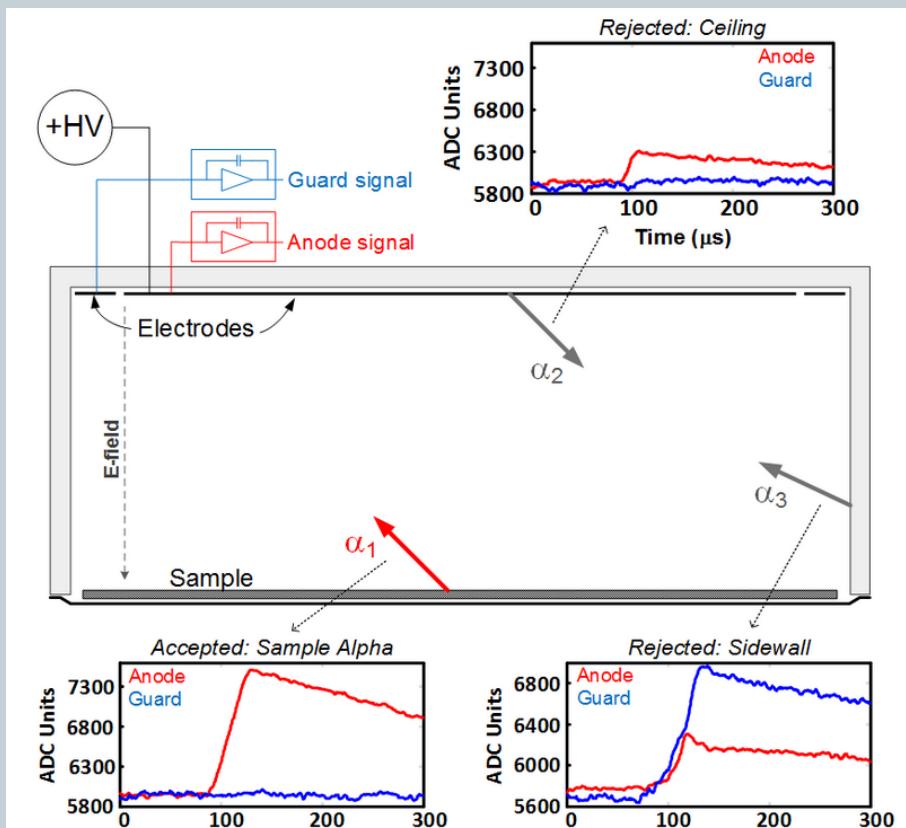


- L'électronique est gravée et déposée en couche successive $\sim \mu\text{m}$
- Produit final et étape intermédiaire sont de bons candidats pour des mesures alpha

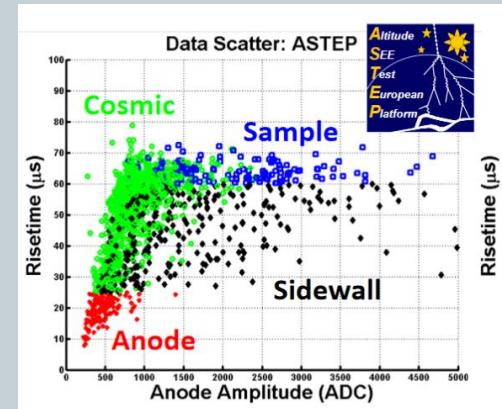


Mesures alpha

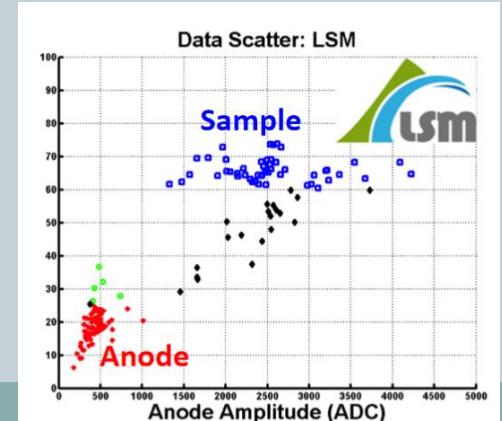
Compteur alpha avec un rejet du bruit de fond pour wafer 450 mm



Acquisition en altitude



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



Mesures gamma

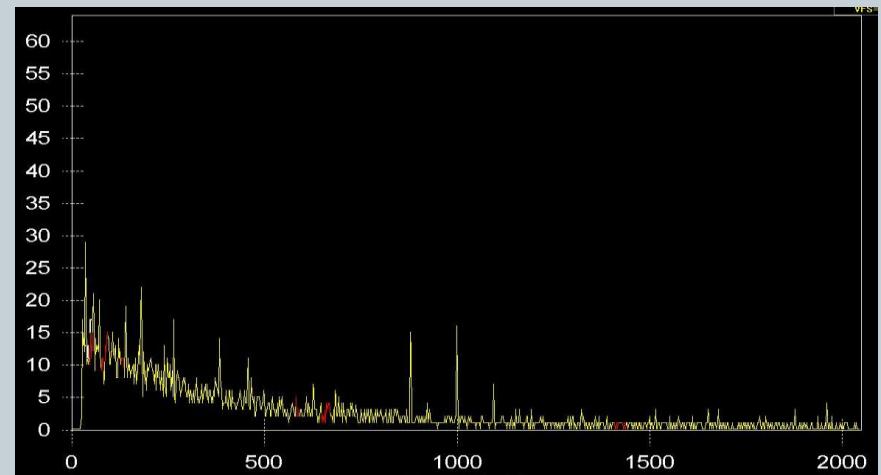


Connaissance de la radioactivité à très faible niveau à Modane	Possibilité de mesure de radioactivité à faible niveau sur détecteurs germaniums
Simulation géant 4 des alphas émis par la pièce	Mesure des radioéléments avec une activité en becquerel

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

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

Spectre gamma typique



Conclusion



- Projet d'une plateforme de mesure de la radioactivité à destination de la communauté de la μ -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

www.astep.eu

GDR CNRS 33469 ERRATA

Effets des Radiations sur l'Electronique aux niveaux Atmosphérique et Terrestre

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



Mesures environnementales



Principe de la mesure



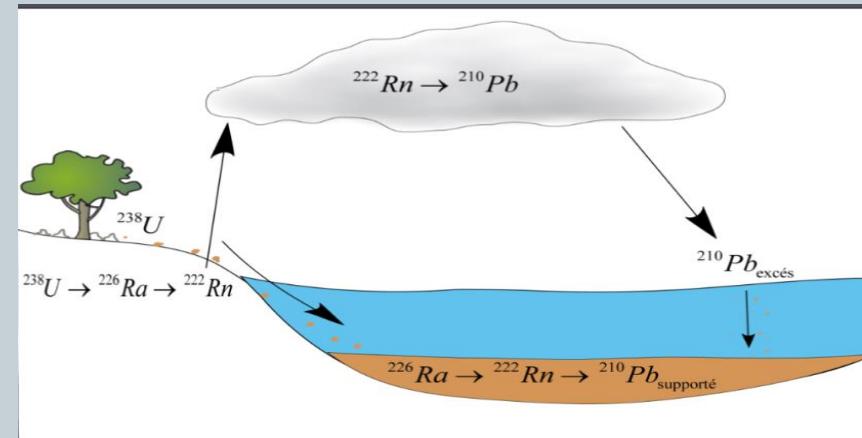
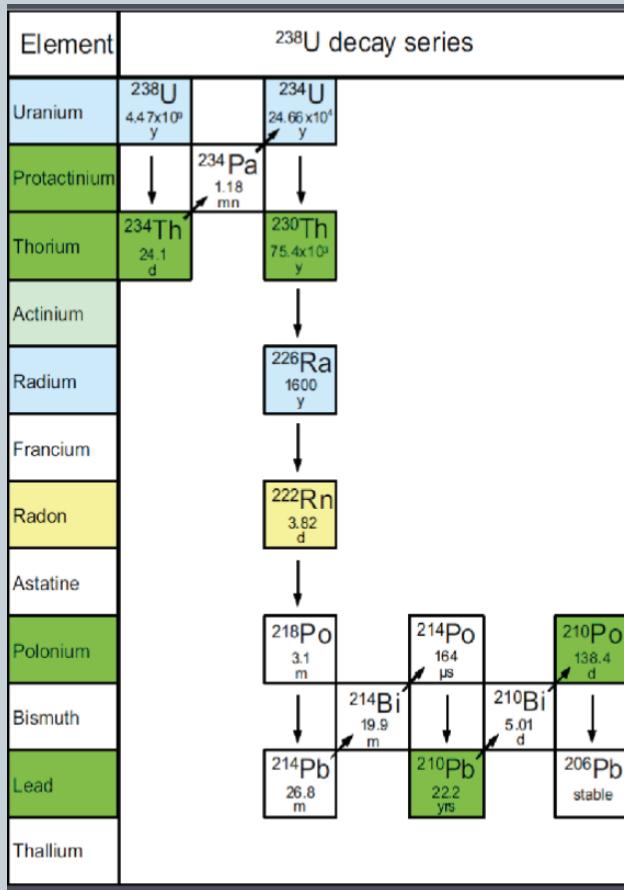
- Prélèvement de carotte de sédiments
- Mise en échantillons d'épaisseurs fixes de la carotte (intervalles en z connus)
- Mesures de ces échantillons par spectrométrie gamma pour datation de la carotte
- Corrélation de l'axe z et de la date (résolution à 6 mois)
- Méthode d'analyse moderne sur les échantillons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



Calcul de datation



- Famille radioactive naturelle



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

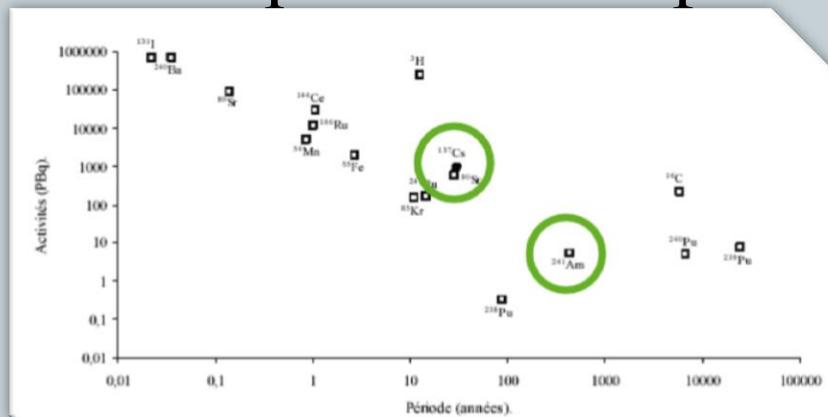
$$\ln(^{210}\text{Pb})_{ex}^t = -\lambda \frac{z}{V} + \ln(^{210}\text{Pb})_{ex}^0$$

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

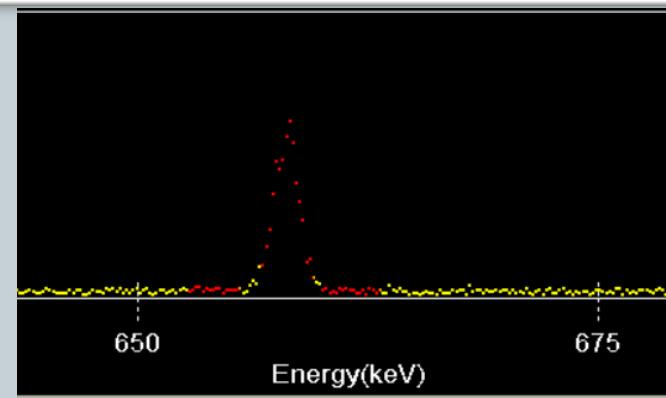
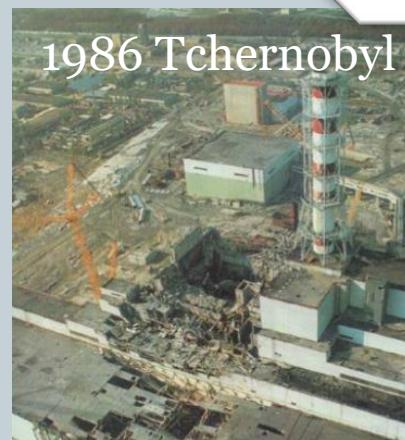
Datation absolue



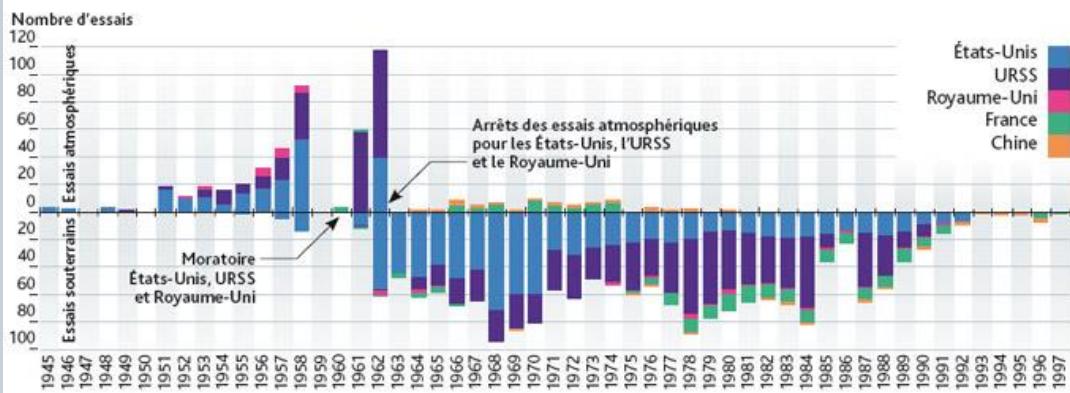
- Marqueur environnementaux univoques => isotopes technogéniques
- Marqueur post 1945
- Essais nucléaire et accident



• 25 - Isotopes produits par les explosions des armes nucléaires en fonction de leur période et de leur taux de production (d'après U.N.S.C.E.A.R., 1982)



Répartition des traceurs



Retombées de $^{137}\text{Cs} > 5000 \text{ Bq/m}^2$
 Retombées de $^{137}\text{Cs} \text{ entre } 1000 \text{ et } 5000 \text{ Bq/m}^2$
 Retombées de $^{137}\text{Cs} < 1000 \text{ Bq/m}^2$

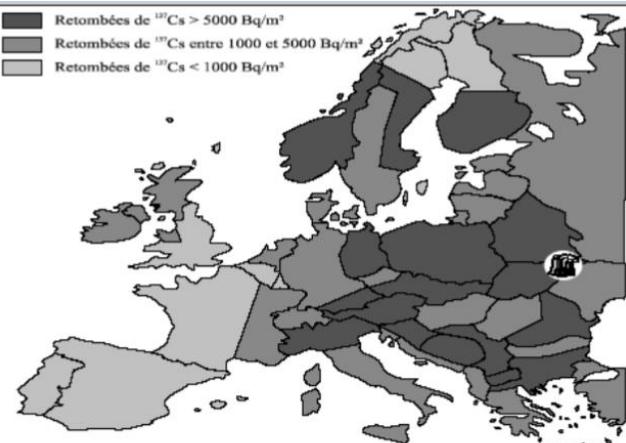
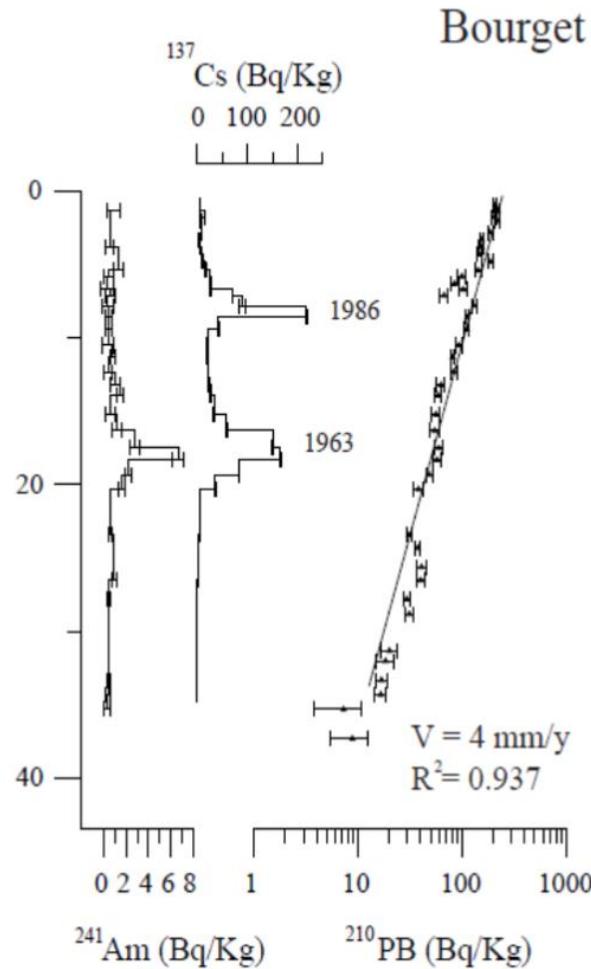


Figure 30 - Cartes des retombées de ^{137}Cs , en provenance de Tchernobyl, élaborée à partir des données de l'U.N.S.C.E.A.R. (1988)

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

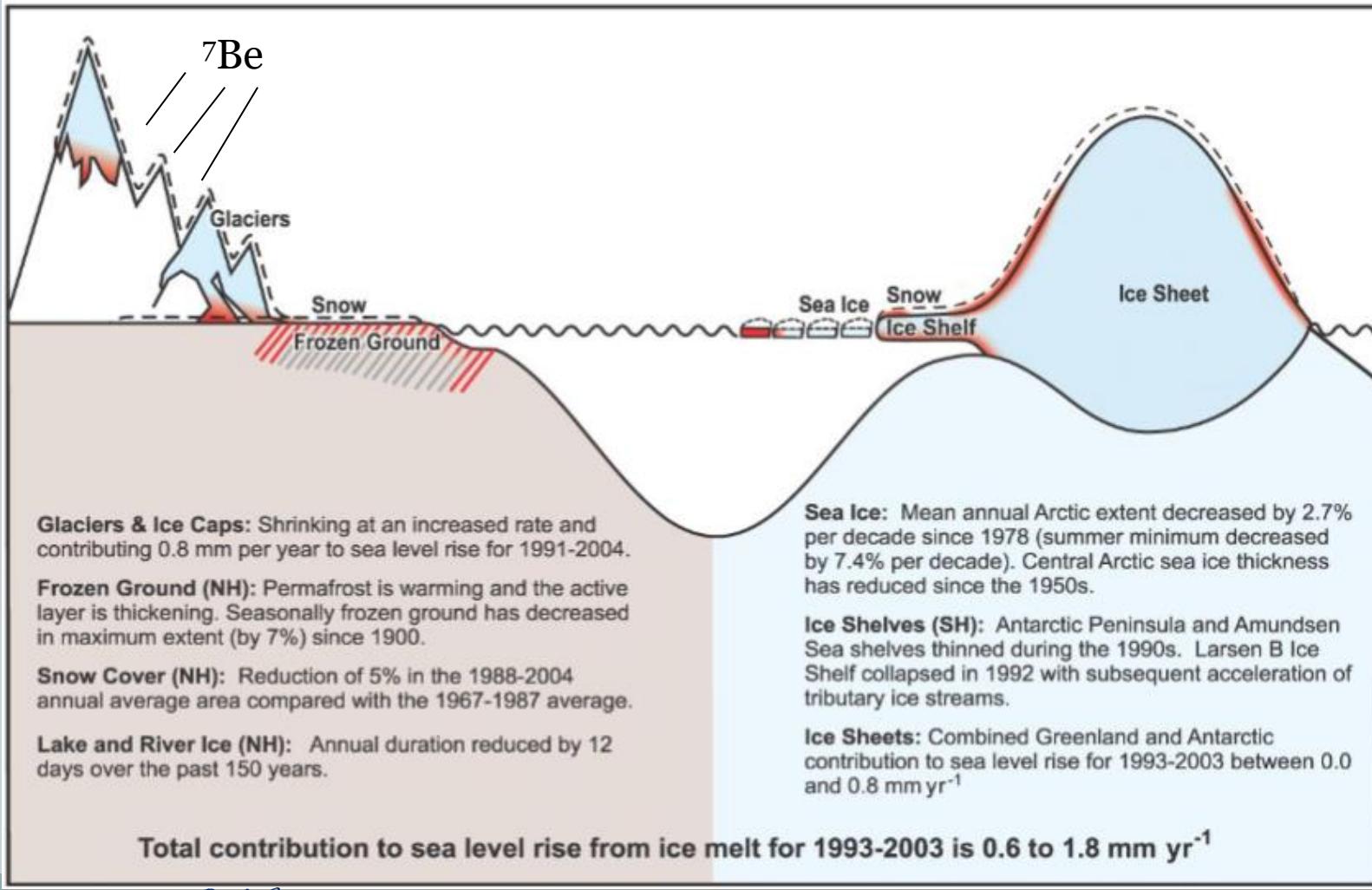


Etudes de la pollution des lacs



- 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

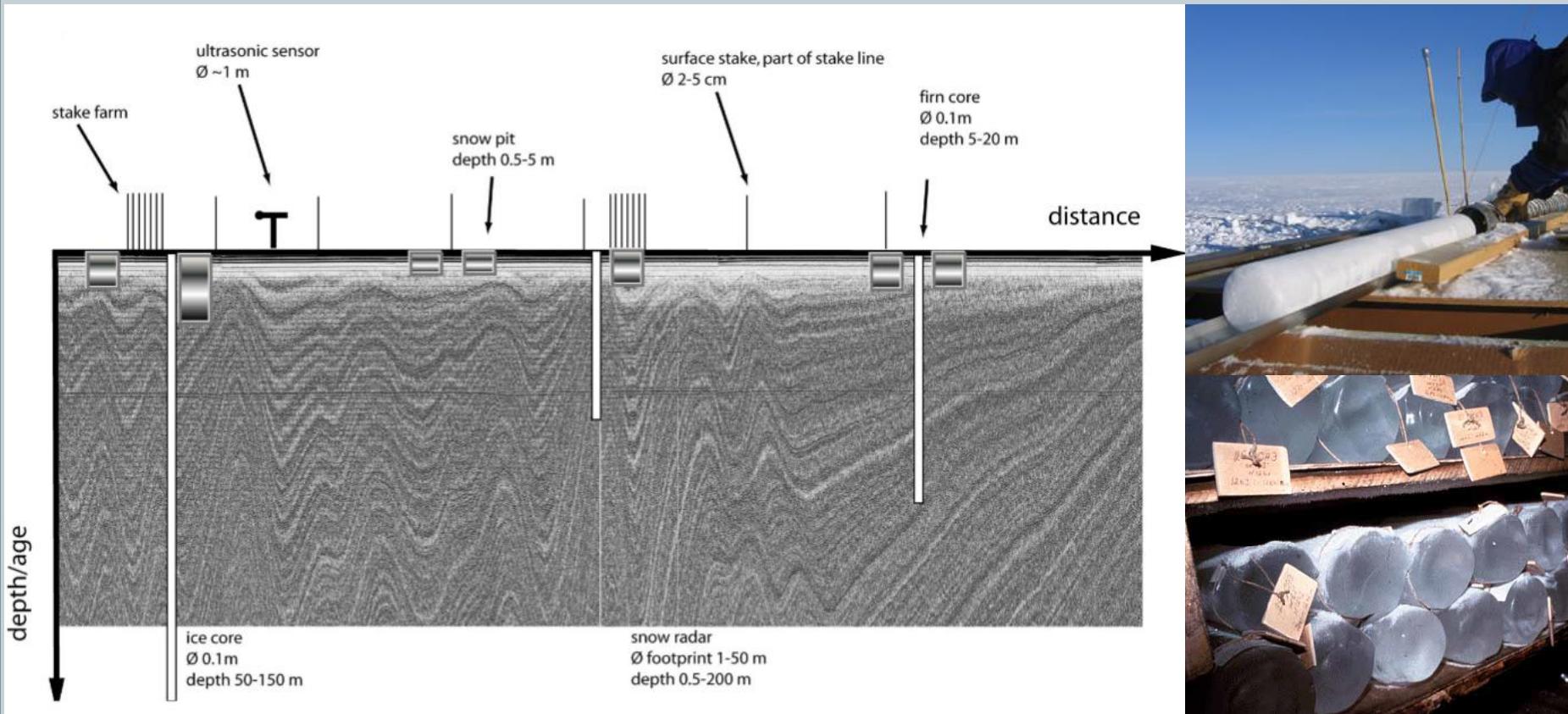
Étude du climat



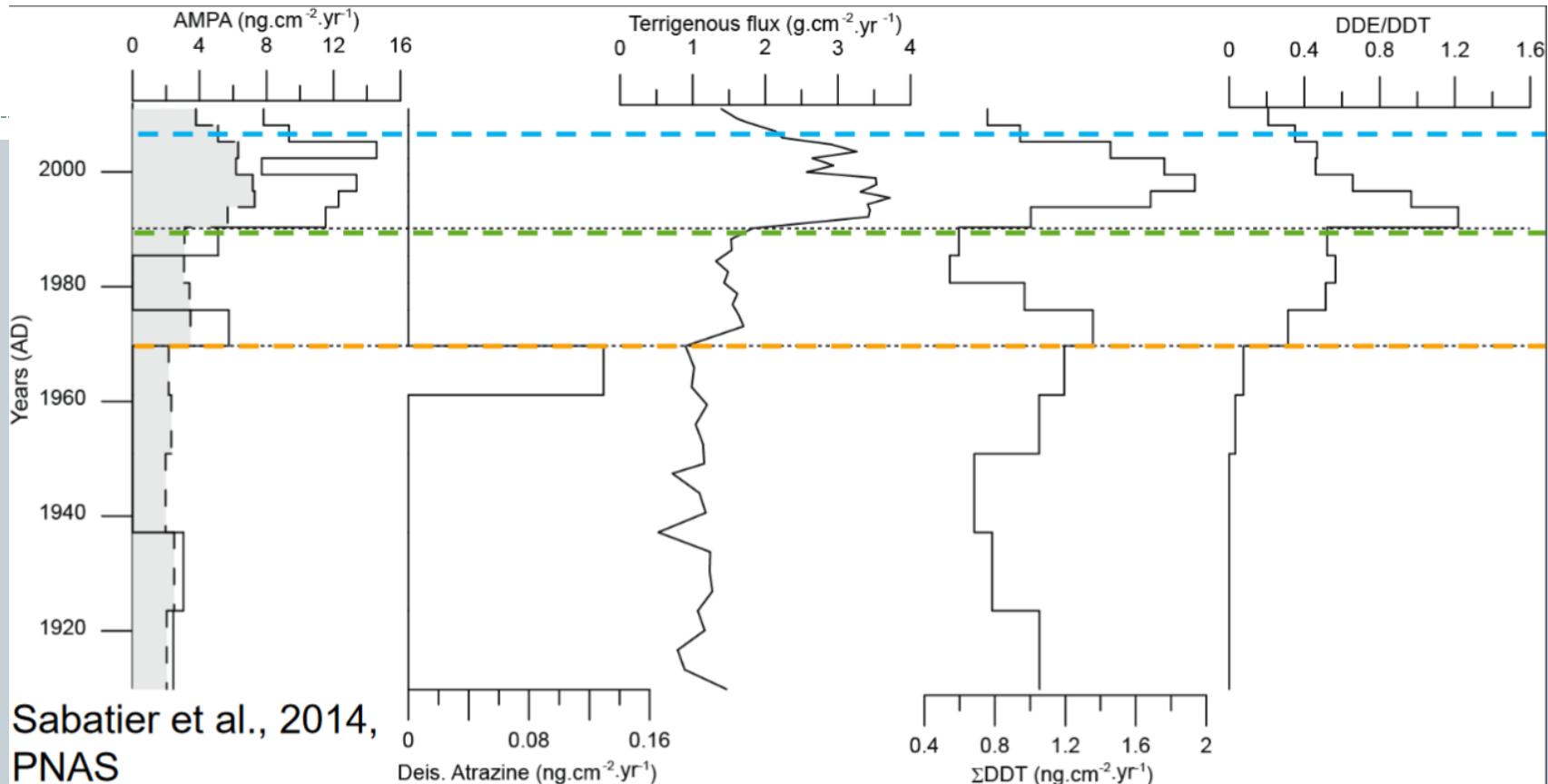
Étude du climat via antarctique



- Calibration du radar à neige

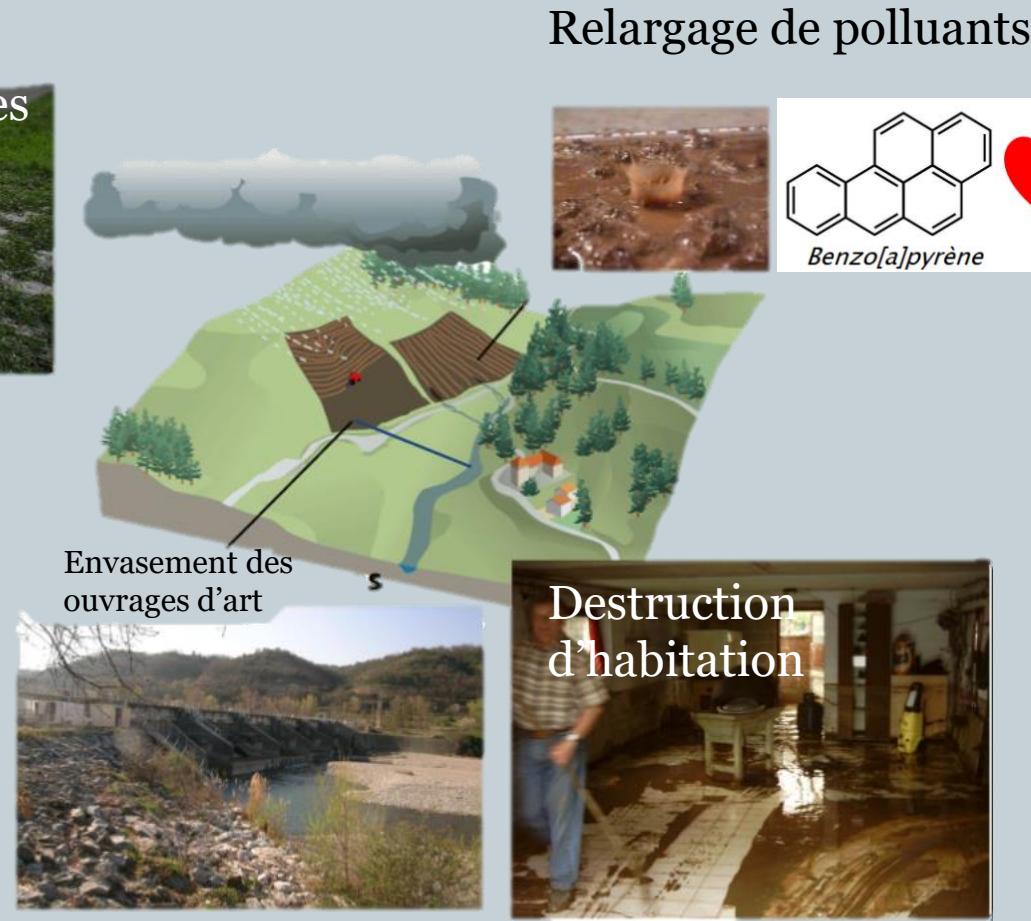


Cas plus complexe



- 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

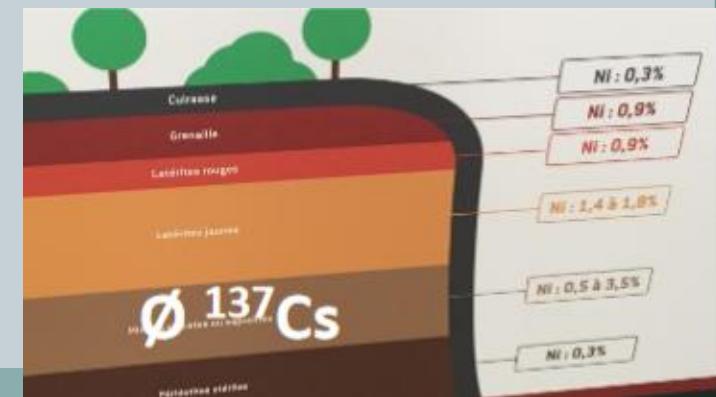
Problématique de l'érosion



Mesure des contributions



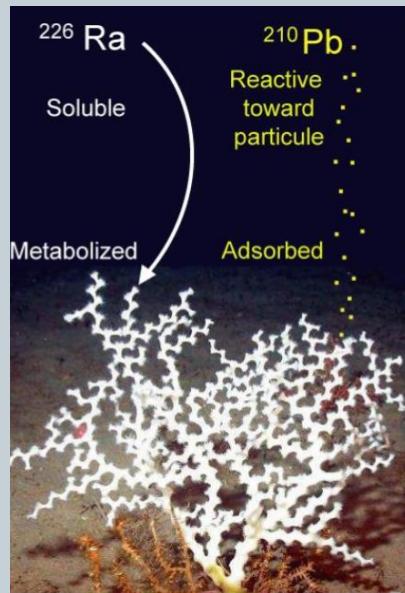
- Sédiments dans les bassins miniers en Nouvelle-Calédonie
 - Contribution minière
 - Contribution naturelle
 - Quantification du mélange
 - Analyse de carottes pour vérifier la stabilité dans le temps



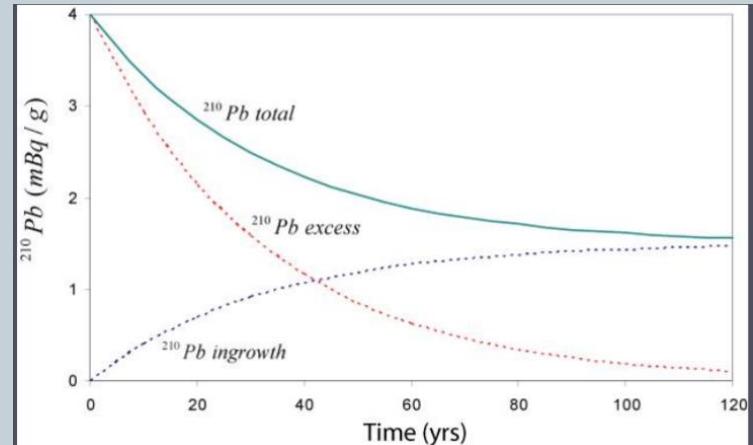
Datations de coraux



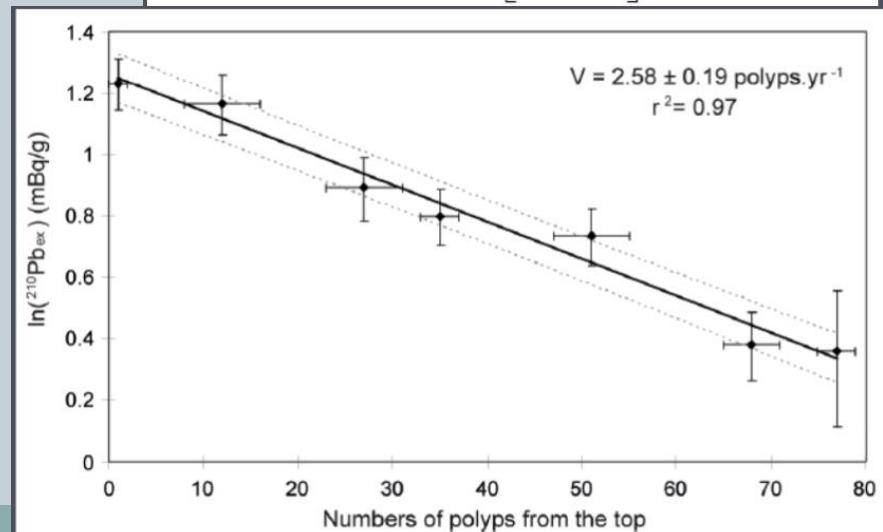
Pollution des océans



Sabatier et al, 2012
Biogéoscience



$$({}^{210}\text{Pb})_{\text{total}} = ({}^{226}\text{Ra}) \left[1 - e^{-\lambda_{210} * t} \right] + ({}^{210}\text{Pb})_0 \times e^{-\lambda_{210} * t}$$



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
- Prédition des modèles climatiques à partir de ces données d'entrée

Bibliographie



environnements dynamiques territoires montagnes

- pierre.sabatier@univ-savoie.fr



LABORATOIRE DES SCIENCES DU CLIMAT
& DE L'ENVIRONNEMENT

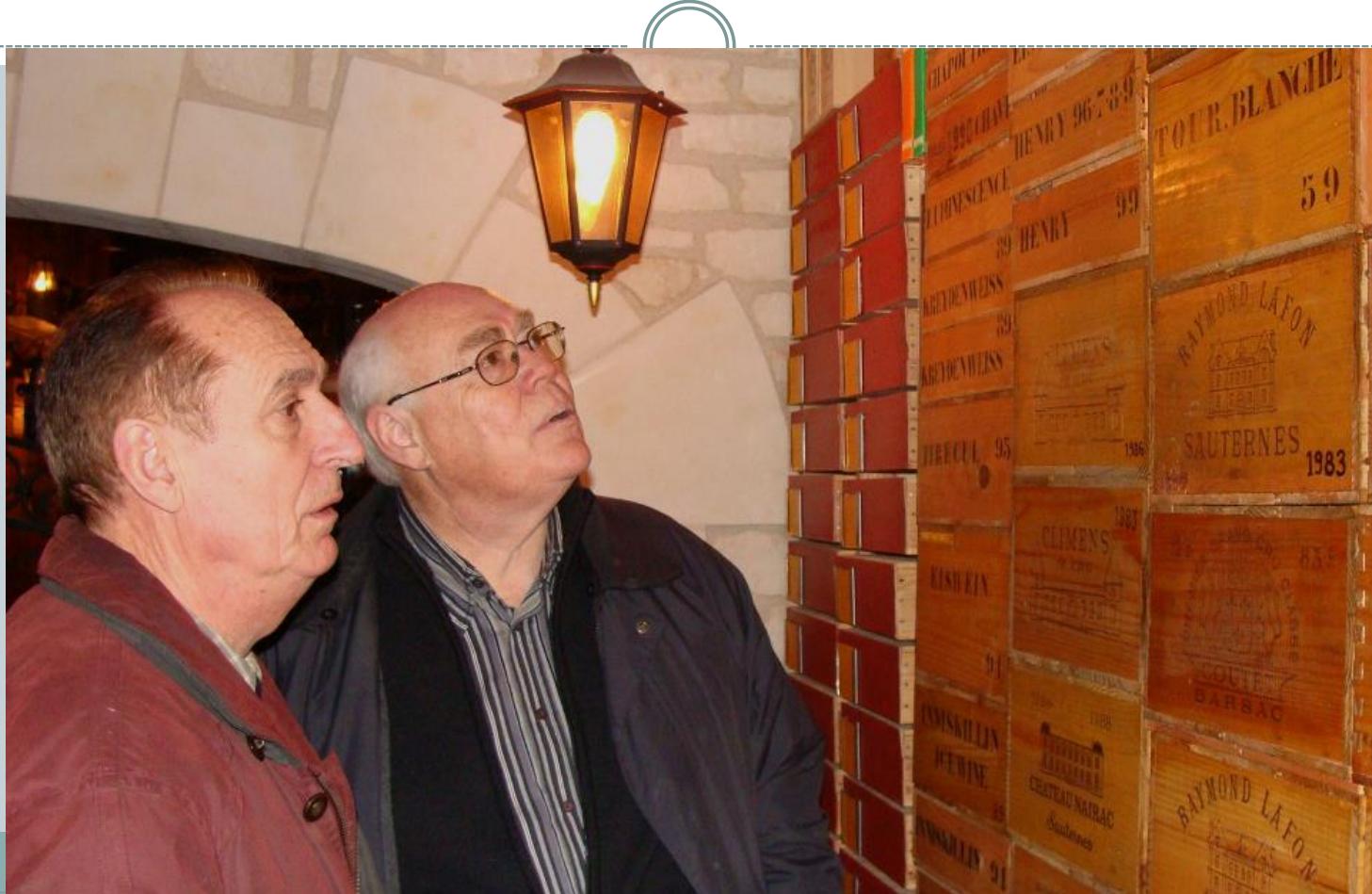
- Olivier.Evrard@lsce.ipsl.fr



Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement

- magand@lgge.obs.ujf-grenoble.fr

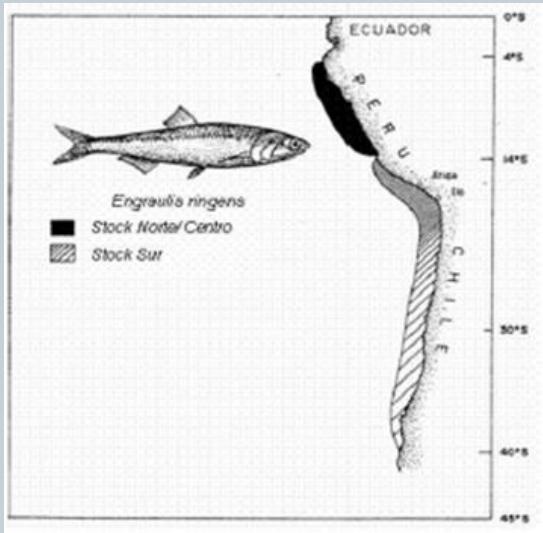
Applications de la spectrométrie gamma



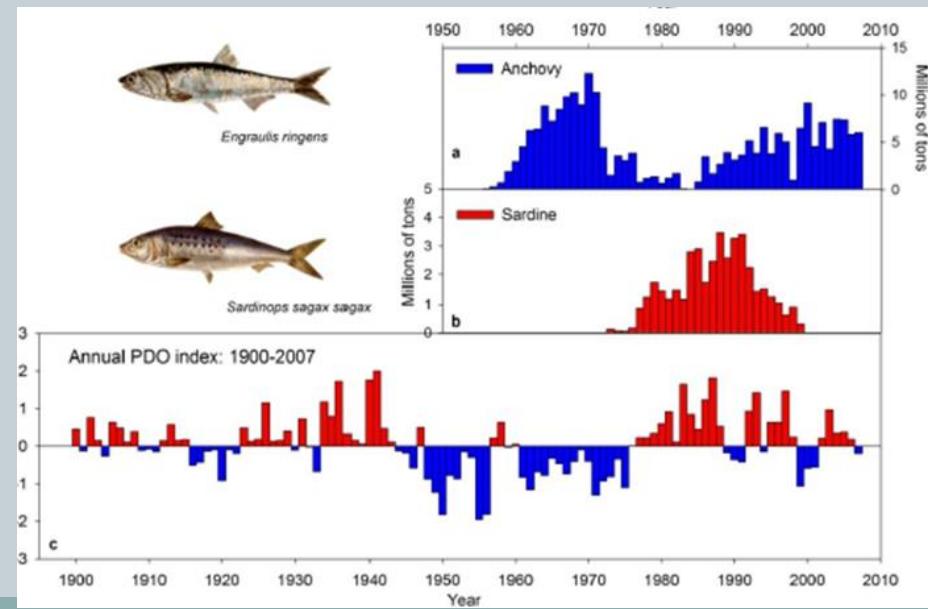
Surveillance de la pêche



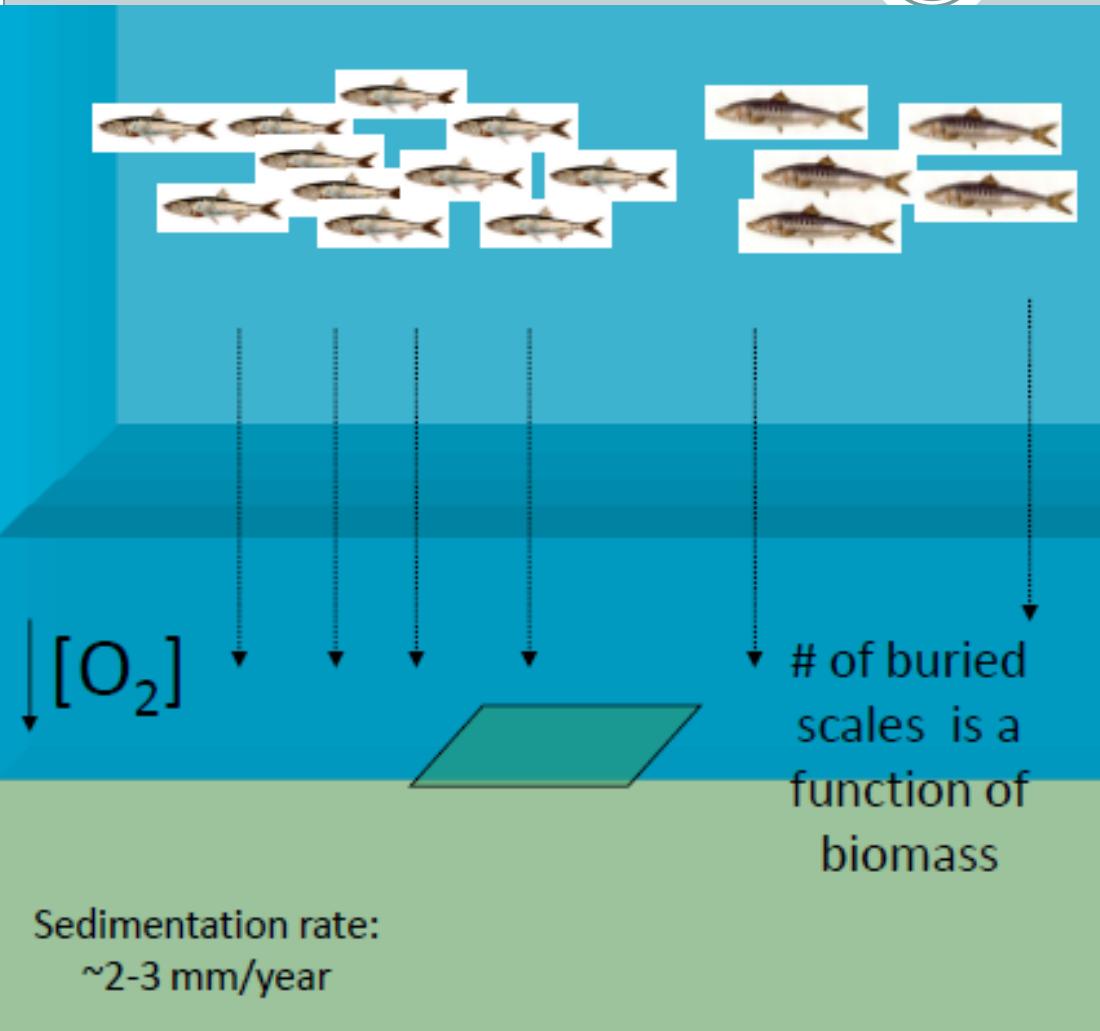
- L'écosystème du courant de humboldt en particulier au large du Pérou produit 10 % de la ressource halieutique mondiale surtout des anchois
- Alternance de annuelle et decennal de la population de sardine et d'anchois



Variation relative des sardines/anc hois

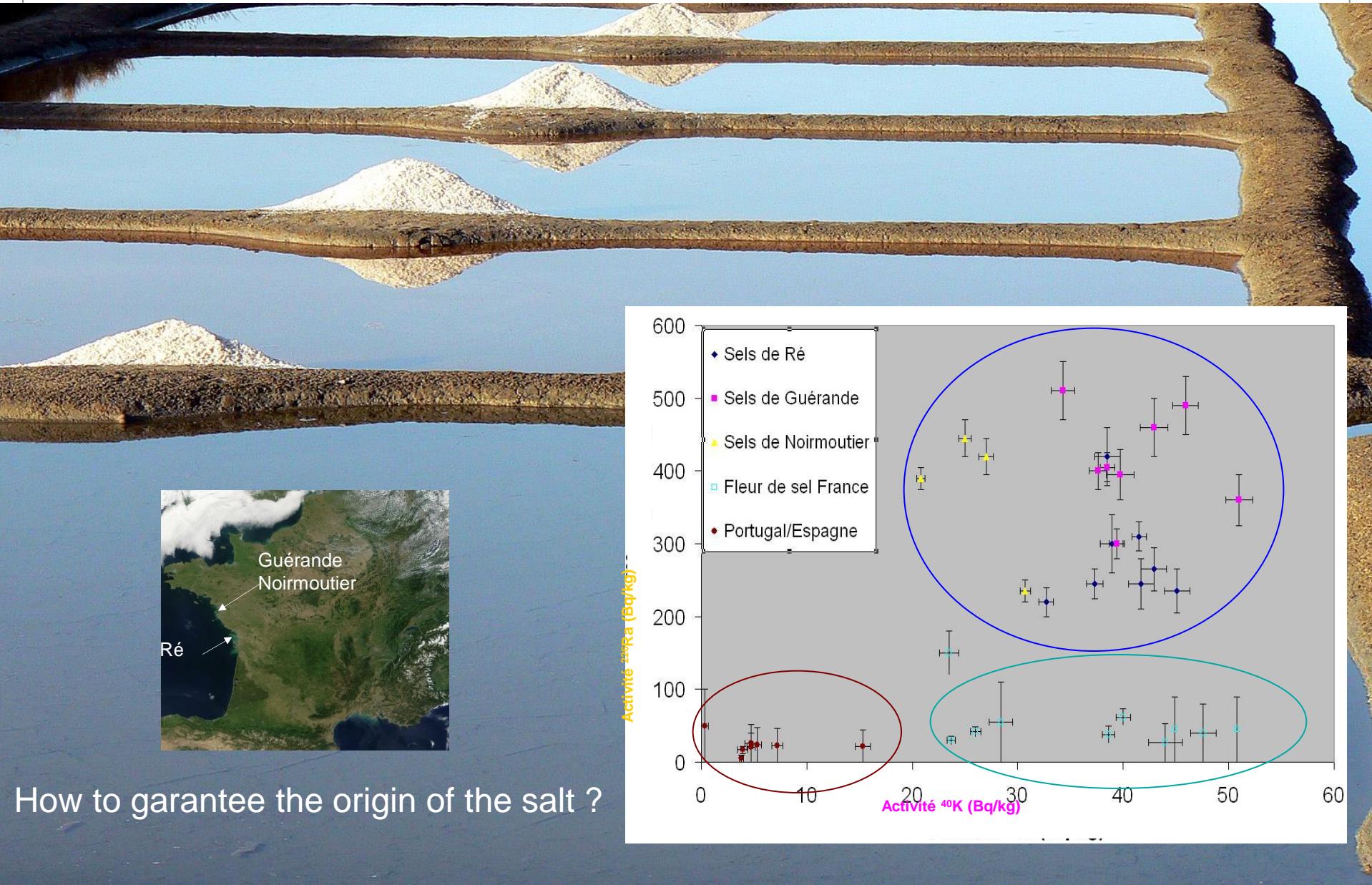


Surveillance de la pêche



- 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





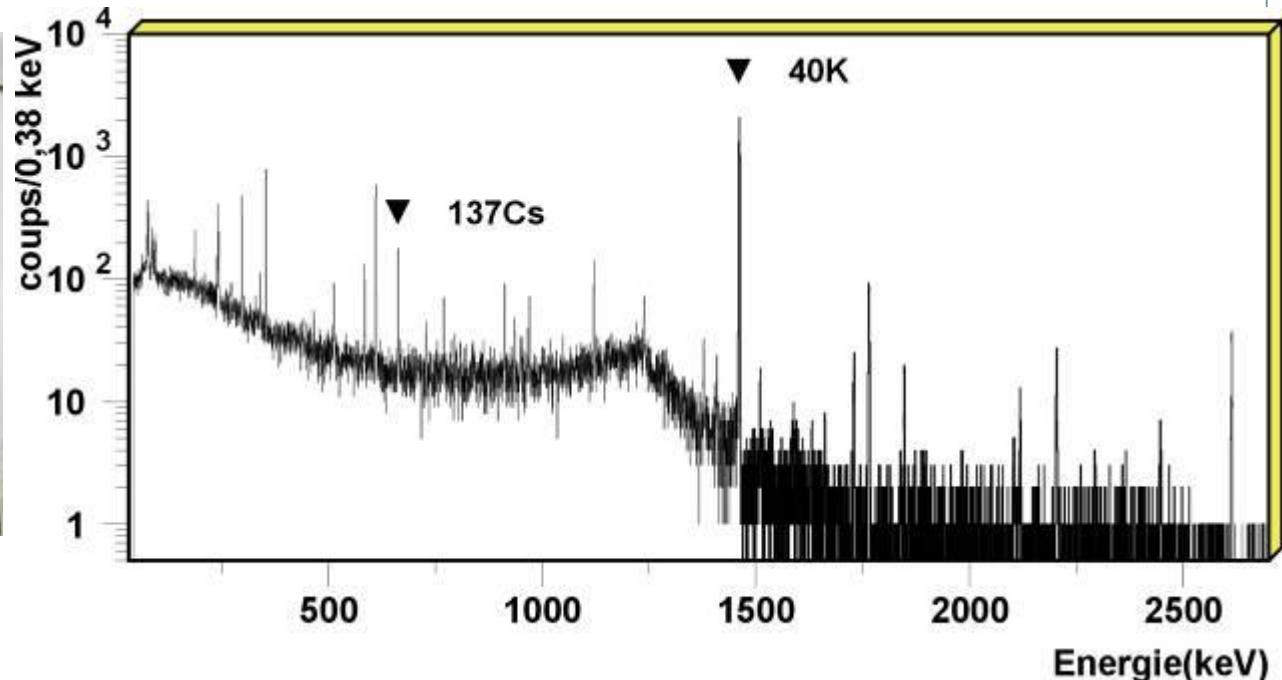
Mise en vente exceptionnelle
pour l'an 2000



Mesures non destructives

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

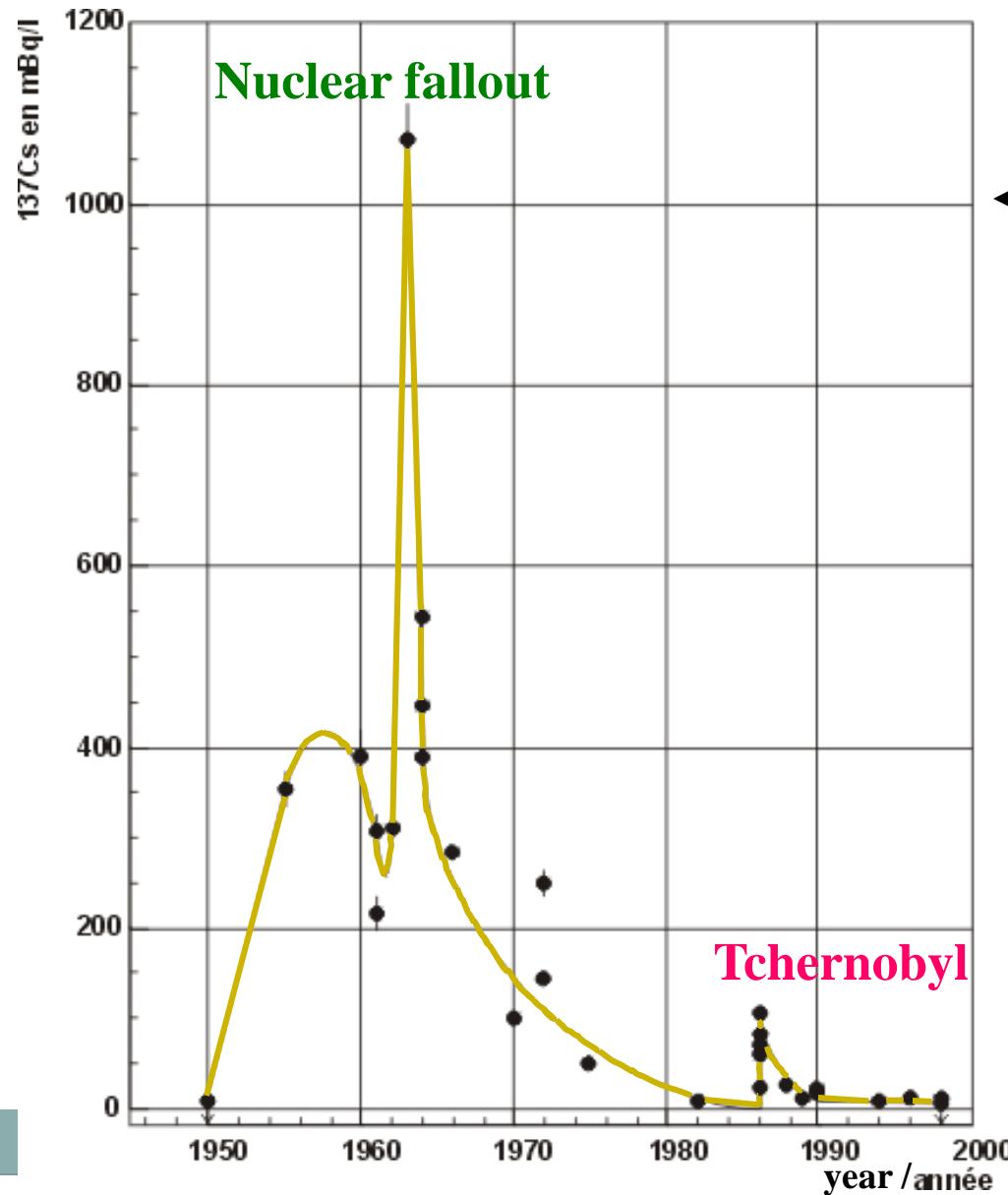
est très peu atténuée par le verre



No ^{137}Cs in glass

Only trace of ^{137}Cs in corks

^{137}Cs Activity (mBq/l)

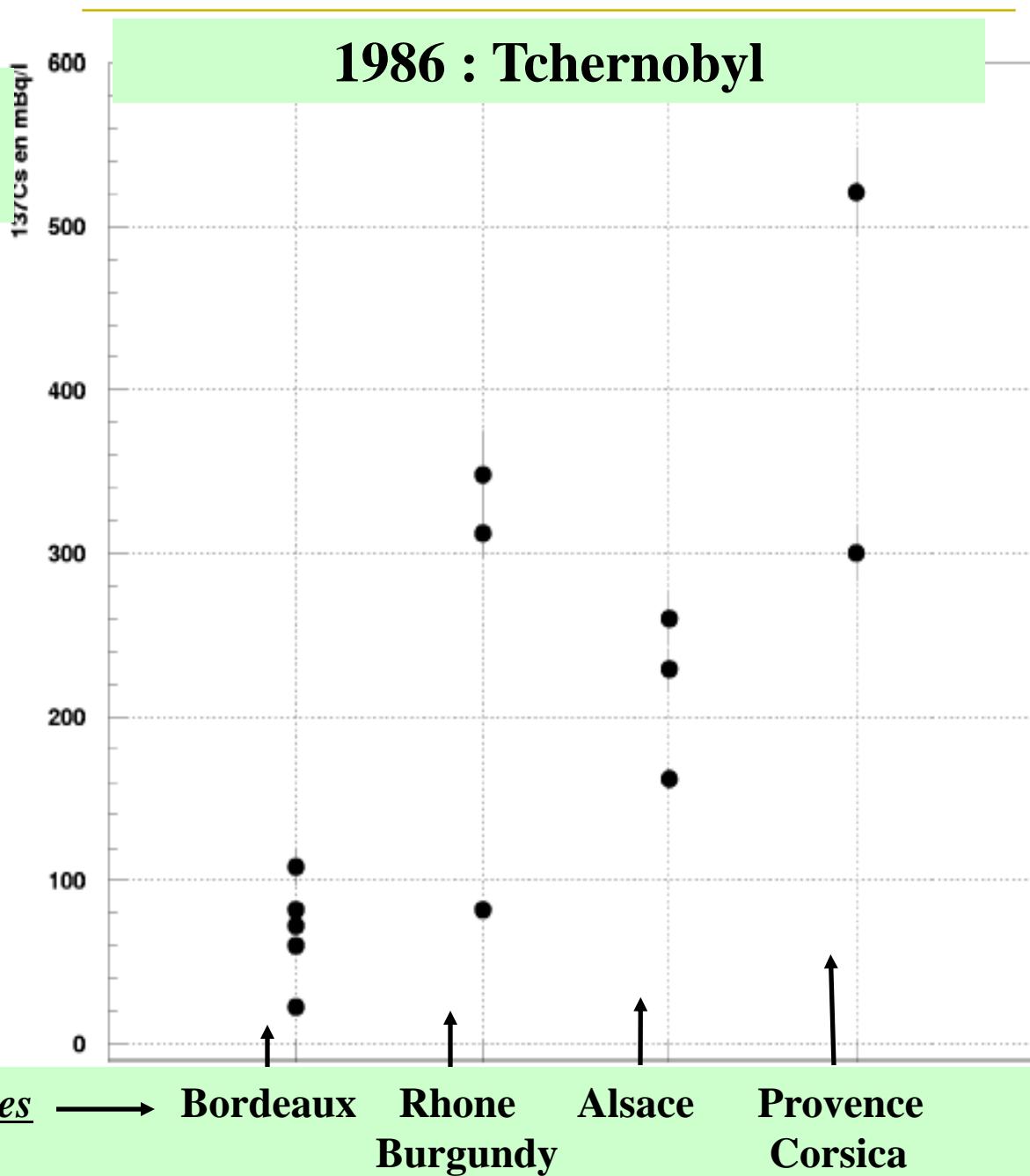


← 1 Bq/l

Échantillon = 75 cL

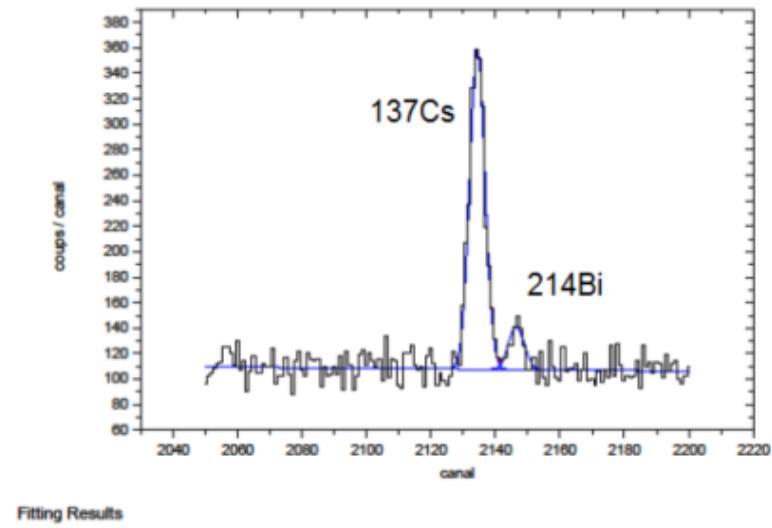
1986 : Tchernobyl

^{137}Cs activity
mBq/kg





Margaux
1900 ?



Conclusion



- Reconstitution de l'histoire d'écosystèmes et prédition 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
- [jean-louis.reyss@lsce. ipsl.fr](mailto: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