

Le Radon

Origine – Détection - Capture

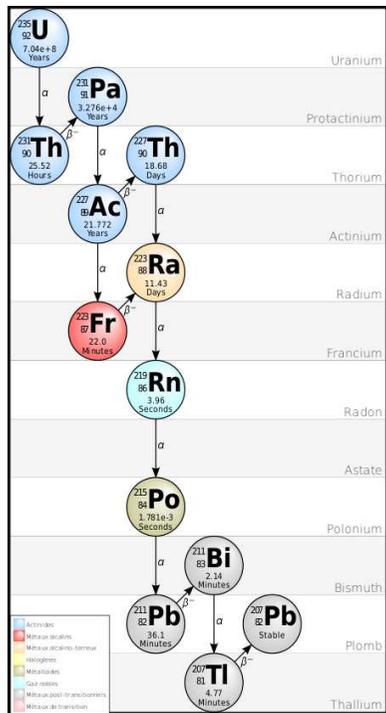
(Une rapide et incomplète introduction)

Jose Busto
CPPM / Univ. Aix-Marseille

IPNL - 23/11/2018

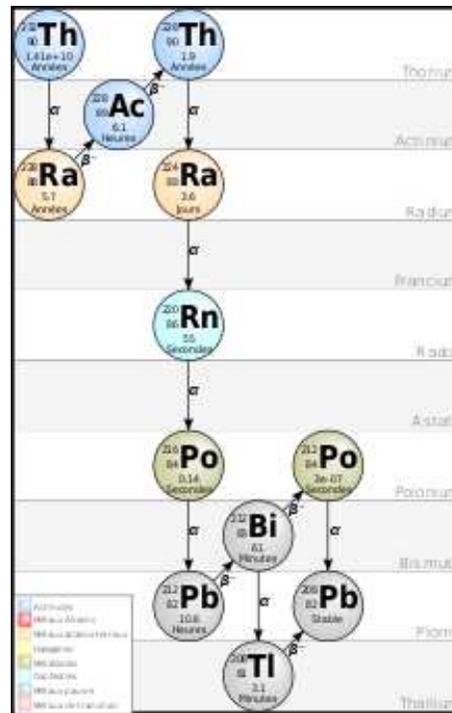
Origine

Le radon est un gaz noble, naturel, radioactif, produit dans les chaînes de l'U et du Th

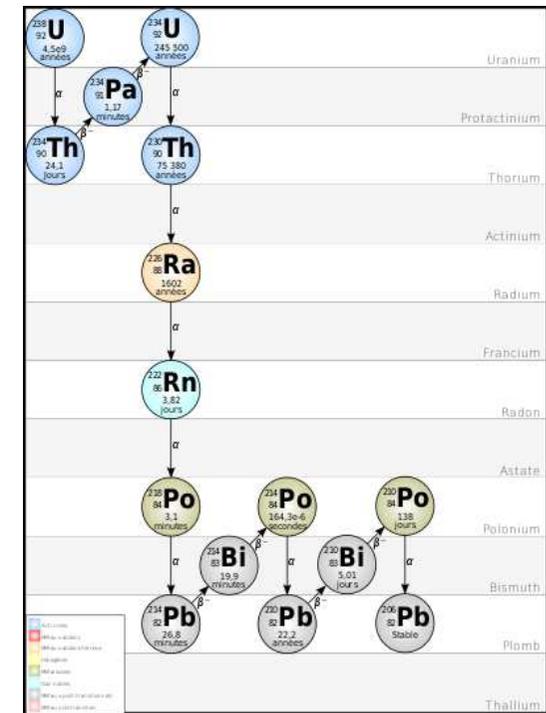


^{219}Rn (3.96 s)

Injecteur à e⁻ dans Katrin

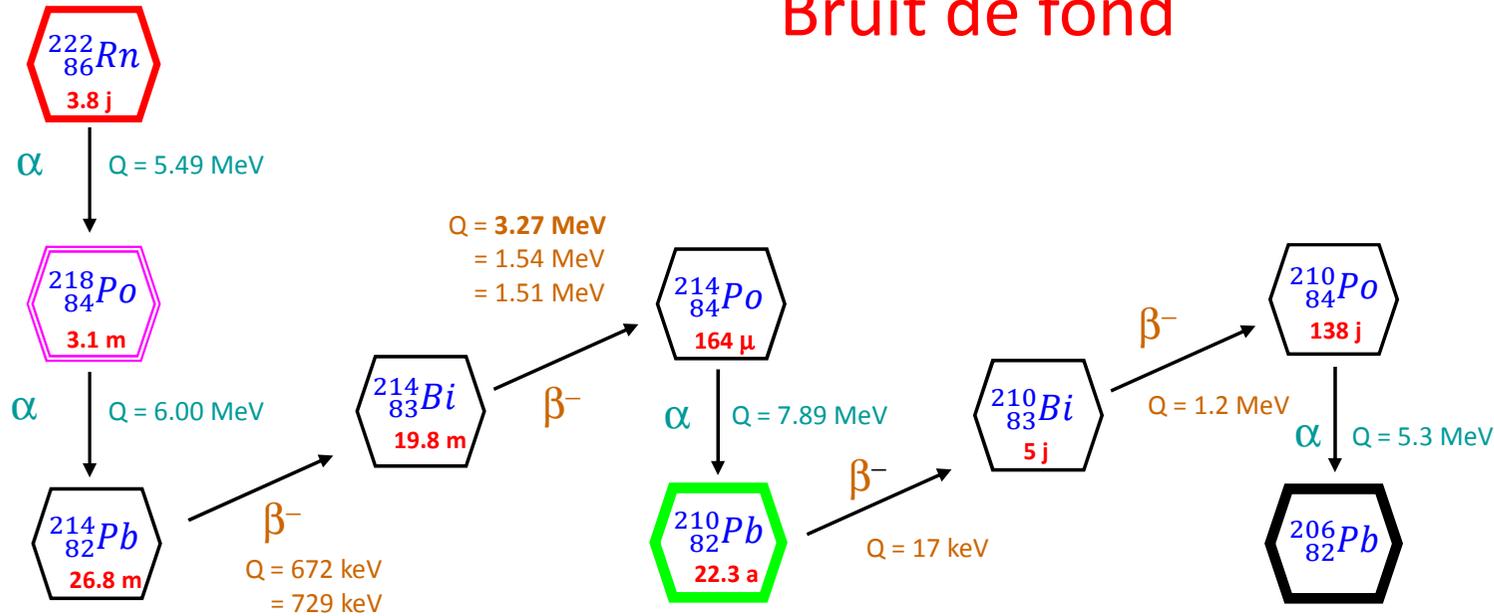


^{220}Rn (55 s)



^{222}Rn (3.82 j)

Bruit de fond

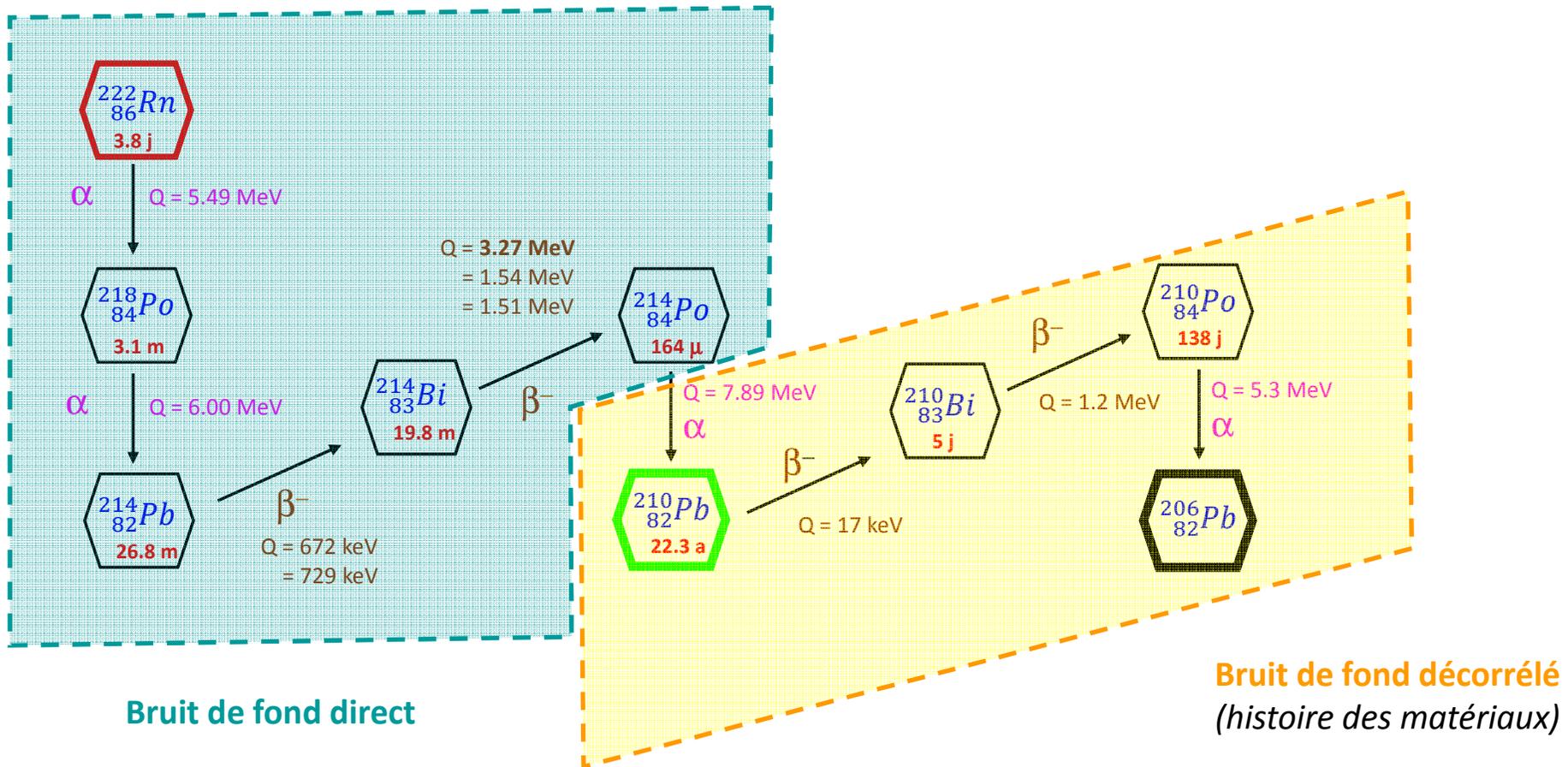


α	5 à 8 MeV
β	$\leq 3.27 \text{ MeV}$
γ	$\leq 2.20 \text{ MeV}$
Recul noyau	$\sim 100 \text{ keV}$

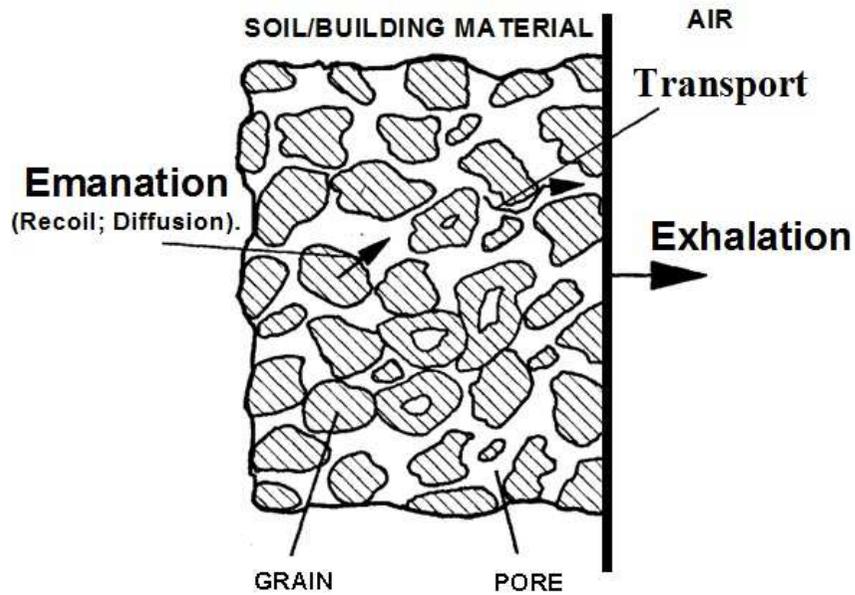
← $\beta\beta$ decay

← MIMAC

Deux composantes de bruit de fond



Emanation

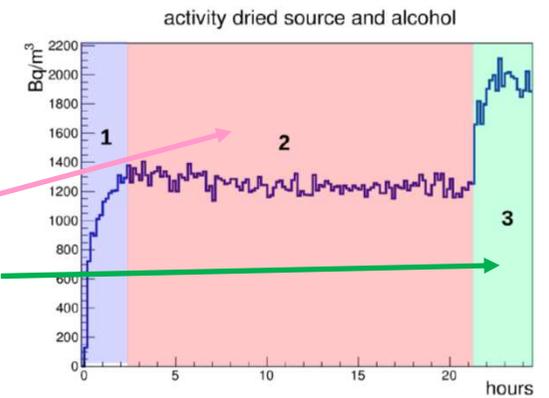


Dépendance avec :

- : la porosité,
- : l'état de surface
- : température
- : milieu environnant *
- : etc

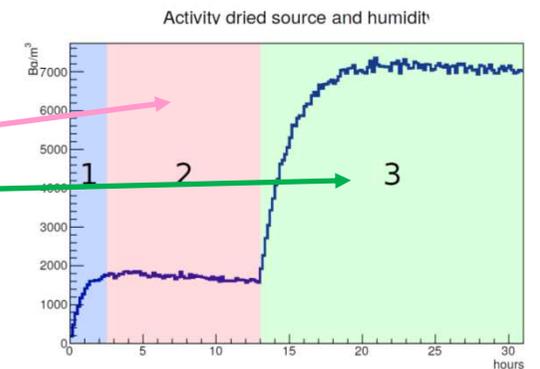
Emanation dans :

- He pur (2)
- He + 5% éthanol (3)



Emanation dans

- He pur (2)
- He + 5% eau (3)



Emanation



Bordeaux emanation setup

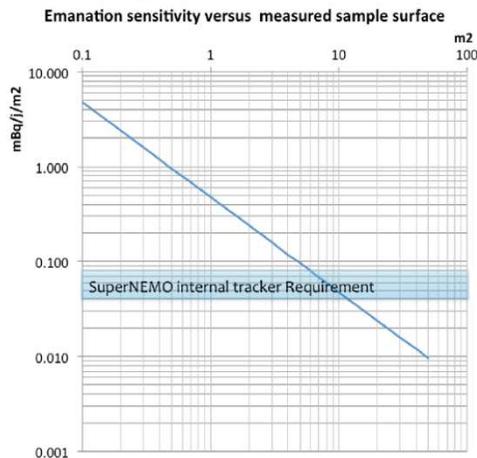
Chambre d'émanation 700 L (N₂)
CENBG



Dispositif d'émanation q.q. cm³ (vide)
MPK - Heidelberg

²²²Rn emanation rates for different samples

Sample description	²²² Rn emanation rate
Copper foil	$(1.7 \pm 0.2) \mu\text{Bq m}^{-2}$
Copper foil rinsed with distilled water	$(1.2 \pm 0.2) \mu\text{Bq m}^{-2}$
TIG welds, not treated	$(0.36 \pm 0.04) \text{mBq m}^{-1}$
TIG welds, etched and passivated	$< 0.1 \text{mBq m}^{-1}$
TIG welds, electropolished	$(0.10 \pm 0.04) \text{mBq m}^{-1}$
TIG welds, electropol, etched and passivated	$< 0.04 \text{mBq m}^{-1}$
Carbosieve TM S111 (820 m ² /g)	$(0.67 \pm 0.17) \text{mBq kg}^{-1}$



Le plus souvent émanation dans le vide ou dans l'N₂ ou l'air

➔ Emanation dans le gaz ou liquide de détection ??

➤ Très abondante littérature : <https://deapclean.org/radon/>

Emanation

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A329 (1993) 291–298
North-Holland

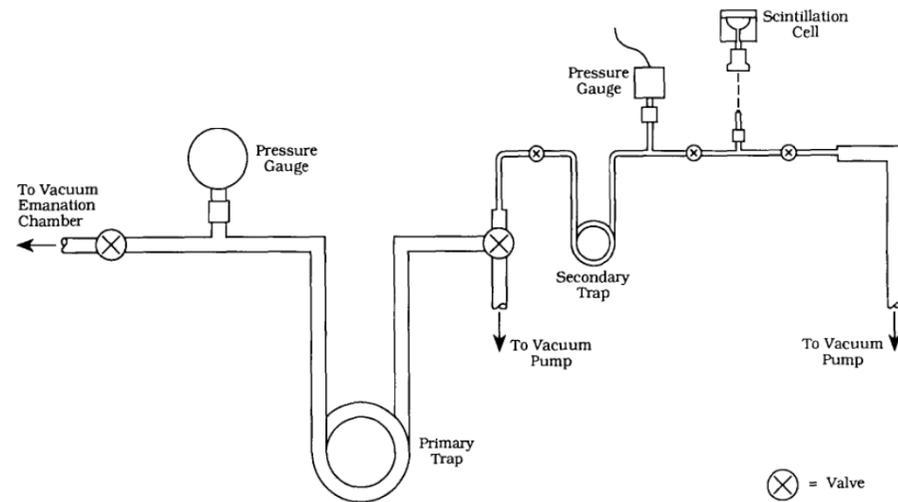
De mesures qui peuvent mener loin !

^{222}Rn emanation into vacuum

Manqing Liu, H.W. Lee and A.B. McDonald

Department of Physics, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada K7L 3N6

Received 3 November 1992



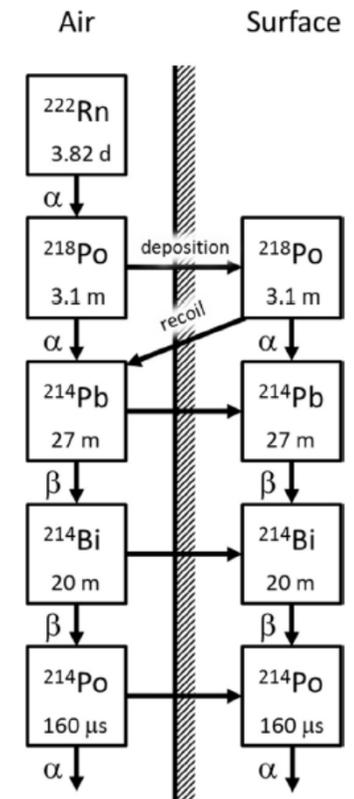
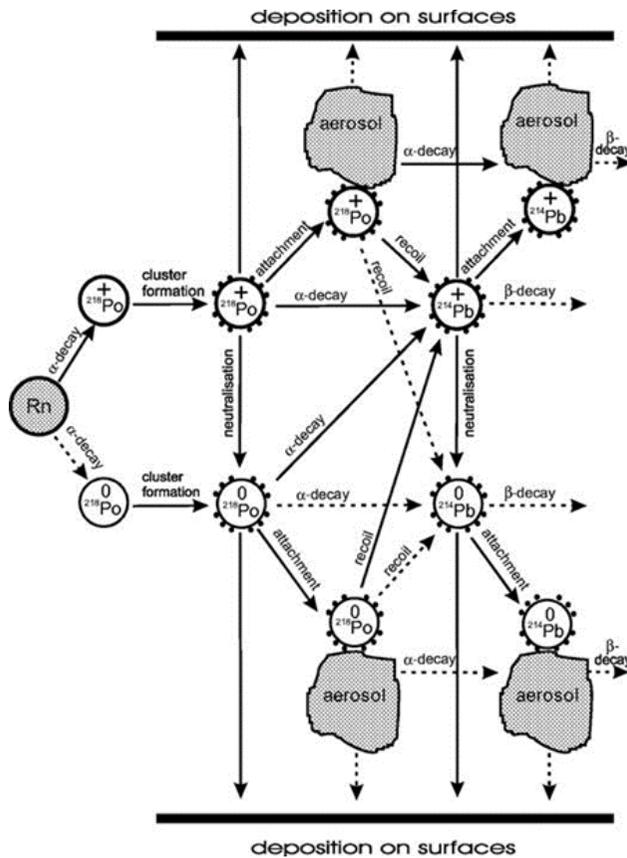
Dépôt

La plus grande composante du bruit de fond vient des descendants du Rn



- Formation de clusters
- Dépôt sur aérosols ou surfaces

Dépend de : la neutralisation du ^{218}Po
 : la concentration aérosols
 : la composition de l'air (gaz)
 : etc

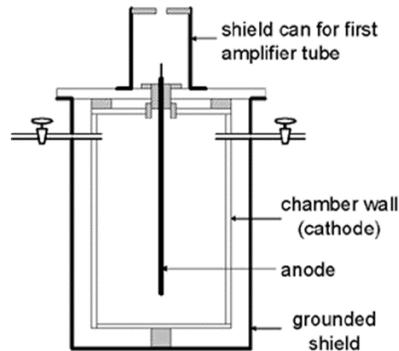


Détection

REMARQUE : Radon, deuxième cause de mortalité par cancer du poumon (OMS)

=> Problème de radioprotection et sante publique

=> très grande variété de détecteurs de toutes sortes dans le commerce



Chambre d'ionisation



Sensibilité ~ 1 Bq/m³



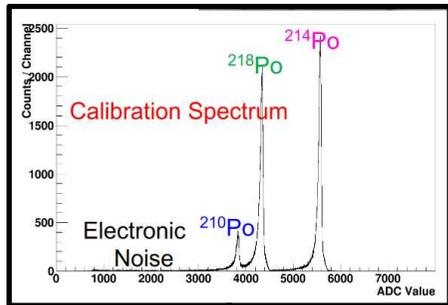
AlphaGUARD,
(La Rolls des détecteurs du commerce)



Détecteurs à diffusion

RAD 7
référence commerciale

sensibilité $\sim 1 \text{ Bq/m}^3$

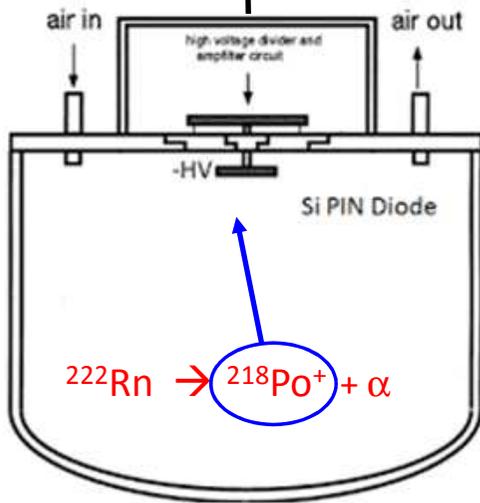


Grand nombre de détecteurs de gros volume (50 a 80 L)

(SuperNEMO, SuperK, SNO, DarkSide, ...)

SuperNEMO

DarkSide

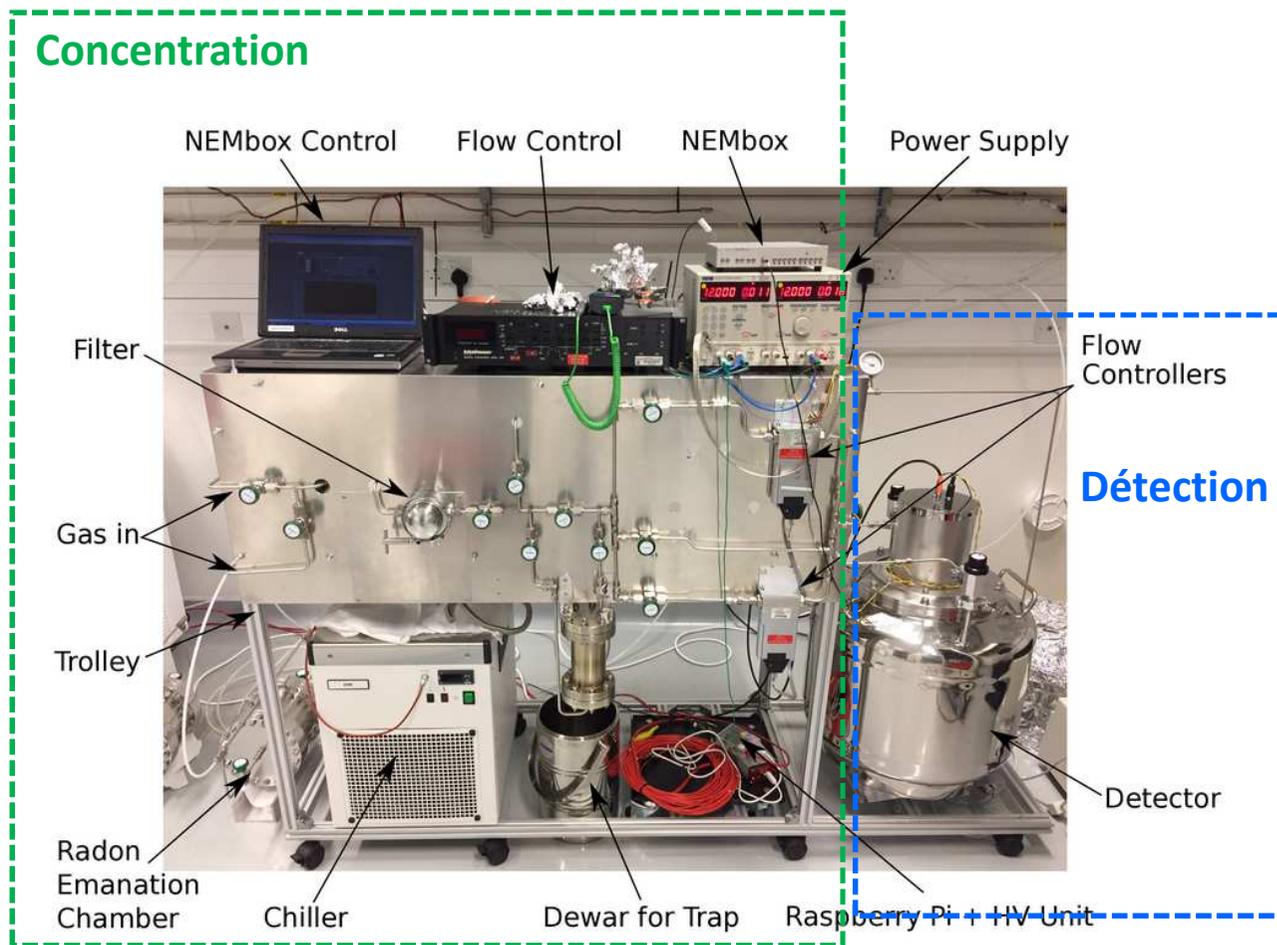


Limitation : Neutralisation du ^{218}Po
=> composition du gaz
=> taille maximale

Sensibilité $\sim 1 \text{ mBq/m}^3$

Mesures extrêmes

Détection avec pre-concentration



SuperNEMo (UCL)

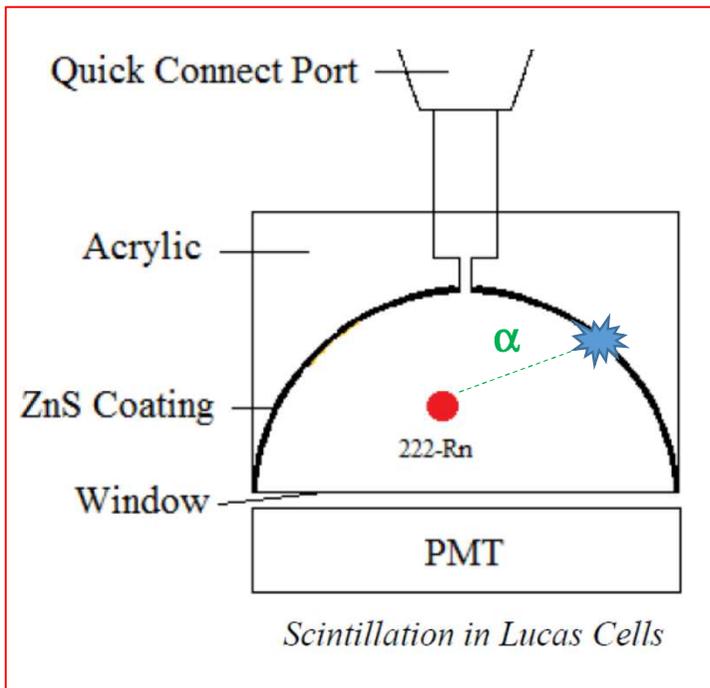
Compteurs de Radon : Cellule de Lucas

Détection des alphas dans du ZnS (très fine couche)

=> transparent aux β et γ

=> pas de résolutions en énergie (simple comptage)

=> dépendance avec le range des α

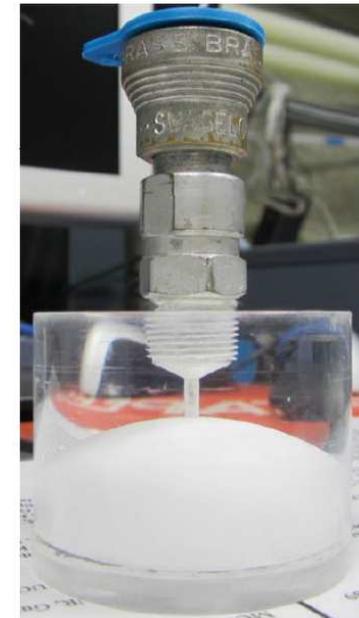


Cellules ultra bas bruit \rightarrow SNO

Efficacité : $\sim 74\%$

BdF : 3 cpd

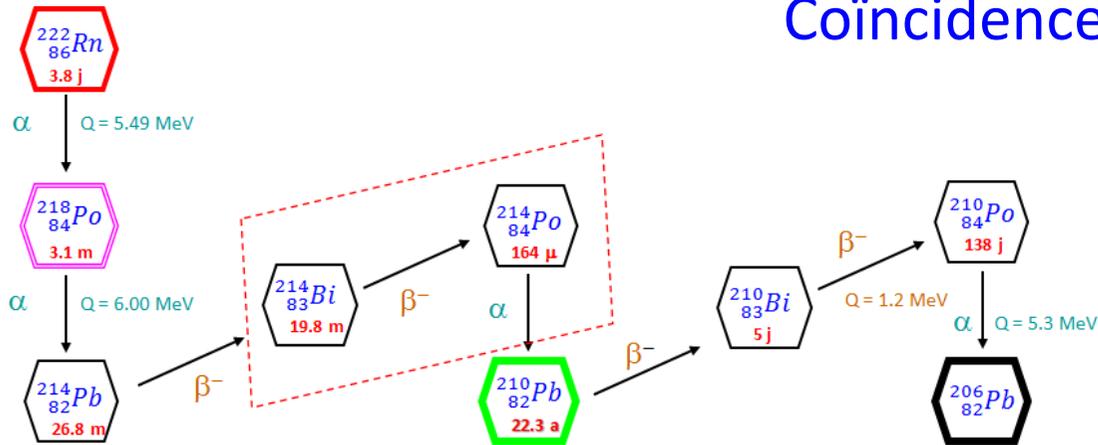
Volume : 12 cm^3



SNO Lucas Cell

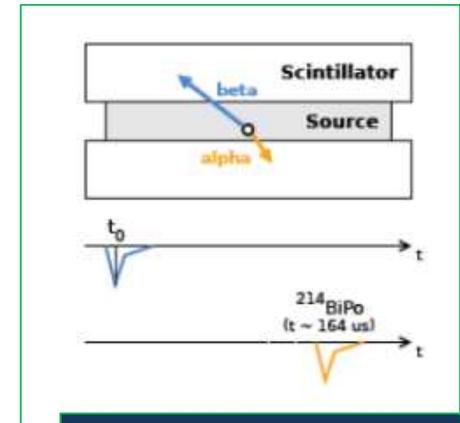
Détection

Coïncidence Bi-Po



Coïncidence $\beta - \alpha$ à 164 μ s

Peut être très utile pour augmenter la sensibilité dans la détection du Rn

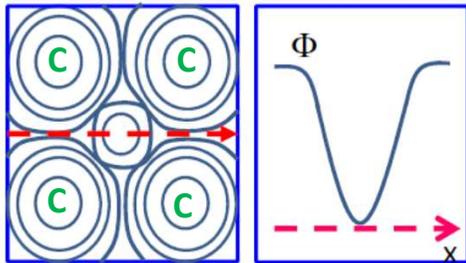


< 10 μ Bq/kg for ^{214}Bi

Capture

Rn gaz noble => pas de réaction chimique => Physisorption => Capture en surface

forces de Van der Waals

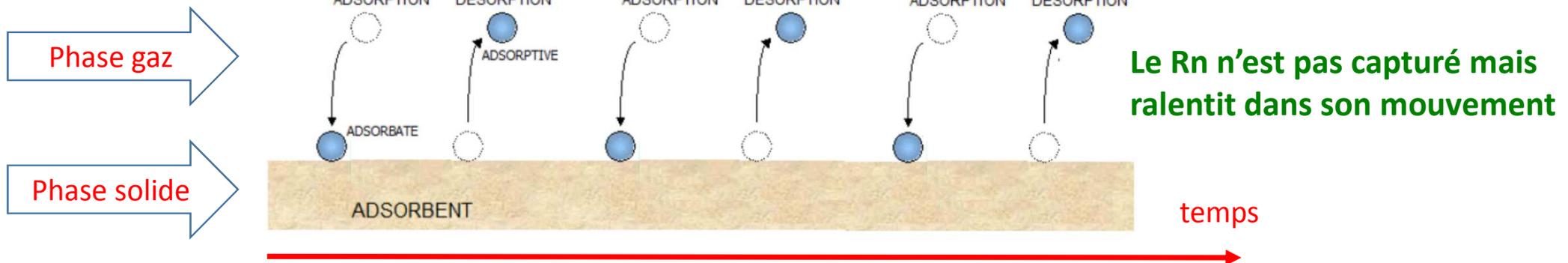


Les irrégularités d'une surface engendrent de puits de potentiel

Si Φ est beaucoup plus petit que kT , l'atome de Rn n'est pas piégé (phase gaz)

Si Φ est beaucoup plus grand que kT , l'atome de Rn est piégé (phase solide)

Equilibre adsorption – désorption



Capture

=>

Pour augmenter la capacité d'adsorption

- augmenter la surface
- diminuer la température



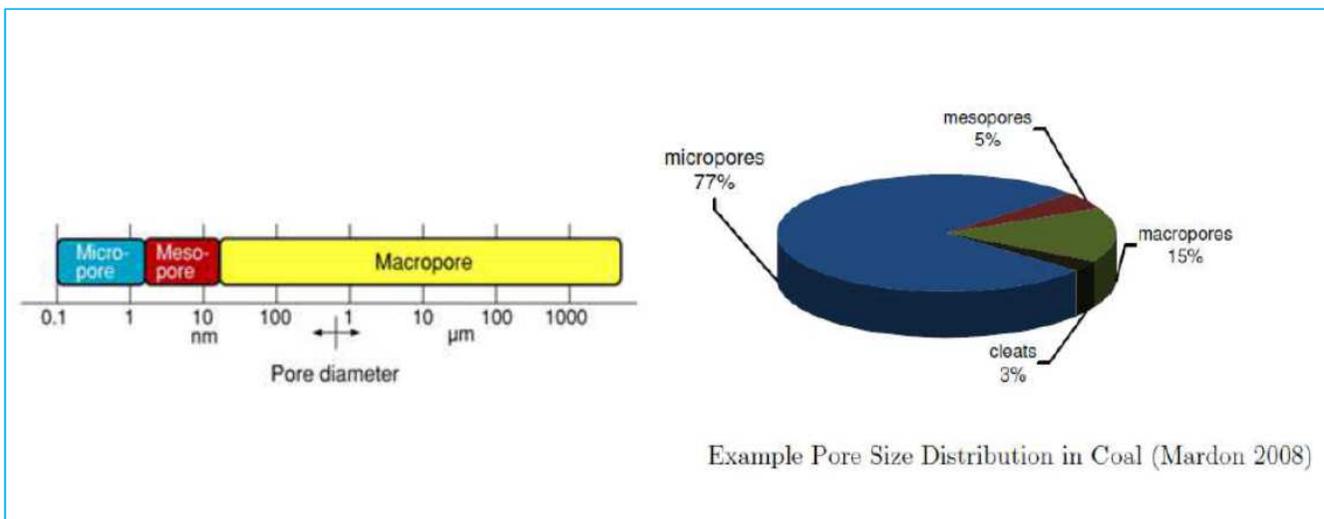
Adsorbants poreux



Ex: charbon Actif

Très grande Surface Effective : ~ 1000 - 2000 m²/g

Mais avec une porosité très variée.

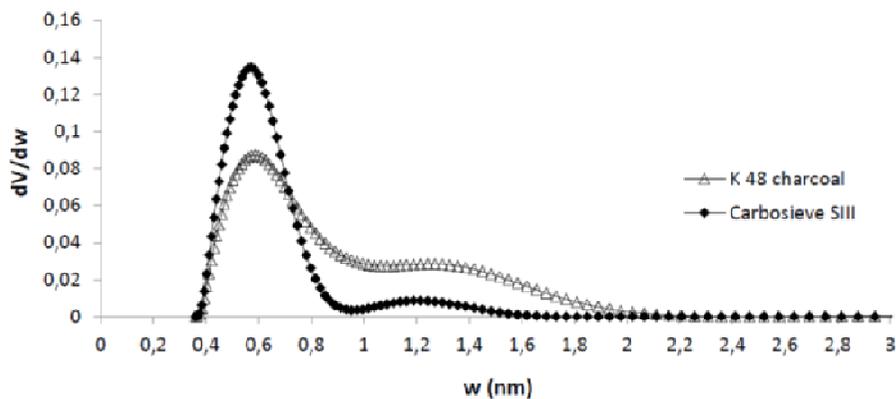
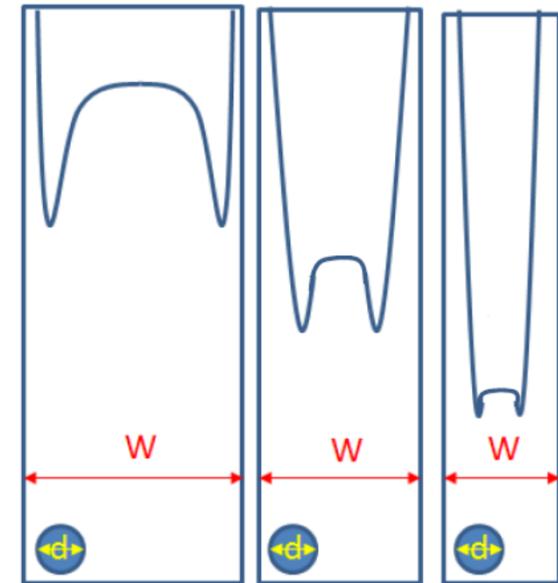


Capture

La taille et la forme des pores joue un rôle important dans la capacité de rétention du Rn

W : taille pore
d : taille atome Rn

Si $W \gg d \Rightarrow$ puits peu profond, faible rétention
Si $W < d \Rightarrow$ puits profond mais le Rn n'entre pas
Optimum : $W \approx 1.5 \text{ à } 3 d$



Distribution de la taille des pores

- dans un charbon actif \Rightarrow distribution large (K48)
- dans un tamis moléculaire \Rightarrow distribution étroite (Carbosieve)

Capture

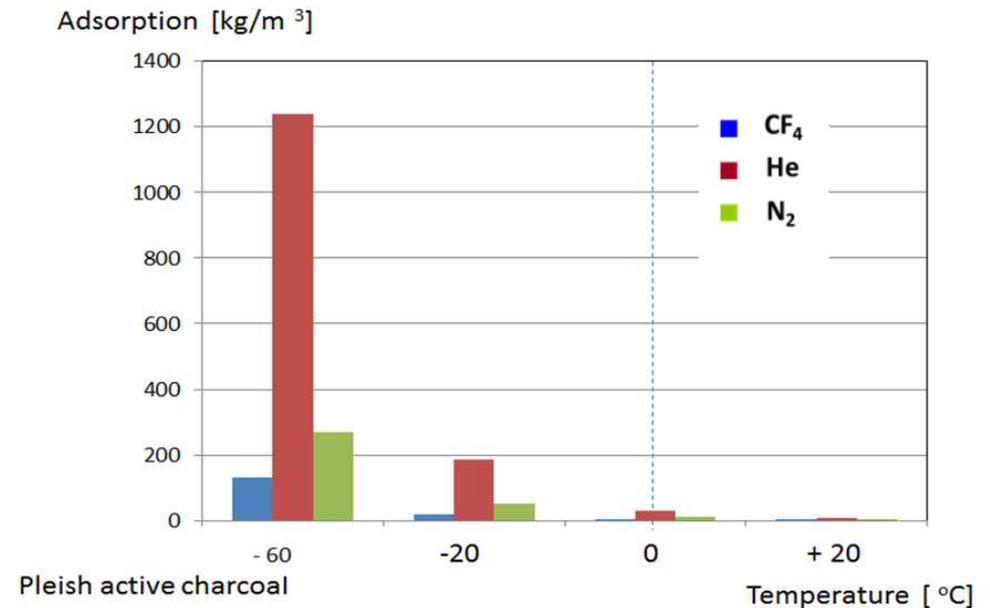
Compétition entre composantes du gaz

Atome	Atom. Radius (nm) Van der Waals
He	0.140
N	0.150
CF ₄	0.155
Ar	0.188
Kr	0.202
Xe	0.216
Rn	0.220

Forte compétition entre le Xe et le Rn

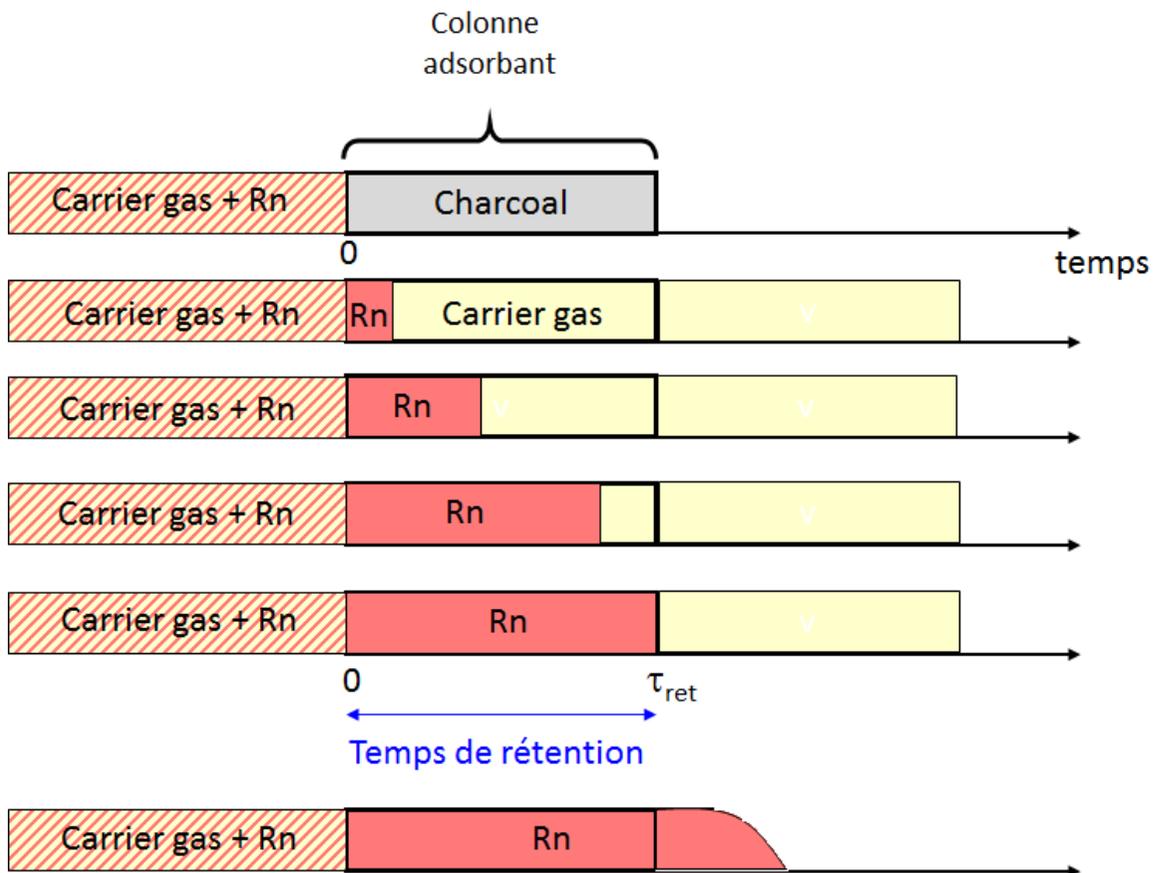
=> Très difficile d'enlever le Rn du Xe par adsorption.

Capture de Rn dans un Charbon Actif pour 3 gaz



Capture

Capture du radon par chromatographie



Vitesse carrier > Vitesse Rn

↳ Séparation des deux composantes

Tant que $t < \tau_{ret}$ pas de radon à la sortie

➤ Réduction de la concentration de Rn



$$\frac{C_{Rn}(out)}{C_{Rn}(in)} = \exp \left[- \ln 2 \cdot \frac{\tau_{ret}}{T_{1/2}} \right]$$

$$T_{1/2} = 3.8 \text{ j}$$

Capture

Temps de rétention v.s. capacité de capture

Chromatographie =>

$$\tau_{ret} = \frac{M}{\Phi} \times K$$

M : masse adsorbant

Φ : flux de gaz

K : Coefficient de capture

$$K = \frac{\text{Concentration Rn dans l'adsorbant}}{\text{Concentration Rn dans le gaz}} \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

K dépend de

- ❖ propriétés microscopiques de l'adsorbant (porosité, *composition chimique*)
- ❖ Température
- ❖ ...

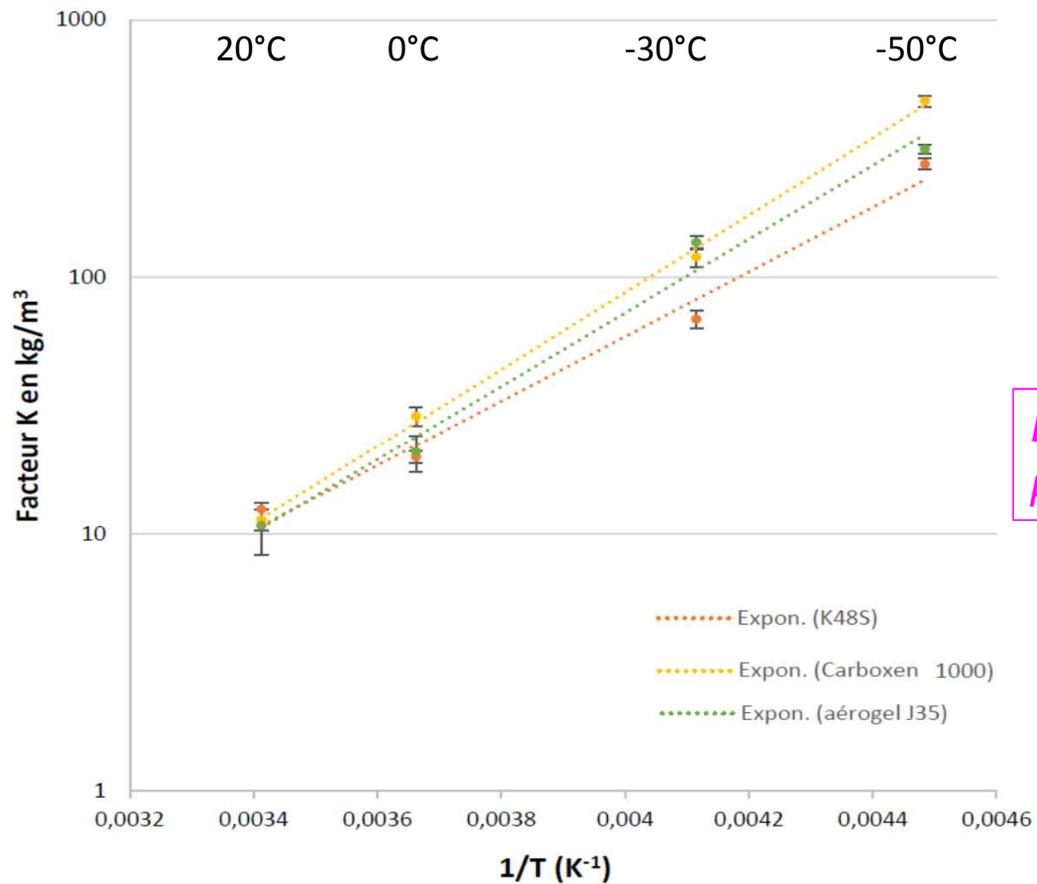
(pas si noble) →

Table 1. Experimentally identified noble-gas hydride molecules by the year 2009.

		HXeH
		HXeI
		HXeBr
		HXeCl
HArF	HKrCl	
	HKrF	
	HKrCN	HXeCN
		HXeNC
		HXeOH
		HXeO
		HXeOXeH
		HXeSH
		HXeNCO
	HKrCCH	HXeCCH
	HKrCCCN	HXeCCCN
		HXeCCXeH
		HXeCC
	HKrCCCCH	HXeCCCCH

Capture

Dépendance de K avec la température
(Loi d'Arrhenius)



$$k = Ae^{-\frac{E_a}{RT}}$$

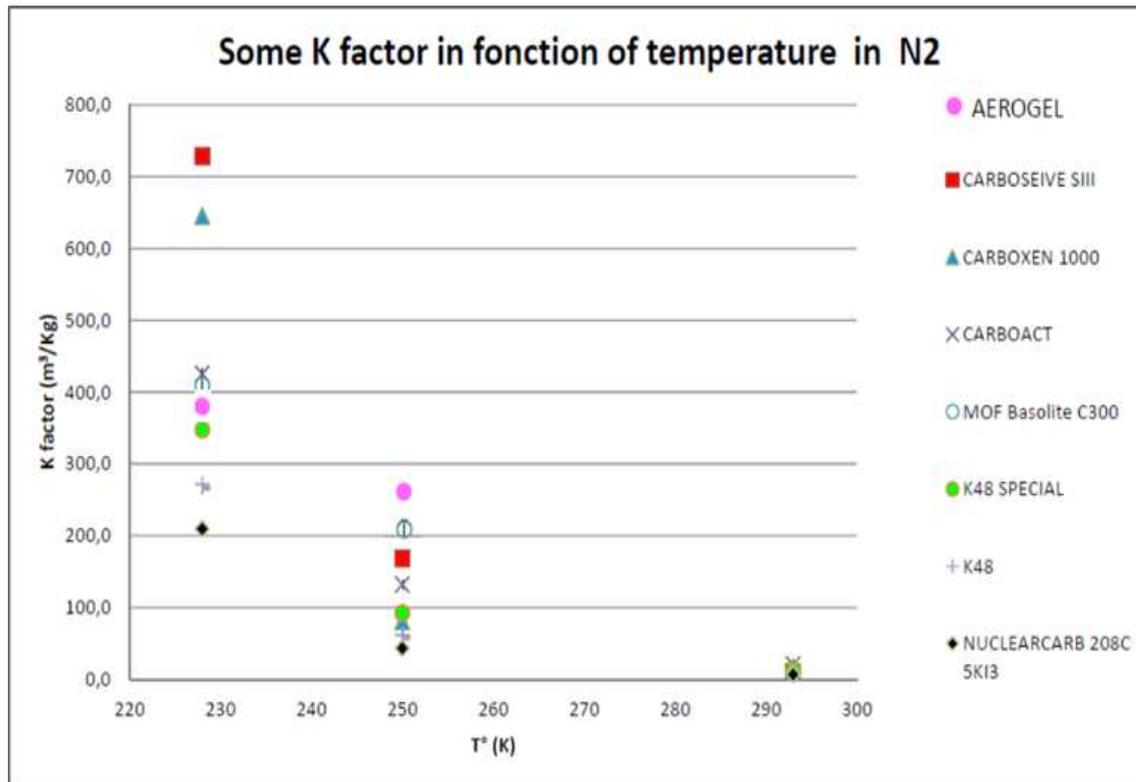
- A = Pre-exponential Factor
- E_a = Activation Energy
- R = Gas Constant
- T = Temperature in Kelvin

La température est un paramètre important pour augmenter la capture du Rn

Capture

Mesures de K (Marseille)

T = 20°C, -30°C, -50°C, -80°C dans l'N₂ et He



Physico-chimie coll.

K v.s. Porosité

=> Taille optimale pour la capture du Rn

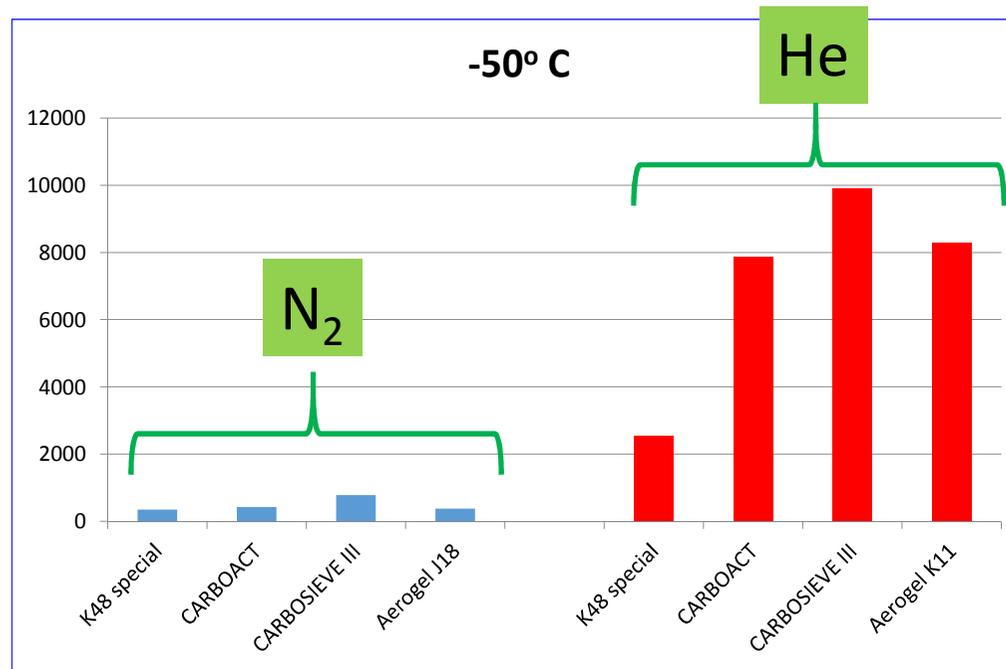
R optimal (pores) → 0.5 - 0.7 nm

- Charbons Actifs
- Tamis moléculaires organiques
- Metal Organic Framework
- Aerogels
- Zeolites

Conclusion

- Rn est l'une des principales sources de bruit de fond en physique et astrophysique des particules à basse énergie.
- Progrès important dans la prise en compte de ce BdF (émanation, détection,...)
- Mesures difficiles et longues (chimie-physique, matériaux ...)
=> Besoin de métrologie précise.
- On a besoin d'une coordination des savoirs et d'un renforcement interdisciplinaire.

K_factor for several materials in He / N₂



Very low competition between Rn and He

Last but not least : Emanation

Radioactivity of some active charcoals

Charcoal sample	Activity (Bq/kg)			
	^{137}Cs	^{40}K	^{228}Th	^{226}Ra
K48	0.23 ± 0.07	306 ± 8	≤ 0.11	≤ 0.25
K48 spe	0.22 ± 0.07	19 ± 2	0.36 ± 0.13	0.28 ± 0.18
EnviroCarb 207c 8x16 US	1.1 ± 0.1	256 ± 8	0.45 ± 0.11	0.23 ± 0.17
KG10	≤ 0.22	≤ 3.3	14 ± 1	23 ± 1
NuclearCarb 208c 5ki3	≤ 0.13	475 ± 12	≤ 0.11	≤ 1.7
NuclearCarb 208c 5TEDA	≤ 0.23	335 ± 12	0.64 ± 0.16	≤ 0.30

Radon emanation from the trap it self

- *Very pure adsorbent (synthetic materials)*
- *Mass of adsorbent as low as possible*

▪ *Self adsorption can help*

J –Trap (SuperNEMO)
 $20 \pm 10 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$
 with standard Active Charcoal @ -80°C

