

## Effets Nucléaires Inconnus et Compositions Isotopiques Anormales

HERVE BOTTOLIER-CURTET

Contribution à titre privé, présentée aux Journées d'Etudes des 26 et 27 novembre 2003, organisées par la Fondation Louis de Broglie  
«Existe-t-il des réaction nucléaires à des niveaux d'énergie atomique?»

### 1 Introduction

Des RNFE (Réactions Nucléaires à Faible Energie, au seuil inférieur au keV/atome, voire à l'eV/atome, à comparer au seuil «classique» du MeV/atome) sont scientifiquement mises en évidence depuis une quinzaine d'années dans de nombreuses expériences dites de «Fusion Froide».

Un des arguments de l'existence de ces réactions (que nous appellerons de manière plus large «Effets Nucléaires Inconnus» ou ENI) dans ce type d'expériences repose sur la présence d'éléments dont la Composition Isotopique (CI) s'écarte fortement de la CI Standard (CIS). On qualifie alors ces CI de Compositions Isotopiques Anormales (CIA).

Nous préciserons tout d'abord les différences existant entre les CIS, les Compositions Isotopiques Non Standards (CINS), phénomène physique bien connu et utilisé dans différents domaines d'études, et les CIA.

Puis nous verrons que si les chercheurs en RNFE sont confrontés, à leur grande satisfaction, à des CIA, ils ne sont pas les seuls à l'être.

En effet, physiciens de l'atmosphère, cosmochimistes, volcanologues, géologues, archéologues, ..., tous sont confrontés à d'incontournables problèmes de CIA.

Mais pour ces chercheurs, la satisfaction cède le pas à l'embarras

### 2 Compositions Isotopiques Standards, Non Standards et Anormales

Nous limiterons notre propos aux isotopes stables pour ces 3 catégories de CI.

Les CIS sont les CI que l'on trouve sur terre ou dans le système solaire (soleil, lune, planètes, ...), héritées de la nébuleuse proto-solaire, elle même

ensemencée en isotopes créés par nucléosynthèse stellaire dans les générations précédentes d'étoiles.

Les CINS, elles, sont bien connues, répertoriées et expliquées par les phénomènes physiques suivants :

- fractionnement isotopique,
- décroissance de radio-éléments (expliquant notamment les CINS du Pb terrestre),
- nucléosynthèse par spallation de rayons cosmiques,
- contribution de différentes étoiles à la signature isotopique différente,

et marginalement, la nucléosynthèse réalisée par un réacteur nucléaire naturel à fission de type Oklo.

Le processus le plus courant est le processus de fractionnement isotopique : un processus physique - évaporation, condensation, diffusion, diffusion thermique, gravité, transitions de phases, échappement d'une atmosphère planétaire, photolyses, ...- ou un processus chimique peut favoriser un isotope plus lourd ou plus léger, ce qui conduit à une CI qui s'écarte de la CIS.

On chiffre l'écart isotopique par un Delta Isotopique noté  $\delta E$  ( $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$ ,...) exprimé en pour mille par rapport à l'isotope le plus abondant. Les écarts isotopiques  $\delta E$  maxima rencontrés dans les CINS sont en effet faibles, de l'ordre de 10 pour mille (soit 1%), à l'exception de C, N et O pour lesquels ils peuvent atteindre 10%, de S, Ca et Pb pour lesquels ils peuvent atteindre les 20% et de H, He et Ne pour lesquels ils peuvent atteindre les 100% [1, 2].

Car le fractionnement isotopique vaut surtout pour les isotopes légers (disons  $A < 40$  soit le Calcium), une différence de masse de 1 pour des isotopes plus lourds devenant rapidement négligeable.

Ces CINS sont largement utilisées par la communauté scientifique comme indicateurs de phénomènes physiques : variation de 3% de la présence de  $^{18}O$  dans les carottes polaires reliée à la température du globe, variation de 3% de la présence de  $^{13}C$  dans la Chlorophylle reliée aux régimes alimentaires des herbivores et carnivores, variation allant jusqu'à 23% de la présence du  $^{204}Pb$  dans les sols reliée à la discrimination entre plomb endogène et plomb d'origine industrielle et automobile, ...

Les CIA, à l'inverse des CINS, se caractérisent par les 2 faits suivants :

- les mécanismes invoqués pour les CINS ne sont pas impliqués,
- les écarts isotopiques sont très forts et atteignent 10 000 pour mille pour **certains éléments, voire davantage.**

Il faut souligner ici que les chercheurs ayant publié les compilations [1, 2] mentionnent l'existence de mesures de CIA. Par exemple, celles obtenues dans des échantillons géologiques pour Ar, Kr, Rb, Zr, Mo, Ru, Pd, Ag, Cd,

In, Sn, Sb, Te, Xe, Ba, La, Sm, Eu, Gd, Dy, Er, Yb, Lu et Os [1]. Mais ces mesures sont systématiquement écartées car supposées être entachées d'erreurs, même si celles-ci ne sont pas identifiées.

On aura donc compris que les CINS et les CIA constituent 2 catégories très différentes de résultats.

Nous allons maintenant voir que les CIA se rencontrent dans de nombreux et différents domaines d'études.

### 3 CIA rencontrées en expériences de RNFE (RNMCH)

Les premières expériences de Fusion Froide réalisées en 1989 mirent en évidence, au delà de l'apparition d'un excès de chaleur dont l'intensité ne pouvait être expliquée par l'intervention de réactions chimiques, l'apparition d'Hélium ( $^4\text{He}$ ) et, plus marginalement, de Tritium (l'apparition de  $^3\text{He}$  ne fut mesurée que plusieurs années après), provenant de la fusion D-D.

En 1991, le Pr Matsumoto de l'Université d'Hokkaido fut le premier chercheur à rapporter l'observation d'éléments nouveaux produits par les RFNE : Ne, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, Ar, K, Ca, Ti, Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Ru et In [3].

La présence de gaz rares (Ne et Ar) et d'éléments peu répandus (Ru et In) militait pour la signature de RNFE.

Mais pour les éléments répandus comme Al, Si, Ca, ..., l'hypothèse d'une contamination ne pouvait être encore exclue.

C'est pour écarter cette hypothèse qu'en 1992 le Dr Karabut du laboratoire russe LUTCH mesura les radio-isotopes des nouveaux éléments produits par les RNFE, à savoir le Sr et le Rh [4].

Ce fut lui aussi, qui, dès 1994, fut le premier à mesurer les CI d'isotopes stables : Li, B, Si, K, Ti, Fe, Se, Zr, Mo et Ag [5].

Depuis, dans les expériences de RNFE, plus d'une trentaine d'éléments présentant des CIA ont été mesurés : Li, B, C, O, Na, Mg, Al, Si, S, K, Ca, Ti, Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Br, Kr, Zr, Mo, Ru, Pd, Cd, Xe, Hf, Ir, Pt, Hg, et Pb.

Il serait fastidieux de passer en revue tous ces résultats. Citons pour exemple [6].

Il est important de souligner ici l'universalité de ce type de résultats. En effet, si dans les premières années, les chercheurs ont concentré leurs efforts sur les cellules électrolytiques à eau lourde et cathode en palladium, aujourd'hui, les résultats sont obtenus pour une grande variété de configurations d'expérience :

- différents états de la matière pour l'hydrogène pénétrant le métal : liquide (électrolyte hydrogéné) mais aussi gaz, plasma et faisceau d'ions,

- différents métaux : Pd mais aussi Ti, Co, Ni, Sr, Cs, W, Pt, Au, Pb, U,
- deutérium mais aussi protium.

On constate une constante dans ces expériences : la présence d'Hydrogène (protium ou deutérium) pénétrant un métal, i.e. un milieu condensé, au sein duquel se produisent ces réactions nucléaires. Nous appellerons donc ces réactions des Réactions Nucléaires en Milieu Condensé et Hydrogéné (RNMCH).

Pour résumer les résultats de ces mesures, disons que :

- pour certains éléments, la CI est proche de ou identique à la CIS,
- pour d'autres éléments, la CI est une CIA. Exemples parmi beaucoup : facteur 32 sur le  $^{33}\text{S}$ , facteur 100 sur le  $^{57}\text{Fe}$ , facteur 20 sur le  $^{65}\text{Cu}$ , facteur 15 sur le  $^{202}\text{Hg}$ , ...
- ces CIA sont généralement :
  - . localisées spatialement sur les échantillons analysés dans des zones dont les dimensions se situent typiquement dans la gamme 1-10  $\mu\text{m}$ ,
  - . dépendantes de la profondeur à laquelle est analysée l'échantillon.

Ainsi, un même objet (en l'occurrence, le morceau de métal ayant été chargé en hydrogène) présentera de larges variations de CI selon l'endroit où aura été prélevé l'échantillon à analyser.

#### 4 Bref rappel de CIA rencontrées en dehors des expériences de RNMCH

De nombreuses disciplines sont confrontées à des CIA inexplicées :

- Physique de l'atmosphère (ex : enrichissement en  $^{18}\text{O}$  de l'ozone - atteignant 50%-, du CO, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, ...),
- Cosmochimie
  - . Météorites (nombreux éléments dans différentes classes, ex :  $\delta\text{D} = 5.7$ ),
  - . Comètes (ex : rapport D/H de Hale-Bopp 20 fois supérieur à celui du rapport terrestre),
  - . Poussières interstellaires (ex :  $\delta\text{D} = 25$ ),
  - . Nuages moléculaires (ex :  $\delta\text{D} = 60$ ),
  - . ...
- Volcanologie (ex : rapport  $^3\text{He}/^4\text{He}$  atteignant 37 fois la valeur du rapport de l'atmosphère),
- Géologie (ex : excès d' $^{40}\text{Ar}$ ),
- Archéologie (nombreuses anomalies de datation au  $^{14}\text{C}$ ),
- ...,

Il aurait été intéressant d'examiner en détail ces résultats. Mais le champ d'étude aurait été trop vaste.

C'est pourquoi nous l'avons restreint aux résultats de CIA encore plus problématiques : ceux obtenus pour un même objet.

## 5 Résultats de CIA obtenus sur un même échantillon ou structure

De nombreuses variations de CI sur un même objet, ou une même structure, sont mesurées.

Comme nous l'avons indiqué au paragraphe III, de telles variations sont couramment mesurées sur des échantillons issus d'expériences de RNMCH.

Mais elles le sont également dans toutes les disciplines rencontrant des CIA mentionnées au paragraphe précédent.

Citons entre autres :

- l' $^{18}\text{O}$  de l'ozone atmosphérique [7],
- le D dans la coma de la comète Hale-Bopp [8],
- de nombreux éléments dans différentes météorites (cf infra),
- différents éléments dans différentes poussières interstellaires (cf infra),
- l' $^{40}\text{Ar}$  dans les roches terrestres (datations à l'Argon), exemple : 11 et 18 Ma pour une roche du Simplon [9],
- le  $^{14}\text{C}$  sur terre (datations au Carbone) (cf infra) :
  - . os d'un squelette .de momie égyptienne : 2 000 et 4 000 ans,
  - . carotte du détroit de Béring : 6 mesures de 4 000 à 16 000 ans,
  - . carcasse de bœuf musqué : 17 000 et 24 000 ans,
  - . peintures pariétales préhistoriques : 14 000 et 28 000 ans, 15 000 et 30 000 ans, ...
- différents éléments dans différents échantillons enrichis pour une vaste inter comparaison AIEA en 1991 (cf infra).

Nous n'examinerons en détail que les résultats obtenus pour 3 catégories d'objets : les météorites, les peintures pariétales préhistoriques et les échantillons de l'inter comparaison AIEA 1991.

### 5.1 - Météorites

Les météorites provenant de la ceinture d'astéroïdes entre Mars et Jupiter, notamment les chondrites qui n'ont pas connu de fusion après leur accréation, sont étudiées avec soin car elles sont un témoignage du début du système solaire.

Les plus primitives, et donc les plus célèbres, sont les chondrites carbonées, et parmi elles C1Orgueil et C3Allende.

C'est le domaine scientifique dans lequel le plus grand nombre de mesures de CI a été réalisé puisque celles-ci ont démarré il y a près de 50 ans.

C'est en effet Boato qui dès 1954 démontra une CIA de l'hydrogène (excès de D) dans des chondrites carbonées [10].

Puis D. Black découvrit en 1969 une CIA du Ne (excès de  $^{22}\text{Ne}$ ) dans des chondrites carbonées. En 1972, Black attribue l'origine de ce  $^{22}\text{Ne}$  à une source extérieure au système solaire et appelle cet excès de  $^{22}\text{Ne}$  «Ne-E», E pour extérieur [11].

Ensuite R.N. Clayton [12] découvrit en 1973 une CIA de l'oxygène n'obéissant pas à la loi, pourtant bien vérifiée, dite du «fractionnement de masse» dans une inclusion riche en éléments réfractaires (Al, Ca et Ti) de C3Allende. Il en conclut que l'explosion d'une supernova (SN) à proximité du système solaire en formation a injecté de l'oxygène ayant sa propre signature isotopique dans la nébuleuse proto-solaire.

Depuis, dans les inclusions appelées CAI - FUN pour Calcium- and Aluminium-rich Inclusions - Fractionation and Unknown Nuclear effects (ne représentant qu'une petite partie des inclusions CAI, il est vrai) et dans les chondres (gouttelettes de silicates fondues solidifiées très rapidement), de nombreuses autres CIA ont été découvertes pour près d'une trentaine d'éléments : Li, B, C, N, Ne, Mg, Si, K, Ca, Cr, Ni, Kr, Sr, Zr, Mo, Ru, Pd, Ag, Xe, Ba, Sm, Nd, Sm et W.

La CI peut donc varier à l'intérieur d'une même météorite :

- d'une inclusion CAI - FUN ou d'un chondre à l'autre, distantes d'une dizaine de  $\mu\text{m}$ , voire 1  $\mu\text{m}$  (voir par exemple [13]),
- d'un grain de carbonates à l'autre, grain dont la taille est voisine de 10  $\mu\text{m}$  (voir par exemple [14]).

Ce type de résultats n'est d'ailleurs pas cantonné aux seules météorites. Il est obtenu également pour les poussières interstellaires (voir par exemple [15]). Ce qui lui confère un caractère universel.

Si l'on conserve l'hypothèse de Clayton, les SN ayant des signatures isotopiques différentes, il faut envisager aujourd'hui plusieurs dizaines d'explosions de SN.

De plus, la décroissance in situ de certains noyaux ( $^{26}\text{Al} \Rightarrow ^{26}\text{Mg}$ ,  $^{53}\text{Mn} \Rightarrow ^{53}\text{Cr}$ , ...) place sur ces explosions une contrainte en termes de proximité temporelle extrêmement serrée de quelques millions d'années (voir par exemple [16]).

Enfin, certains rapports isotopiques (comme  $^{48}\text{Ca}/^{46}\text{Ca}$ ,  $^{48}\text{Ca}/^{50}\text{Ti}$ ,  $^{48}\text{Ca}/^{54}\text{Cr}$ , ...) ne peuvent être reproduits par les calculs de modélisation de nucléosynthèse stellaire, certains spécialistes qualifiant la situation d'«intenable» (voir par exemple [17]).

La succession de toutes ces découvertes a ainsi rendu progressivement ce type d'explication de moins en moins probable.

Avec philosophie, et humour, les cosmochimistes, dans l'attente de mieux comprendre ces résultats, ont décidé de baptiser ces résultats du nom de «FUN» pour «Fractionation and Unknown Nuclear effects».

C'est ce terme d' «Effets Nucléaires Inconnus» (ENI) que nous avons choisi de retenir.

Car voilà exactement ce à quoi sont également confrontés les chercheurs en RNMCH.

C'est pourquoi il nous semble rationnel de faire le rapprochement entre ces 2 types de résultats.

C'est également pourquoi nous souhaitons suggérer aux cosmochimistes qui réalisent des expériences de laboratoire pour tenter de reproduire les CIA qu'ils rencontrent, de prendre en compte la configuration d'expériences de RNMCH, configuration qui fait systématiquement intervenir de l'hydrogène (protium ou deutérium) pénétrant un métal.

## 5.2 – Peintures pariétales préhistoriques

La technique de datation par le  $^{14}\text{C}$ , conçue et utilisée dès 1948 par Libby Willard, est aujourd'hui largement utilisée.

Bien adaptée aux périodes remontant jusqu'à 40 000 ans, elle est par conséquent très utilisée dans le domaine de la datation de grottes préhistoriques, et ce depuis plusieurs décennies.

La précision actuelle des mesures est excellente :  $\pm 50$  ans à 10 000 ans,  $\pm 200$  ans à 20 000 ans et  $\pm 400$  ans à 30 000 ans.

D'abord technique de comptage de désintégrations bêta, l'arrivée dans les années 1980 de la nouvelle technique de Spectrométrie de Masse par Accélérateur (AMS) permet de diminuer la taille des échantillons d'un facteur 1 000 (aujourd'hui, avec la nouvelle vague d'appareils, le facteur atteint 10 000).

Cette faible taille d'échantillons a encouragé les archéologues à demander d'avantage de datations dans la mesure où les objets n'étaient plus dégradés par le prélèvement. C'est ainsi que certains archéologues firent et font dater plusieurs fois le même objet.

Le plus souvent, les mesures sont cohérentes entre elles. Par exemple, les 27 mesures d'échantillons prélevés sur 9 peintures de bison situées dans les grottes espagnoles de Covaciella, d'Altamira et d'El Castillo : de 13 000 à 14 500 BP [18].

Mais parfois, elles ne le sont pas, et c'est ce qui rend ces valeurs intéressantes pour notre propos.

Il est en effet fréquent d'avoir des écarts de 5 000, 10 000 voire 15 000 ans :

- 6 000 ans d'écart pour le mégacéros femelle de Cougnac (25 120 et 19 500 BP) [19],
- 9 000 ans d'écart pour un cheval de Chauvet (29 670 et 20 790 BP) [20],
- 15 000 ans d'écart pour les points noirs de Candamo (31 000 et 15 000 BP) [21],
- ....

Rappelons qu'un écart de 15 000 ans correspond à un facteur 6 sur la quantité mesurée de noyaux de  $^{14}\text{C}$  (période 5 730 ans).

Or la précision de la mesure se situe à plusieurs ordres de grandeur en dessous d'un tel facteur.

L'anomalie est donc certaine.

Les 3 hypothèses principalement retenues pour expliquer ces écarts pour un même objet sont :

- la pollution par du carbone plus récent (hypothèse principale),
- l'utilisation par l'artiste de charbons de bois plus ou moins vieux,
- la retouche ultérieure de l'œuvre par un autre artiste.

Ces hypothèses sont raisonnables.

Cependant, un doute subsiste quand on considère les écarts entre différents objets ayant une forte probabilité d'être contemporains :

- des peintures spatialement proches dans la grotte et identiques en termes de motif, de style et d'exécution par l'artiste, présentent parfois des écarts dépassant 10 000 ans.
- les peintures et les autres objets datables (mobilier, restes d'animaux, charbons de bois, ...) de la grotte présentent parfois des écarts dépassant 10 000 ans.
- des peintures identiques en termes de motif, de style et d'exécution par l'artiste, présentent parfois des écarts dépassant 10 000 ans d'une grotte à l'autre.

Par analogie avec les résultats obtenus pour les corps célestes et les matériaux d'expériences de RNFE, nous pensons qu'une 4<sup>ème</sup> hypothèse, vérifiable celle-ci, vaut la peine d'être examinée : celle de la présence d'ENI se produisant in situ.

En effet, à la différence des cosmochimistes, les spécialistes de datation par radiocarbone ne font pas l'hypothèse d'ENI. Peut-être parce qu'ils ne s'intéressent qu'aux 3 isotopes d'un seul élément, le carbone (on mesure en effet également le  $^{13}\text{C}$  afin d'apporter une correction de fractionnement isotopique à la proportion de noyaux  $^{14}\text{C} / ^{12}\text{C}$  mesurée).



Mais si des ENI se sont bien produits dans les pigments de ces peintures, ils n'ont aucune raison de s'être cantonnés à l'élément Carbone : des mesures de CI d'autres éléments (comme Fe, Mn, ...) pourraient donc apporter un éclairage précieux.

Les archéologues pourraient être alors à leur tour confrontés à un problème de CIA, problème plus large que celui d'un problème de datation.

C'est pourquoi ces mesures de CI de différents éléments nous apparaissent comme indispensables.

(NB : S'il s'avérait que des CIA soient mesurées pour ces éléments, il faudrait en outre déterminer si ces anomalies se produisent dans des zones de taille 1-10  $\mu\text{m}$ , comme en cosmochimie et expériences de RNFE.)

## 5.2 – Echantillons de l'inter comparaison AIEA 1991

Cette inter comparaison à grande échelle a été effectuée de 1988 à 1990, les résultats étant publiés en 1991 [22].

Des mesures de CI ont été faites dans 40 laboratoires de 20 pays pour 13 échantillons spécialement préparés pour l'occasion, et enrichis en D (2 éch.),  $^{13}\text{C}$  (4 éch.),  $^{15}\text{N}$  (5 éch.) et  $^{18}\text{O}$  (2 éch.).

Les appareils utilisés étaient principalement des Spectromètres de Masse (de routine, à quadripôle, à ionisation chimique, ...) et des Spectromètres à Emission.

3 déterminations par isotope minimum étaient requises, avec 6 déterminations préférablement, afin de déterminer l'écart-type de la moyenne donnée par chaque laboratoire.

Moyennes par laboratoire minimales et maximales obtenues :

Isotope	Echantillon	Mini (ppm)	Sigma (%)	Maxi (ppm)	Sigma (%)	Différence (%)
C13	309 A	82,22	1,6	133,60	2	63
N15	310 A	43,34	0,5	66,77	0,6	54
O18	304 B	381,39	0,2	512,33	0,1	34
N15	311	1,64	0,6	2,12	0,4	29
C13	303 A	88,11	0,5	107,50	1,3	22
N15	305 A	37,84	1,1	41,24	0,6	9
C13	303 B	439,32	0,1	477,17	0,2	8,6
N15	305 B	362,35	0,2	388,93	0,6	7,3
O18	304 A	242,95	0,0	258,24	0,4	6,3
N15	310 B	235,07	0,4	247,45	0,0	5,3
C13	309 B	524,42	0,2	544,85	0,1	3,9
D	302 B	981,39	0,5	1 015,60	0,8	3,5
D	302 A	501,25	0,3	512,53	0,1	2,3

NB : 2 laboratoires ont obtenu une dispersion nulle sur leur moyenne.

### **Analyse des résultats**

Pour l'échantillon 304 B (eau), les moyennes par laboratoire sont obtenues avec un sigma de l'ordre de 0.1-0.2%, mais on a une différence de 34% entre laboratoires, soit 200 fois plus que la dispersion sur la moyenne d'un laboratoire (les limites de détection de l'instrumentation de ces laboratoires sont respectivement de 0.1 et 0.3 ppm pour des valeurs mesurées se situant autour de 400 ppm, soit 2 000 fois plus).

Pour l'échantillon 310 A (urée), la différence atteint 100 fois la dispersion par laboratoire. Pour l'échantillon 311 (sulfate d'ammonium), il y a un facteur 60 et pour l'échantillon 309 A (UL glucose), un facteur 35.

Le plus petit écart de 2.3% enregistré pour l'échantillon 302 A vaut encore 10 fois la dispersion sur la moyenne par laboratoire.

Si on prend les valeurs extrêmes de minima et maxima (que nous avons éliminées du tableau précédent) pour lesquelles la dispersion par laboratoire est moins bonne, les chiffres sont encore pires.

Par exemple, pour l'échantillon 309 A : Mini 38.70 ppm, Maxi 133.60 ppm, soit une différence de 245%...

Ces chiffres sont donc tout simplement inexplicables.

Et on ne peut que s'étonner de constater que les rédacteurs du rapport final n'ont fait aucun commentaire à ce sujet.

Il faudrait bien évidemment répliquer ce type d'inter comparaison très large afin de mieux comprendre où se situent les différences les plus importantes (entre différents types d'appareil ou entre appareils d'un même type).

## **6 ENI in situ et/ou ENI lors de la mesure**

Les mesures apparaissent, au jour d'aujourd'hui, comme étant fiables et précises.

Or, elles peuvent donner des résultats différents pour un même objet.

Que ce soit pour des objets ayant une histoire se comptant en milliards d'années (météorites), en dizaines de milliers d'années (peintures pariétales préhistoriques) ou en années (échantillons AIEA).

Si des ENI sont bien les responsables de cet état de fait (quoi d'autre ?), alors ceux-ci peuvent avoir lieu :

- soit pendant l'évolution de l'objet lui-même,
- soit pendant l'analyse de l'échantillon par chaque laboratoire,
- soit pendant les deux.

La 1<sup>ère</sup> hypothèse est viable, les expériences de RNFE sont là pour le démontrer.

On notera simplement que si des CIA sont quasi-systématiquement mesurées lors d'expériences de RNFE, ce n'est pas le cas pour certaines météorites et certaines peintures pariétales préhistoriques aux CI normales, les conditions pour déclencher des ENI in situ dans ces objets n'étant probablement pas réunies, conditions qui sont toujours mal définies en dehors de la nécessaire présence d'Hydrogène.

Mais la prise en compte de la 1<sup>ère</sup> hypothèse entraîne logiquement l'examen des 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> hypothèses.

Les expériences de RNFE nous démontrent en effet que des ENI se produisent même dans des milieux extrêmement proches du milieu ambiant, à faible densité volumique d'énergie. Citons, parmi d'autres, les expériences décrites en [23], [24] (70 °C, 1 bar d'Hydrogène), en [25] (20 °C, 6 bars d'Hydrogène) et en [26] (20 °C, de 1 à 10 bars d'Hydrogène).

Il est donc naturel de se poser la question suivante : les appareils mesurant les compositions isotopiques mettent les noyaux à analyser dans des milieux de densité énergétique bien supérieure à celle des milieux évoqués plus haut (que l'on pense par exemple au plasma de l'Inductive Coupling Plasma - Mass Spectrometer, ICP-MS, au bombardement ionique du Secondary Ion MS, SIMS, ...). Pourquoi de tels milieux ne seraient-ils pas eux aussi le siège de RNFE, faussant ainsi les résultats d'une classe d'appareils à l'autre mais aussi d'un appareil à l'autre dans une même classe [27]?

N'y a-t-il pas également un problème de méthodologie quand des physiciens conduisant des expériences de RNFE dans des conditions très «douces», peu éloignées des conditions du milieu ambiant, soumettent ensuite leurs noyaux à analyser à des milieux bien plus «agités» ? Nous pensons qu'une réflexion doit-être menée en ce sens.

Réflexion qui devrait intéresser tous les physiciens réfléchissant au problème de l'interaction observateur - phénomène observé, problème bien connu en physique quantique.

## 7 Conclusions

Physiciens de l'atmosphère, cosmochimistes, volcanologues, géologues, archéologues, ..., tous sont confrontés à d'incontournables problèmes de CIA.

En fait, les seuls chercheurs à ne pas y être confrontés sont :

- les chercheurs de certaines disciplines qui utilisent les CINS comme traceurs (glaciologie, écophysologie végétale, écologie, ...),
- les chercheurs du nucléaire qui procèdent eux-mêmes à leur nucléosynthèse dans leurs réacteurs et leurs accélérateurs et pour qui il n'existe plus de CI de référence,

- et, plus trivialement, les chercheurs qui ne mesurent pas les compositions isotopiques.

L'amélioration et la diffusion récentes d'appareils capables de mesurer les CI explique que ce problème ne soit pas apparu plus tôt dans toute son ampleur.

Il est possible que des ENI se déroulant in situ, comme le reconnaissent déjà les cosmochimistes, soient responsables de cette situation.

Il est également possible que certains moyens d'analyse isotopique soient eux-mêmes générateurs d'ENI, faussant ainsi les résultats.

Ainsi, l'auteur de cette publication aura-t-il atteint son but s'il arrive à interpellier :

- les cosmochimistes qui devraient penser leurs expériences de laboratoire dans le sens des expériences de RNFE,
- les archéologues qui devraient faire mesurer les CI de plusieurs éléments dans les peintures pariétales préhistoriques,
- les spécialistes de mesures de CI qui devraient s'interroger sur l'aspect non perturbateur de leurs mesures et multiplier les inter comparaisons,
- et plus largement les spécialistes des autres disciplines (physique de l'atmosphère, géologie, volcanologie, ...) qui devraient prendre en compte l'existence des ENI dans leurs réflexions.

Quoiqu'il en soit, et même si ces interpellations ne trouvent pas d'écho dans un premier temps, une chose est certaine : désormais, chaque année qui s'écoule apporte son lot de contribution en termes de preuves expérimentales que des Effets Nucléaires Inconnus conduisent à des Compositions Isotopiques inexplicées.

## Références

- [1] "Isotopic Compositions of the Elements 1997", International Union of Pure and Applied Chemistry, Inorganic Chemistry Division, Commission on Atomic Weights and Isotopic Abundances, Subcommittee for Isotopic Abundance Measurements (1997).
- [2] "Compilation of Minimum and Maximum Isotope Ratios of Selected Elements in Naturally Occurring Terrestrial Materials and Reagents", US Geological Survey Water-Resources Investigations Report 01-4222, August (2002).
- [3] T. Matsumoto et al, "Observation of Heavy Elements Produced During Explosive Cold Fusion", *Fusion Technology*, 20, p 323-329, November (1991).
- [4] A. Karabut et al, "Nuclear product ratio for glow discharge in Deuterium", *Physics Letters A*, 170, p 265-272 (1992).

- [5] I.B. Sawatimova, Y.R. Kucherov, A.B. Karabut, "Cathode material change after Deuterium glow discharge experiments", *Trans. Fusion Technology*, vol 26, December, p 389-394 (1994).
- [6] T. Mizuno, "Isotopic Changes of the Reaction Products Induced by Cathodic Electrolysis in Palladium", *J. New Energy*, 1 (3) : p 31 (1996).
- [7] M. Thiemens, "Mass-Independent Isotope Effects in Planetary Atmospheres and in the Early Solar System", *Science*, 28, p 341-345, 15 January (1999).
- [8] Publication mentionnée par le site internet du Laboratoire Inter-Universitaire des Systèmes Atmosphériques (LISA), Universités Paris VII et Paris XII (1999).
- [9] E. Baxter, "Spatially correlated anomalous Ar<sup>40</sup>/Ar<sup>39</sup> "age" variations in biotites about a lithologic contact near Simplon Pass : a mechanistic explanation for excess Ar", *Geochim. Cosmochim. Acta* , 66, 6, p 1067-1083 (2002).
- [10] G. Boato, *Geochim. Cosmochim. Acta* 6, p 209 (1954).
- [11] D.C. Black, "On the origins of trapped helium, neon and argon isotopic variations in meteorites II Carbonaceous meteorites", *Geochim. Cosmochim. Acta*, 36, p 377-394 (1972).
- [12] R.N. Clayton et al, " A component of primitive nuclear composition in carbeneous meteorites ", *Science* 182, p 485-488 (1973).
- [13] M. Chaussidon, "Isotope geochemistry of Boron in mantle rocks, tektites and meteorites", *C.R. Acad. Sci. Paris*, t 321, série IIa, p 455-472 (1995).
- [14] A.J. Bradley et al, "Compositional zoning and Mn-Cr systematics in carbonates from the Yamato 791198 CM2 carbeneous chondrite", *Proceedings of the "Lunar and Planetary Science XXXII"* (2001).
- [15] S. Messenger et al, "Evidence for molecular cloud material in meteorites and interplanetary dust", *Proceedings of the AIP Conference*, vol. 402 : *Astrophysical Implications of the Laboratory Study of Presolar Materials*, p 545-564 (1997).
- [16] J.A. Wood, "Constraints placed by Aluminium 26 on early solar system history", *Proceedings of the workshop "Refractory Inclusions and Evaporation Processes"* (1998).
- [17] «L'abondance des éléments dans l'Univers, synthèse des isotopes lourds du Calcium», conférence Népal du CNRS / IN2P3 (2003), disponible à [www.in2p3.fr/page/communication/grandpublic/nepal/pdf/conf1.pdf](http://www.in2p3.fr/page/communication/grandpublic/nepal/pdf/conf1.pdf).
- [18] H. Valladas et al, «Radiocarbon AMS Dates for Paleolithic Cave Paintings», *Radiocarbon*, vol. 43, n°2, p 977-986 (2001).

- [19] H. Valladas et al., “New Radiocarbon Dates for Prehistoric Cave Paintings at Cougnac”, in “Rock Art Studies : the Post Stylistic E or Where do we go from here”, eds M. Lorblanchet and P.G. Bahn, p 74-76, Oxford (1993).
- [20] J. Clottes, “La grotte Chauvet. L’art des origines”, J. Clottes éd., Paris (2001).
- [21] J. Hogan, “Doubt cast on age of oldest human art”, *New Scientist*, 18 April (2003).
- [22] R.M. Parr and S.A. Clements, “Intercomparison of Enriched Stable Isotope Reference Materials for Medical and Biological Studies”, IAEA-NAHRES-5, Vienna (1991).
- [23] Y. Iwamura et al, “Elemental analysis of Pd complexes : effects of D2 gas permeation”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 41, p 4642-4650 (2002).
- [24] T. Higashiyama et al, “Replication of the Mitsubishi Heavy Industries Transmutation Experiment by D2 Gas Permeation through Pd Complex”, *Proceedings of the ICCF-10* (2003).
- [25] M. Di Giulio et al, “Analysis of nuclear transmutations observed in D and H loaded Pd films”, *Int. Journal of Hydrogen Energy*, 27, p 527-531 (2002).
- [26] H. Yamada et al, “Analysis by Time-of-Flight Secondary Ion Mass Spectroscopy for Nuclear Products in Hydrogen Penetration through Palladium”, *Proceedings of the ICCF-10* (2003).
- [27] Communication privée du Dr Ph. Duport, Directeur du Centre International de Recherches sur les Faibles Doses de Radiation, Institut de l’Environnement, Université d’Ottawa (2003).

### Remerciements

L’auteur tient à remercier le Dr Oliver Köberl, physicien nucléaire, pour avoir fait le lien entre CIA dans les expériences de RNFE et CIA dans les météorites, l’encourageant ainsi à procéder au survol de certaines disciplines rencontrant des CIA.