

## Césium 137 → Baryum 137m, et... pectines

Yves Lenoir, Enfants de Tchenobyl Belarus, août 2016

### Introduction

La majeure partie des retombées de radio-nucléides de demi-vies (ou périodes) moyennes et longues des catastrophes atomiques est constituée de Césium 137, Césium 134 et Strontium 90 ( $CS_{137}$ ,  $CS_{134}$  et  $Sr_{90}$ ). Les valeurs respectives de ces demi-vies sont de 30, 2 et 29 ans. Bien que le strontium soit aussi abondant que le césium dans les produits de fission, du fait de sa moindre volatilité sa présence n'est significative que dans un voisinage relativement proche de l'émission, quelques dizaines de km. En revanche, on trouve des concentrations préoccupantes de césium jusqu'à plusieurs centaines de km, voire plus de mille km. Cette concentration dans les dépôts dépend de celle dans les panaches radioactifs mais aussi et surtout de l'intensité des précipitations qui ont éventuellement lessivé ces derniers. Cette condition explique l'hétérogénéité des contaminations des sols, parfois en « taches de léopard » quand ces précipitations ont pris une forme orageuse. Outre des opérations de décontamination, le ruissellement, la diffusion aérienne et les infiltrations font ensuite évoluer la situation radiologique.

Par ailleurs, la mesure de la radioactivité<sup>1</sup> des  $CS_{137}$ ,  $CS_{134}$  est aisée, du fait de l'émission gamma de leurs descendants directs, Baryum137m et Baryum134m ( $Ba_{137m}$ ,  $Ba_{134m}$ ), (de demi-vies très courtes) ; en revanche, celle du  $Sr_{90}$  et de son descendant de demi-vie très courte Yttrium90 ( $Y_{90}$ ), des émetteurs  $\beta$  purs, n'est pas réalisable sans passer par la prise d'échantillons, puis par des traitements chimiques et thermiques de ces échantillons avant de les placer dans un détecteur spécial. C'est la principale raison pour que seule la mesure du césium fasse l'objet de campagnes systématiques tant pour évaluer la contamination d'un lieu et des produits alimentaires que la radioactivité incorporée par les habitants. Les actions de protection radiologique des populations exposées butent sur cette contrainte technico-économique, une réalité qu'il faut toujours garder à l'esprit, d'autant plus que l'énergie des désintégrations  $\beta$  (bêta) du couple  $Sr_{90} - Y_{90}$  est extrêmement élevée (près de cinq fois celle du  $CS_{137}$ ).

### Résumé

Les compléments alimentaires contenant une forte proportion de pectine sont souvent préconisés pour accélérer l'élimination du césium radioactif de l'organisme. Une controverse à propos de leur efficacité s'est développée, entretenue par un mélange d'arguments scientifiques fondés et de confusions sur les limites de validité de ces derniers. Le débat est d'autant plus désordonné qu'une idée simpliste a acquis force de loi : le césium ayant la même valence que le potassium (un seul électron sur la couche périphérique de l'atome) – d'où des propriétés chimiques similaires –, il se répartirait tel ce

---

<sup>1</sup> Pour ceux qui ne sont pas familiers avec ces notions, des explications sur la nature des rayonnements ionisants, les unités utilisées pour les quantifier et leur action sur les organismes vivants sont l'objet des encadrés de l'introduction et du chapitre 1 du livre : Yves Lenoir, *La Comédie Atomique*, La Découverte 2016.

dernier dans l'organisme, à savoir essentiellement dans les muscles squelettiques. On en déduit alors que sa radio-toxicité, sauf à des doses très élevées, serait négligeable, sinon, en tout état de cause, sans effets sanitaires notables.

L'objectif poursuivi ici est triple : 1. apporter une explication aussi rigoureuse que possible des différences entre les comportements bio-chimiques du césium et du potassium observés dans les organismes des animaux supérieurs ; 2. à partir de l'exemple de l'auto-irradiation du muscle cardiaque, distinguer les différences entre les effets ionisants du Cs<sub>137</sub> et du K<sub>40</sub> (isotope radioactif naturel du potassium, présent avec une radioactivité de l'ordre de 50 Bq/kg dans tous les organismes vivants) ; 3. distinguer l'action entérosorbante des pectines de leur capacité décorporatrice<sup>2</sup>.

À l'issue de ce développement, on abordera la question de l'absence de description systémique de l'action décorporatrice des fragments de pectine passés dans le sang et celle de l'action des pectines sur les contaminations par le Sr<sub>90</sub>. Enfin on en déduira que la méthode préconisée et mise en œuvre par Vassily Nesterenko et l'Institut Belrad de Minsk, avec son approche rationnelle d'une prophylaxie pectinique personnalisée, est bien adaptée à la situation de contamination massive de l'environnement des régions de Tchernobyl et à leur contexte socio-économique.

Les justifications scientifiques détaillées sont fournies dans les annexes et/ou dans les références bibliographiques.

---

<sup>2</sup> Un agent **entérosorbant**, par exemple pour un métal lourd, a la propriété d'adsorber les ions de ce métal et d'empêcher ainsi qu'il franchisse la barrière intestinale et aille s'incorporer dans les tissus de l'organisme ; un agent **décorporateur** pour ce métal lourd a la propriété de faciliter l'extraction des ions de ce dernier des cellules où ils se trouvent incorporés ; les molécules complexes, agent décorporateur – ion métallique, sont ensuite éliminées par la voie urinaire.

## Césium et potassium : deux vrais faux-jumeaux<sup>3</sup>

### 1. Les observations de terrain jettent le doute sur la *doxa* officielle.

Dans le courant de l'année 1988 les médecins biélorusses, ukrainiens et russes exerçant dans les régions contaminées s'étaient définitivement convaincus que la dégradation inquiétante de l'état de santé des enfants trouvait sa cause dans la radioactivité de Tchernobyl. Lors d'un entretien personnel, le 16 avril 1990 à Minsk, le radio-biologiste biélorusse Evgueny Konoplya avait présenté à l'auteur un graphique montrant que le Cs<sub>137</sub> s'accumulait préférentiellement dans des organes tels que le cœur, les reins, la thyroïde, le pancréas etc. Entre 1990 et 1999, date de son incarcération, l'anatomopathologiste Youry Bandazhevsky, sa femme pédiatre/cardiologue Galina Bandazhevskaya, et des dizaines de chercheurs travaillant sous sa direction ont caractérisé le rôle du Cs<sub>137</sub> dans la survenue de pathologies et de désordres cliniques affectant particulièrement les enfants. Leurs observations ont conduit à recommander une limite d'incorporation de 20 Bq/kg chez l'Enfant.

Néanmoins, en cette matière l'UNSCEAR et la CIPR<sup>4</sup> maintiennent la relative innocuité de ce radio-isotope, par analogie avec celle du K<sub>40</sub>. Cette doctrine qui permet de rejeter toute cause « Tchernobyl » dans les maux – autres que les cancers de la thyroïde – affectant les enfants vivant dans les régions contaminées est résumée en quelques lignes dans la fiche technique *Cs<sub>137</sub> et Ba<sub>137m</sub>* diffusée par l'IRSN et l'ASN :

*« Le modèle est décrit pour le travailleur dans la publication 56 de la CIPR (1990). Le césium incorporé par l'homme se distribue comme son homologue et compétiteur naturel, le potassium, dans l'ensemble de l'organisme en se concentrant préférentiellement dans le muscle. »*

Concernant les effets sur la santé, il est rappelé que :

*"La toxicité chimique du césium étant faible, seule la radio-toxicité du <sup>137</sup>Cs est à considérer. Celle-ci a été expérimentée sur l'animal (chien) : l'activité létale 50 (i.e. conduisant au décès d'un animal sur deux) est de l'ordre de 100 MBq/kg et aucun effet toxique aigu n'a été observé au-dessous de 50 MBq/kg" ».*

En découlent des doses maximales admissibles élevées, qui, en cas d'ingestion chronique, conduiraient à des concentrations moyennes dans l'organisme humain de plusieurs milliers de Bq/kg. Voici ce qui est mentionné à ce sujet dans la-dite fiche de l'IRSN :

---

<sup>3</sup> A ce sujet on peut consulter :

Yves LENOIR, *Récit de voyage, avril 1990, Ukraine, Biélorussie, Russie*, ETB, 2014, <[url.ca/nhcam](http://url.ca/nhcam)> ;

Youry I. BANDAZHEVSKY et Victor V. LELEVICH, *Clinical and experimental aspects of the effect of incorporated radionuclides upon the organism*, ministère de la Santé de la République de Belarus, 1995, <[url.ca/oacja](http://url.ca/oacja)> ;

Youry I. BANDAZHEVSKY, *Medical and Biological Effects of Radio-caesium Incorporated into the Human Organism*, The Institute of Radiation Safety "BELRAD", Minsk, 2000, <<http://enfants-tchernobyl-belarus.org/virtubook/etb-094/>> ;

Yves LENOIR, *Cs<sub>137</sub> : données physiques comparées à celles du K<sub>40</sub>*, ETB, juillet 2013, <[url.ca/oack6](http://url.ca/oack6)> ;

<sup>4</sup> UNSCEAR : United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (institué en 1955) ; CIPR : Commission Internationale de Protection Radiologique (association privée fondée en 1928).

« Dans l'Union Européenne, des normes d'interdiction de commercialisation ont été instaurées depuis 1987 pour l'éventualité d'un accident futur [Règlements Euratom 3954/87, 2218/89 et 770/90]. »

Denrées alimentaires prêtes à la consommation				Aliments pour le bétail prêts à la consommation		
Aliments pour le nourrisson	Produits laitiers	Autres denrées alimentaires	Liquides destinés à la consommation	Porc	Volaille Agneau Veau	Autres
400 Bq.kg <sup>-1</sup>	1000 Bq.kg <sup>-1</sup>	1250 Bq.kg <sup>-1</sup>	1000 Bq.kg <sup>-1</sup>	1250 Bq.kg <sup>-1</sup>	2500 Bq.kg <sup>-1</sup>	5000 Bq.kg <sup>-1</sup>

Ces limites font de temps en temps l'objet de modifications à la marge, plutôt de la poudre aux yeux. En effet, le phénomène d'accumulation, que limite la période biologique d'élimination du césium incorporé, impliquerait à lui seul de diviser par au moins cent chacune de ces valeurs normatives<sup>5</sup>.

## **2. Périodes biologiques : une différence capitale dont il faut exhiber l'origine.**

Commençons par rappeler quelques données physico-chimiques, qualitatives, quantitatives et “politiques” valables pour tout radio-isotope :

- Tant qu'il ne s'est pas désintégré, il se comporte comme ses équivalents chimiques stables ;
- Le K<sub>40</sub> a une demie-vie de 1,25 Md d'années ; la probabilité qu'un atome de K<sub>40</sub> se désintègre est donc de ½ durant cette période de temps. On comprend alors que la quasi-totalité des atomes de K<sub>40</sub> présents dans l'organisme à un instant donné sera évacuée biologiquement, par la voie urinaire, sans avoir émis la moindre radiation ionisante. Pour avoir une idée de ce que veut dire « quasi-totalité », rappelons que « l'intensité du flux radioactif » – par raccourci et improprement appelée « concentration » – du K<sub>40</sub> est de 50 Bq/kg. En d'autres termes 50 atomes de K<sub>40</sub> se désintègrent en moyenne chaque seconde dans chaque kg de notre corps. La masse correspondante de K<sub>40</sub> vaut 1,9 mg, ce qui signifie que 28,6 milliards de milliards d'atomes de ce radio-isotopes sont présents, uniformément distribués parmi 2 g de potassium stable, dans chaque kilo du corps humain.

- Les mêmes considérations valent pour le Cs<sub>137</sub> dont la période radioactive de 30 ans conduit à associer une masse de 1 milliardième de gramme, soit 4,39 milliers de milliards d'atomes, à une radioactivité de 3 200 Bq. Le césium radioactif ne se distingue pas chimiquement de son homologue naturel stable, Cs<sub>133</sub>, dont la concentration corporelle est de l'ordre de 10 µg. Cette concentration est plusieurs milliers de fois supérieure aux ordres de grandeur des contaminations trouvées couramment dans l'organisme des habitants des régions contaminées par les retombées de Tchernobyl. Les propriétés chimiques du Cs<sub>137</sub>, strictement identiques à celles du Cs<sub>133</sub> stable, n'ont donc aucune responsabilité dans la survenue de maladies liées à la présence du premier dans l'organisme. Si

<sup>5</sup> Voir Annexe 1 sur la bio-accumulation des toxiques.

maladies reliées il y a, les radioactivités  $\beta$  du  $\text{Cs}_{137}$  et gamma du  $\text{Ba}_{137m}$  sont seules en cause... et à considérer scientifiquement.

– Enfin, toute irradiation ionisante d'origine interne ou externe produit des radicaux oxydants et libres qui, outre les dommages sanitaires particuliers qu'ils peuvent produire, participent très généralement au vieillissement de l'organisme. La radioactivité naturelle d'origine externe (sol, rayons cosmiques)<sup>6</sup> et interne ( $\text{K}_{40}$ ,  $\text{C}_{14}$  et  $\text{H}_3$ ) n'est donc en rien inoffensive et l'invoquer pour exonérer les faibles doses rajoutées artificiellement (pratiques médicales et pollutions de l'environnement) de tout dommage n'est rien moins qu'une contre-vérité scientifique, une imposture intellectuelle et la marque d'un profond mépris pour l'entendement de la personne destinataire de l'argument !

Le  $\text{K}_{40}$  a une origine naturelle. Sa concentration corporelle étant constante, il ne peut servir à mesurer la période biologique du potassium dans l'organisme. Le recours à un autre isotope radioactif  $\text{K}_{42}$  ou  $\text{K}_{43}$ , artificiels et émetteurs gamma de périodes courtes, a permis d'établir que le potassium a une période biologique de l'ordre de 20 jours chez l'Homme. Les comportements biologiques des isotopes d'un même élément étant strictement identiques, le  $\text{K}_{40}$  se répartit dans l'organisme comme le potassium stable et participe aux mêmes échanges biochimiques, notamment ceux du phénomène essentiel pour l'équilibre général de la santé connu sous le nom de « *pompe sodium-potassium* » qui contrôle la concentration du potassium dans les cellules et dans le sang<sup>7</sup>.

Chez l'Homme, les mesures de la radioactivité du  $\text{Cs}_{137}$  incorporé ont montré que la période biologique du césium dépend de l'âge et du sexe, depuis 20 jours chez le nourrisson, jusqu'à 150 jours chez l'adulte mâle. **En moyenne, la période biologique des isotopes du césium dans l'organisme humain a une valeur de l'ordre de 100 jours, cinq fois plus longue que celle du potassium !**

Cette réalité contredit l'idée que, parce que lui aussi monovalent (un seul électron sur la couche externe de l'atome), le césium se comporterait comme le potassium dans l'organisme humain. À ces différences de période biologique, il faut ajouter des répartitions différentes des deux éléments dans les organes du corps humain. Le fait, on l'a vu, a été établi chez l'Homme et l'Enfant, et vérifié expérimentalement chez l'Animal.

Les deux éléments diffèrent essentiellement par leur énergie de première ionisation, celle nécessaire pour arracher l'unique électron de leur couche électronique périphérique :

- 4,34 eV pour le potassium ( $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$ ) ;
- 3,89 eV pour le césium (la plus faible de tous les éléments).

La différence peut paraître petite : 10,3%. Il n'en est rien car ce qui compte en l'occurrence est l'écart

---

<sup>6</sup> Voir à ce sujet : Gerald M. KENDALL et al., *A record-based case-control study of natural background radiation and the incidence of childhood leukaemia and other cancers in Great Britain during 1980-2006*, Leukemia advance online publication, Nature, 2012, <[ur1.ca/oa4zz](http://ur1.ca/oa4zz)>.

<sup>7</sup> Voir Annexe 2.

avec l'énergie de première ionisation du sodium. Cet écart va conditionner les cinétiques des trois « pompes » échangeuses d'ion, sodium-potassium, sodium-césium et, dans une moindre mesure sans doute, potassium-césium. En fait il s'agit de la même pompe, le processus biochimique qui contrôle la concentration du potassium dans les tissus par des échanges d'ion avec le sodium. Or l'énergie de première ionisation du sodium vaut 5,12 eV. **Ainsi les écarts sont de 15,2 % avec le potassium et 24,0 % avec le césium, soit une différence relative de 58%.** On conçoit alors, puisqu'il faut plus d'énergie à cette fin, qu'un ion césium incorporé est plus difficilement mobilisé qu'un ion potassium. Les échanges d'ions entre sodium et potassium vs sodium et césium suivent donc deux cinétiques sensiblement différentes, rapide pour le potassium à laquelle correspond la période biologique de 20 jours, et lente pour le césium à laquelle correspond la période biologique de 100 jours.

**De ces considérations on déduit que :**

- la toxicité du radio-césium ne peut être imputée à ses propriétés chimiques puisque sa concentration dans un organisme contaminé est la plupart du temps des centaines à des milliers de fois inférieure à celle de l'isotope stable naturellement présent<sup>8</sup> ;
- son énergie de première ionisation, la plus faible de tous les éléments, est à l'origine de sa longue période biologique et de l'hétérogénéité très marquée de sa répartition – différente de celle du potassium – dans les organes.

**3. Désintégrations des isotopes  $K_{40}$  et  $Cs_{137}$  : des différences conséquentes.**

Le  $K_{40}$  se désintègre selon deux schémas ( $e^-$  : électron ;  $n_e$  : neutrino)

- $K_{40} \longrightarrow Ca_{40} + e^- + n_e$  (1,311 MeV) à 88,8%, désintégration  $\beta$  ; (M pour méga)
- $K_{40} + e^- \longrightarrow A_{40m} + n_e \longrightarrow A_{40} + n_e + \text{gamma}$  (1,505 MeV) à 11,2% ;

Le  $Cs_{137}$  se désintègre selon deux schémas :

- $Cs_{137} \longrightarrow Ba_{137m} + e^- + n_e$  (0,512 MeV), à 95%, désintégration  $\beta$  ;  
puis :  $Ba_{137m} \longrightarrow Ba_{137} + \text{gamma}$  (0,662 MeV), période 153 secondes ;
- $Cs_{137} \longrightarrow Ba_{137} + e^- + n_e$  (1,174 MeV), à 5%, désintégration  $\beta$  ;

À différences conséquentes, conséquences différentes. Nous limitons cette analyse à l'absorption de l'énergie des désintégrations par les tissus mous de l'organisme, assimilables à l'eau pour ce qui est de l'atténuation des rayons gamma et des ionisations produites par les rayonnements. Les explications et références détaillées de ce qui suit sont consultables à l'URL <[url.ca/oack6](http://url.ca/oack6)> signalée dans la note 2.

**3.1. Rayons gamma**

Les rayons gamma (des photons de haute énergie) interagissent avec la matière le long de leur trajectoire selon un processus aléatoire représenté par une fonction exponentielle décroissante

---

<sup>8</sup> A concentration élevée cependant, le césium stable perturbe le fonctionnement du cœur. Cause première : une cinétique des échanges d'ion avec le sodium plus lente que celle du potassium.

paramétrée par une constante d'espace, ou coefficient d'absorption. Les valeurs de ce coefficient pour le  $\text{Cs}_{137}$  et le  $\text{K}_{40}$  sont respectivement :  $\mu_{\text{Cs}_{137}} = 0,0846 \text{ cm}^{-1}$ ;  $\mu_{\text{K}_{40}} = 0,0576 \text{ cm}^{-1}$ .

Ce qui signifie que 63,22% des photons émis sont absorbés dans les sphères centrées au point d'émission et de rayons  $1/\mu_{\text{Cs}_{137}}$  et  $1/\mu_{\text{K}_{40}}$ , respectivement 8,19 cm et 12,03 cm.

La loi d'atténuation est représentée par :  $E(x) = E_0 e^{-(\mu x)}$  où  $E_0$  est l'énergie initiale du flux. Cependant, l'information utile n'est pas l'énergie résiduelle à la distance  $x$  de la source, mais la part absorbée dans un volume élémentaire  $\Delta V$  :  $\Delta E(x) = \mu E_0 e^{-(\mu x)} \Delta V$ .

Par ailleurs, le flux se conservant en raison de la loi de Lavoisier « *rien ne se perd, rien ne se crée* », l'intensité du rayonnement décroît en proportion du carré de la distance au point d'émission.

Ainsi, la part d'irradiation d'un volume élémentaire provenant de l'émission gamma d'un autre volume élémentaire diminue très rapidement en fonction de la distance entre ces deux volumes élémentaire du fait des deux phénomènes suivants : l'absorption du flux de rayonnement par la matière traversée et sa dilution dans un volume de plus en plus grand. L'effet résultant en un point donné constitue la relation de base exprimant la densité d'énergie déposée par un volume élémentaire situé à une distance  $r$ .

Il faut évidemment pondérer les comparaisons par le pourcentage de désintégrations conduisant à l'émission d'un photon gamma, 95% pour le  $\text{Cs}_{137}$ , via le  $\text{Ba}_{137\text{m}}$ , mais seulement 11,2% pour le  $\text{K}_{40}$ , via  $\text{A}_{40}$ .

Cependant, la probabilité qu'un photon passe en un point déterminé à la distance  $r$  du point d'émission est faible car les trajectoires des photons sont aléatoirement distribuées dans toutes des directions. **On doit donc raisonner en moyenne, en considérant un temps très long au cours duquel une grande quantité de photons sera émise.**

De toutes ces considérations il découle que la somme normalisée en un point donné, durant un temps déterminé, des densités correspondant aux émissions de l'ensemble d'un corps radioactif exprime l'énergie absorbée par unité de volume autour de ce point durant ce temps. Nous allons appliquer (voir *infra*) cette méthode de calcul à un modèle géométrique simplifié du cœur humain pour quantifier l'auto-irradiation qu'il subit du fait de la présence naturelle du  $\text{K}_{40}$  dans le muscle cardiaque et de celle, rajoutée, en cas de contamination par du  $\text{Cs}_{137}$ .

Rappelons que les rayonnements gamma interagissent avec la matière en arrachant des électrons aux couches périphériques des atomes, d'où des cascades d'ionisations dépendant de l'énergie absorbée. Les tissus et les fluides du corps humain contiennent plus de 70 % d'eau. Les recombinaisons aléatoires des ions vont produire des radicaux libres et oxydants (eau oxygénée, radical OH etc.) toxiques et agressifs pour les cellules (paroi, contenu et noyau).

### 3.2. Rayons $\beta$ .

L'énergie d'une désintégration  $\beta$  se partage de façon aléatoire entre deux énergies cinétiques – celle emportée par l'électron, et celle de recul du noyau –, et celle emportée par un neutrino, laquelle est « perdue » puisque les neutrinos n'interagissent quasiment pas avec la matière. De ce fait, l'énergie d'un rayon  $\beta$  vaut en moyenne environ 40% de sa valeur maximale, celle indiquée dans les schémas de désintégration ci-dessus au § 3.1.

Un schéma simplifié des trajectoires chaotiques des particules  $\beta$  dans l'eau est présenté en Annexe 3. Les valeurs données de la vitesse des électrons et de celles de leur longueur de pénétration  $L_p$  et de la distance parcourue  $D_p$  correspondent aux énergies maximales. Pour ces dernières les valeurs à retenir sont :

- $L_{pmaxCs137} \sim 2,2$  mm et  $D_{pmaxCs137} \sim 6,6$  mm ;
- $L_{pmaxK40} \sim 5,2$  mm et  $D_{pmaxK40} \sim 15,6$  mm.

Les valeurs moyennes s'en déduisent en multipliant par 0,4  $L_p$  et  $D_p$  :

- $L_{pmoyCs137} \sim 0,88$  mm et  $D_{pmoyCs137} \sim 2,46$  mm ;
- $L_{pmoyK40} \sim 2,1$  mm et  $D_{pmoyK40} \sim 6,3$  mm.

Une particule  $\beta$  laisse un sillage de molécules ionisées le long de sa trajectoire, de l'ordre de 10 ionisations par micromètre. Ces ionisations induisent évidemment elles aussi des réactions chimiques conduisant à la formation de radicaux libres et à des composés chimiques oxydants. Les interactions produisent également des rayons  $X$  de freinage, faiblement ionisants, lorsque l'électron est fortement dévié par son passage près d'un noyau atomique.

On conçoit alors que l'auto-irradiation d'un organe par les rayonnements  $\beta$  des radionucléides qu'il contient dépend de sa géométrie. S'il est massif avec une dimension minimale de plusieurs cm, on pourra considérer qu'il absorbe tout son rayonnement  $\beta$  interne. S'il est mince, comme la paroi du ventricule droit (environ 3,3 mm chez l'adulte), alors une part significative de l'énergie sera déposée au voisinage de l'organe.

Ces considérations sont relatives aux différents émetteurs  $\beta$  présents. Dans un organe donné, ayant une longueur de pénétration inférieure, le rayonnement  $\beta$  du  $Cs_{137}$  sera plus absorbé que celui du  $K_{40}$ .

### **3.3. Modélisation des auto-irradiations gamma et $\beta$ du cœur humain (en guise d'exemple).**

#### **Rayonnement gamma :**

Youry Bandazhevsky et Galina Bandazhevskaya ont montré qu'il y avait une étroite corrélation entre la présence de  $Cs_{137}$  dans l'organisme des enfants et la survenue de pathologies cardiaques. La gravité du tableau est intrigante car il n'est pas évident que la seule radioactivité ajoutée à celle du  $K_{40}$  soit à incriminer. Pourtant, la radioactivité est bien le facteur en cause. Par son effet physique direct, que nous allons évaluer, par l'ensemble des perturbations biologiques que l'incorporation de  $Cs_{137}$  provoque



(voir [url.ca/oacja](http://url.ca/oacja) mentionné dans la note 2), mais aussi par un effet indirect que nous suggérerons dans l'interprétation des résultats de la modélisation.

L'énergie déposée par les rayonnements gamma du césium et du potassium est, on l'a vu, calculable selon un schéma assez simple. On visera un résultat indicatif permettant de distinguer les différences entre les effets des deux radio-éléments et de chiffrer aussi, pour la même concentration des radioéléments, la sur – ou sous – irradiation du cœur de l'enfant comparée à celle du cœur de l'adulte.

On se donne un modèle simplifié où le cœur est représenté par un « organe » ayant une symétrie de révolution. Les données numériques sont déduites de la littérature spécialisée :

- la masse vaut 300 g chez l'adulte, un peu plus de la moitié chez l'enfant, avec les dimensions ci-dessous :
- l'épaisseur du myocarde gauche vaut 10 mm (adulte) et 8 mm (enfant) ;
- l'épaisseur du myocarde droit vaut 3,3 mm (adulte) et 2,66 mm (enfant) ;
- l'épaisseur du septum vaut 13 mm (adulte) et 10,4 mm (enfant) ;
- le volume de sang sortant de chaque ventricule au moment de la diastole vaut entre 70 et 80 cm<sup>3</sup> (la moitié chez un enfant). On a adopté une valeur plus élevée de 50%, 120 cm<sup>3</sup> chez l'adulte, pour tenir compte du volume des oreillettes, non représentées dans ce modèle simplifié.

Les calculs sont paramétrés comme suit :

- durée, un an, soit 31 536 000 secondes, ce qui garantit l'homogénéisation de l'absorption d'énergie dans les tissus ;
- concentration des radionucléides : 200 Bq/kg pour le Cs<sub>137</sub> et 60 Bq/kg pour le K<sub>40</sub> (l'irradiation étant proportionnelle à la concentration, les résultats pour des valeurs différentes de cette dernière se déduisent par simple règle de 3) ;
- seule l'irradiation du myocarde droit est évaluée (c'est le moins irradié car de sa faible épaisseur découle une auto-irradiation moindre) ;
- les valeurs des densités d'irradiation en chaque point sont exprimées en mGy (μJ/g) ou μGy (nJ/g) (convertibles directement – facteur de conversion = 1 – en mSv et μSv pour ce type de rayonnement).

### **Résultats :**

Les résultats indiquent qu'une contamination modérée du muscle cardiaque par le Cs<sub>137</sub> (200 Bq/kg) produit une irradiation gamma très supérieure (de l'ordre de 15 fois) à celle due au K<sub>40</sub> naturel (60 Bq/kg). L'irradiation gamma du cœur de l'enfant est inférieure (d'environ 40%) à celle de l'adulte.

Pour fixer les idées, l'irradiation moyenne est minimale aux « pôles », selon la représentation géométrique de révolution simple adoptée, et maximale dans la « zone équatoriale », celle où se situe le septum. La différence entre ces extrema est de l'ordre de 40%.

Les valeurs se répartissent dans l'intervalle 0,03 à 0,07 mGy/an pour la concentration de 200 Bq/kg.

L'énergie gamma émise en un an par le  $Cs_{137}$  à cette concentration vaut 0,568 mJ/kg ; où l'on constate que le cœur en absorbe un peu moins de 10%. Le reste est pour partie dissipé dans l'organisme, notamment dans le volume sanguin présent dans les ventricules, pour partie rayonné hors du corps.

#### **Rayonnement $\beta$ :**

On suppose en première approximation que 90% du rayonnement  $\beta$  du  $Cs_{137}$  est absorbée par le tissu musculaire cardiaque, mais que cette proportion n'est que de 80% dans le cas du  $K_{40}$  du fait d'une profondeur de pénétration plus grande. Avec ces hypothèses, l'auto-irradiation  $\beta$  du muscle cardiaque par le  $Cs_{137}$  (200 Bq/kg) vaut 0,19 mSv/an ; celle par le  $K_{40}$  (60 Bq/kg) vaut 0,12 mSv/an.

Valeurs comparables ici. L'auto-irradiation des tissus musculaires cardiaques par le  $Cs_{137}$  est à 80% d'origine  $\beta$  et 20% d'origine gamma. En revanche, celle due au  $K_{40}$ , est à plus de 97% d'origine  $\beta$ .

#### **4. Interprétation**

Y. Bandazhevsky et G. Bandazhevskaya ont observé que des pathologies cardiaques chez l'enfant sont corrélées avec la contamination par le  $Cs_{137}$ , et que les troubles apparaissent de façon statistiquement significative dès que la concentration corporelle moyenne dépasse 20 Bq/kg. Par ailleurs des mesures sur le rat ont établi que la concentration du césium dans le muscle cardiaque est plus élevée, d'au moins une dizaine de fois, que sa concentration moyenne dans l'organisme. Pour ces raisons nous avons mené les calculs d'énergie ionisante émise – et absorbée – par le tissu cardiaque pour une concentration en  $Cs_{137}$  de 200 Bq/kg. La majeure partie de cette énergie ajoutée provient du rayonnement  $\beta$  qui fait plus que doubler celui du  $K_{40}$ . La proportion ajoutée de rayonnement gamma est sensible mais son poids relatif dans l'irradiation des tissus est marginale.

Les troubles observés restent « incompréhensibles » dans le cadre officiel – UNSCEAR-CIPR – des relations cause-effet de la radioactivité. D'où l'hypothèse consacrée par le bilan officiel publié fin 2005 du *Chernobyl Forum Report* d'une origine radio-phobique de la plupart des maux autres que les cancers de la thyroïde. Écartons cette façon expéditive peu scientifique d'évacuer le problème et considérons plus finement ce qui se passe durant le cycle cardiaque. On sait que 10% du flux sanguin expulsé par le ventricule gauche, le plus irradiant car sa paroi est la plus épaisse, passe immédiatement dans les artères coronaires qui le distribuent dans les fins capillaires irriguant le myocarde. Ce sang contient donc des radicaux oxydants produits par le rayonnement gamma du  $Ba_{137m}$  provenant du myocarde et du septum. Or les tissus des vaisseaux sanguins sont parmi les plus vulnérables aux radicaux libres et oxydants. On peut donc conjecturer que ce mécanisme n'est pas pour rien dans les pathologies cardiaques liées à la présence de  $Cs_{137}$  dans l'organisme : un endommagement généralisé de

toute la vascularisation du cœur à l'origine de la plupart des dysfonctionnements, non congénitaux<sup>9</sup>, de l'organe. Leur prévalence élevée chez l'Enfant s'expliquerait par la plus grande sensibilité de ses tissus vasculaires (à ce sujet, on a noté que les poussières radioactives inhalées durant le passage des panaches radioactifs, tant ceux de Tchernobyl que de Fukushima, avaient provoqué des saignements de nez chez de nombreux jeunes enfants : les fins vaisseaux de leurs muqueuses nasales étaient endommagés par les radicaux oxydants produits par les radiations  $\beta$  ; ici et là, même cause, mêmes effets, on peut aussi suspecter les pics de bronchites durant les mois suivant comme la manifestation d'une altération de même origine de la résistance des tissus pulmonaires aux agents infectieux).

Réduire le plus rapidement possible la concentration de  $Cs_{137}$  d'un organisme juvénile contaminé au delà de 20 Bq/kg constitue un enjeu de santé publique permanent dans les régions fortement touchées par les retombées des accidents de Tchernobyl et Fukushima.

Pour la suite, nous ne saurions trop conseiller de prendre connaissance des références signalées en note. Au delà de leur contenu parfois technique, elles offrent un panorama éclairant de la complexité des phénomènes physico-chimiques et biologiques à considérer. Les grandes lignes sont faciles à appréhender puisqu'on y traite de compléments alimentaires d'origines diverses, de toxicité, bref de choses assez concrètes et familières. On comprend alors que le choix d'une variété de pectine pour favoriser l'élimination de tel et/ou tel radioélément ou métal lourd ne va pas de soi. On se persuade au fil des lectures que l'empirisme est de règle et que les résultats obtenus sont en soi probants pour établir, soit l'efficacité, soit son contraire. Enfin, aborder cette question avec un minimum de détails nous est apparu indispensable pour démystifier les radiations et leurs effets, et proposer au lecteur les ressources intellectuelles pour aborder ce qui touche aux conséquences des crises radiologiques majeures sans se laisser submerger par l'émotion.

---

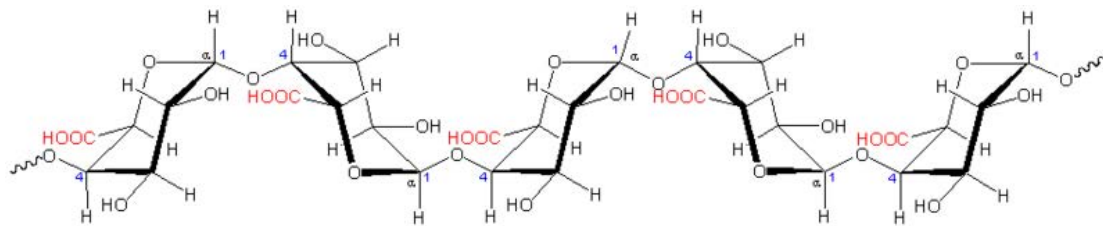
<sup>9</sup> Une irradiation du cœur lors de sa formation *in utero* peut provoquer une malformation, la non-fermeture du septum. S'établit alors une circulation inter-ventriculaire plus ou moins handicapante, dénommée « souffle au cœur ».

## Quels rôles pour les pectines<sup>10</sup> ?

### 1. Structure des pectines ; applications de leurs propriétés chélatrices.

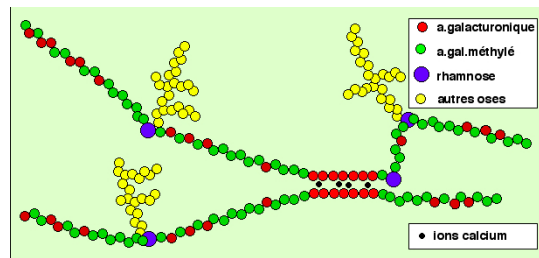
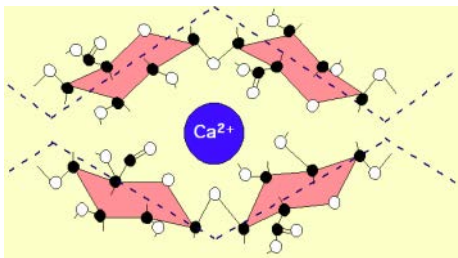
On trouve les pectines à diverses concentrations et variétés dans les tissus périphériques des algues, fruits et légumes. Elles sont particulièrement concentrées, jusqu'à 30 %, dans la peau du citrus.

Ce sont des molécules complexes de compositions variées. Ces molécules forment de longues chaînes. Parmi celles-là l'acide galacturonique, plus ou moins polymérisé, dont la figure ci-dessous montre la composition chimique et comment ses molécules se fixent les unes aux autres (lien 1 → 4 par mise en commun d'un atome d'oxygène). On remarque qu'à chaque extrémité de la chaîne l'atome d'oxygène présente une liaison disponible, symbolisée par un petit serpentin :



-1- Acide poly-galacturonique (chaîne de cinq molécules)

Les chaînes de pectine peuvent se lier par l'intermédiaire d'ions calcium (divalent : 2 électrons sur sa couche périphérique), selon les schémas ci-dessous :



-2- "Boîte à œufs" : un ion calcium  $\text{Ca}^{++}$  lie deux chaînes -3- Deux chaînes complexes liées par plusieurs ions calcium

La liaison est réalisée par la substitution d'un ion calcium  $\text{Ca}^{++}$  à deux ions hydrogène  $\text{H}^+$  appartenant à deux chaînes de pectine. Ces assemblages prennent en gel, une propriété utilisée en cuisine. Ils peuvent être rompus en extrayant le calcium par la chaleur (la confiture prend en refroidissant), au moyen d'un chélateur puissant comme l'EDTA (dont on reparlera) ou d'un acide

<sup>10</sup> A ce sujet on peut consulter :

*La paroi primaire de la cellule végétale, les pectines*, BMédia <<http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/paroi/pectines.htm#>>  
S. BENBRAHIM & al., *Élimination des cations métalliques divalents : complexation par l'alginate de sodium et ultrafiltration*, Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 11, n° 4, 1998, p. 497-516, <<http://www.erudit.org/revue/rseau/1998/v11/n4/705318ar.html?vue=resume>> ;

BORIS A. KATSNELSON & al., *Enhancing Population's Resistance to Toxic Exposures as an Auxilliary Tool of Decreasing Environmental and Occupational Health Risks (a Self-Overview)*, Journal of Environmental Protection, 2014, 5, 1435-1449, <<http://dx.doi.org/10.4236/jep.2014.514137>> ;

Isaac ELIAZ, *Modified Citrus Pectin Decreases the Total Body Burden of Mercury : A Pilot Human Clinical Trial*, 228<sup>th</sup> ACS National Meeting, Philadelphia, PA August 22-26, 2004, <<http://blog.naturalwise.co.za/mcp-clinical-trial/>> ;

Wikipedia, *EDTA, Toxicité*, <<https://fr.wikipedia.org/wiki/EDTA>> ;

A.V. SOROKINE, *Recommandations méthodologiques pour l'usage de la pectine Zosterine-Ultra*, Direction Fédérale chargée des problèmes medicobiologiques et d'urgence auprès du ministre de la Santé de la Fédération de Russie, N° 32-024/71, Moscou, 12 février 2003.

apportant une forte concentration d'ions  $H^+$  qui chasse les ions calcium (ne pas mettre de vinaigre dans la confiture !).

N'importe quel cation divalent (ion chargé positivement par la perte de deux électrons de sa couche périphérique) suffisamment réactif pour prendre la place des deux ions  $H^+$  selon le schéma -2- ci-dessus va se trouver « phagocyté » par les molécules de pectine en présence desquelles il sera placé.

Cette capacité à adsorber (fixer par des liaisons faibles) des cations divalents a été et est encore utilisée dans les industries à risque. A ce sujet, le Pr Michel Fernex nous a rappelé à plusieurs reprises qu'une préparation pectinique de la société Sanofi était ajoutée à la ration alimentaire quotidienne des ouvriers des usines d'automobiles dans la première moitié du  $XX^E$  siècle à ces époques où l'atmosphère des ateliers était chargée de poussières de plomb, de particules de mercure et autres métaux lourds (une situation qui n'a plus cours depuis des décennies...). Il a souligné qu'aucun cas de saturnisme n'est survenu au sein du personnel dont l'entreprise appliquait cette prophylaxie. Exemple contemporain, une directive de la Direction de la Santé de la République de Russie du 12 février 2003 enjoignant le recours systématique à la pectine dans diverses situations à risque, justifié ainsi :

*« Au cours de ces dernières années, et surtout après la catastrophe de Tchernobyl, on accorde une grande attention à l'élaboration et à la mise en pratique de moyens destinés spécifiquement à la prophylaxie des lésions radiologiques et chimiques, à la baisse du niveau d'accumulation et de concentration des substances nocives dans l'organisme humain et au renforcement des défenses de l'organisme. [...]*

*« Parmi les additifs alimentaires on utilise surtout les fibres, en particulier les pectines – celles d'agrumes, de pommes et de zostérine – qui possèdent des propriétés adsorbantes et fortifiantes remarquables et agissent positivement sur le métabolisme des hydrates de carbone et du cholestérol. [...]*

*« Dès les années 1960 il a été démontré que les pectines évacuent de l'organisme les radio-isotopes du strontium et du césium, qu'elles diminuent l'absorption du plomb, ce qui les a fait utiliser comme moyen prophylactique de masse pour les professionnels et les populations se trouvant en milieu contaminé par les retombées de Tchernobyl. Ces propriétés des pectines ont été confirmées plus tard par les travaux des spécialistes du Centre scientifique d'Etat (GNC) "l'Institut de biophysique" et par d'autres centres de recherches. [...]*

*« La "Zostérine-Ultra" a été approuvée comme additif alimentaire thérapeutique et prophylactique par divers instituts de recherches médicaux, hôpitaux et polycliniques, y compris par le Centre scientifique d'Etat "Institut de biophysique", par l'Institut de recherche de la grippe de l'Académie des sciences médicales de Russie, par l'Académie Kirov de médecine militaire, par l'Institut de toxicologie du Ministère de la Santé publique de Russie, par l'Académie de médecine de formation continue (St.-Petersbourg). [...]*

*« Les propriétés prophylactiques et curatives de l'additif alimentaire "Zostérine-Ultra" permettent de recommander son utilisation : au personnel des entreprises de l'industrie atomique et autres branches industrielles ayant affaire aux substances radioactives ainsi que dans les territoires contaminés par les substances radioactives et autres substances toxiques comme moyen prophylactique pour protéger l'organisme de l'accumulation dans ses divers organes de radionucléides ainsi que de métaux lourds et pour diminuer la probabilité d'effets cliniques indésirables ; au traitement général de diverses maladies dont les maladies professionnelles. »*

Autre application, une substance pectinique extraite des algues est utilisée industriellement dans un

processus d'ultra-filtration assistée destiné à purifier les eaux polluées par des cations toxiques divalents. Le procédé a été validé par une étude sur plusieurs cations. En conclusion on y souligne le rôle négatif de la présence d'ions calcium dans l'efficacité du procédé, ce qui découle des conditions à remplir pour « libérer » les chaînes de pectine de leurs ponts calcium, comme cela a été mentionné *supra* en note 9 (S. BENBRAHIM) :

*« En entreprenant ce travail, nous nous étions fixés pour objectif de montrer qu'un polymère naturel, l'alginate de sodium, pouvait être utilisé pour éliminer les métaux lourds par complexation-ultrafiltration. [...] »*

*« Les expériences de rétention de quelques cations ( $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Cd}^{++}$ ,  $\text{Pb}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$ ) conduisent à des taux de rejet de l'ordre de 100 % et dépendent à la fois du rapport métal sur ligand et de la valeur du pH (acidité de l'eau). [...] »*

*« L'extension des résultats obtenus au traitement d'eaux naturelles est limitée par la présence des ions calcium qui entrent en compétition avec les autres cations présents. »*

Exceptée celle des traitements curatifs évoqués dans la directive russe de 2003, l'élimination des métaux lourds divalents (stables et radioactifs) illustrée dans les exemples ci-dessus a lieu directement par extraction du milieu initial (bol alimentaire, eau polluée)<sup>11</sup> : l'action durant la digestion est dite entérosorbante au sens où les polluants sont adsorbés durant leur passage dans le côlon. Comme ces grandes molécules ne passent pas la barrière intestinale, l'élimination des toxiques est immédiate. Aucune des études consultées ne signale une action directe des pectines sur les cations monovalents (les seuls cations monovalents lourds sont le césium, le rubidium et le francium, un élément artificiel absent de l'environnement). Nous en déduisons que les pectines n'éliminent pas le césium par entérosorption. La prise quotidienne de doses prophylactiques de pectine n'est donc pas justifiée.

## **2. Chélation et pectines**

*« La chélation (prononcer “kélation”) vise à désintoxiquer l'organisme des minéraux et des métaux nuisibles. Du mot grec “khêlê”, qui signifie “griffes” ou “pinces”, la chélation est, plus précisément, le procédé par lequel une substance organique (l'agent chélateur) se lie à des minéraux ou des métaux ionisés (chargés électriquement), comme le fer, le calcium, le plomb, le cuivre, etc. Le complexe qui en résulte étant stable, inactif, non toxique et soluble, est éliminé par voie urinaire. »*

*« La chélation par injection intraveineuse est une pratique médicale couramment utilisée dans les cas d'intoxication par certains métaux lourds, tels le plomb, et par des substances radioactives<sup>12</sup>. »*

Les chélateurs les plus couramment utilisés sont les DTPA<sup>13</sup> et EDTA<sup>14</sup>. Les trois figures suivantes

---

<sup>11</sup> Quelques références complémentaires sur les diverses pectines, leurs capacités d'adsorption de métaux lourds divalents et autres propriétés suggérant la complexité de la sélection d'un agent actif :

WONG, W. W. & al., *Technical-Short Communication Modification of Durian Rind Pectin for Improved Biosorbent Ability*, International Food Research Journal 15(3): (2008), <<https://core.ac.uk/download/files/452/12220173.pdf>> ;

NILANJANA Das & al., *Biosorption of Heavy Metals, an Overview*, Indian Journal of Biotechnology Vol 7, April 2008, <[http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/1822/1/IJBT%207\(2\)%20159-169.pdf](http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/1822/1/IJBT%207(2)%20159-169.pdf)> ;

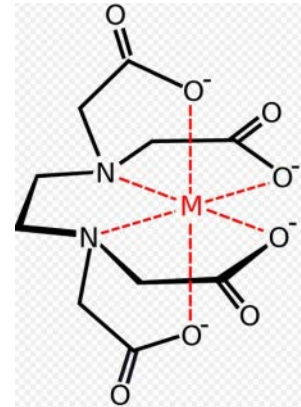
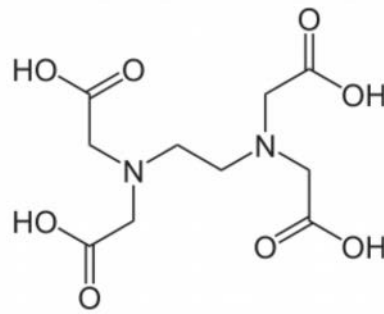
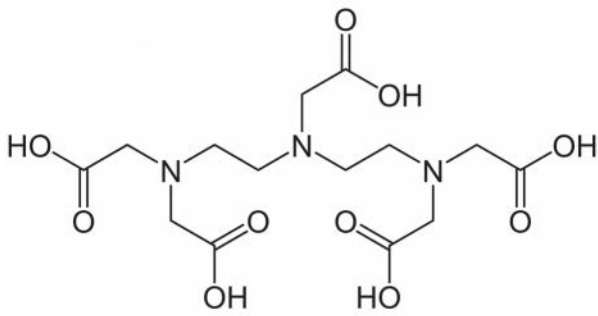
S. BAGHERI & al., *Effect of wheat bran and pectin on the absorption and retention of phosphorus, calcium, magnesium and zinc by the growing pig*, HAL Archives ouvertes, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00898311> ;

<sup>12</sup> *La chélation, qu'est-ce que c'est ?* <[http://www.passeportsante.net/fr/Therapies/Guide/Fiche.aspx?doc=chelation\\_th](http://www.passeportsante.net/fr/Therapies/Guide/Fiche.aspx?doc=chelation_th)>.

<sup>13</sup> WIKIPEDIA, *Pentetic acid*, <[https://en.wikipedia.org/wiki/Pentetic\\_acid](https://en.wikipedia.org/wiki/Pentetic_acid)>.

<sup>14</sup> WIKIPEDIA, *Ethylenediaminetetraacetic acid*,

montrent les squelettes en plan de leurs structures moléculaires et le schéma 3D de capture d'un ion métallique par une molécule d'EDTA :



- 1 - Squelette moléculaire du DTPA

- 2 - Squelette moléculaire de l'EDTA

- 3 - Ion métallique piégé dans une molécule d'EDTA

Les ions métalliques piégés par des molécules chélatrices deviennent « invisibles » et ne participent donc plus aux échanges biochimiques. Leur concentration apparente dans le sang diminue, ce qui favorise la sortie des cellules de ceux qui y ont été éventuellement incorporés. L'évacuation urinaire du complexe chélateur-métal entretient ce processus.

Cette propriété est mise à profit dans le domaine de l'imagerie médicale pour injecter des traceurs radioactifs comme le  $Te_{99m}$  sans risque de rétention organique.

Outre l'injection intra-veineuse, un agent chélateur peut-être introduit par voie aérienne (avec un brumisateur) après l'inhalation d'un métal toxique ou radio-toxique (comme le plutonium). Si la médication suit rapidement l'accident de contamination, on évite l'incorporation du toxique dans un organe cible après passage dans le sang (comme l'os pour le plutonium sous forme chimique soluble). Il peut aussi, s'il est insoluble, être ingéré oralement (Bleu de Prusse<sup>15</sup> notamment, piégeant efficacement le césium, le thallium, l'indium, le rubidium etc.) et conduire à une élimination intestinale directe ; on conçoit que ce type de médication n'a de sens que dans l'urgence d'une présomption de forte contamination alimentaire et que s'il y est recouru sans aucun délai ; il est à proscrire, d'autant que le produit est très constipant, dans une situation de contamination chronique rapidement incorporée.

Les chélateurs agissant également sur le calcium et le zinc, nécessaires à un fonctionnement équilibré de l'organisme, leur usage doit être strictement proportionné aux besoins du traitement.

Les pectines en tant que telles ne sont pas des chélateurs puissants au sens du DTPA et de l'EDTA. Cependant des dosages du  $Cs_{137}$  dans les urines ont montré une nette augmentation de la concentration en radio-élément deux à trois jours après le début d'une cure orale de pectine (*Vitapect*<sup>TM</sup>). Cette observation empirique conduit à conjecturer la réalité du processus suivant : 1. la population des

<[https://en.wikipedia.org/wiki/Ethylenediaminetetraacetic\\_acid#Biodegradation](https://en.wikipedia.org/wiki/Ethylenediaminetetraacetic_acid#Biodegradation)>.

<sup>15</sup> AFSSAPS, Fiche Piratome n° 2 : Bleu de Prusse,

<[http://ansm.sante.fr/var/ansm\\_site/storage/original/application/c97a19b9e936a23ef4b82e23c16646b1.pdf](http://ansm.sante.fr/var/ansm_site/storage/original/application/c97a19b9e936a23ef4b82e23c16646b1.pdf)>.



bactéries intestinales capables de couper les longues chaînes moléculaires constituant les pectines en plusieurs fragments croît rapidement en présence de pectine dans le bol alimentaire ; 2. des fragments sont assez petits pour passer la barrière intestinale et entrer dans la circulation sanguine ; 3. parmi ces fragments il s'en trouve qui ont une structure moléculaire capable d'adsorber les ions monovalents du césium ; 4. un phénomène de chélation du césium incorporé se produit ; 5. il s'en suit une diminution de la concentration apparente des ions césium dans le sang : on dit que la pression ionique partielle du césium dans le sang diminue, provoquant *ipso facto* un accroissement de la différence de cette pression ionique entre cellules et sang ; 6. le césium incorporé dans les cellules s'en trouve plus facilement mobilisé vers le sang par la « pompe » sodium-césium ; 7. le taux d'élimination du césium incorporé augmente.

Ainsi un complément alimentaire relativement bon marché se révèle-t-il un auxiliaire précieux dans la préservation de la santé des populations des régions fortement contaminées par les retombées de l'accident de Tchernobyl.

Cette propriété des pectines ne se limite pas au césium. Une étude a montré que le mercure incorporé peut aussi être éliminé par de longues cures (plus de quatre mois) d'un dérivé pectinique particulier, MCP (Modified Citrus Pectin)<sup>16</sup>, ce qui démontre que des fragments de MCP passés dans le sang adsorbent des cations divalents. La même MCP se révèle aussi la plus efficace pour extraire directement d'autres cations divalents – Cd, Cu, Zn, Pb et Ni – des eaux polluées<sup>17</sup>.

### **3. Discussion**

Le survol de la littérature sur l'entérosorption et la chélation offre un tableau contrasté entre la description précise de l'action chélatrice de molécules simples comme le DTPA, l'EDTA et le Bleu de Prusse, et la complexité régnant du côté des propriétés des pectines. S'il a été empiriquement observé lors de nombreuses études que la prise orale de pectine accélère la décorporation et l'élimination des métaux lourds, tant divalents comme le mercure mais aussi le Sr<sub>90</sub>, que monovalents comme le césium, on ne dispose pas de schémas systémiques des phénomènes. La preuve est apportée par l'expérience et aucune théorie simpliste ne peut y être opposée si l'expérience est menée en respectant les bonnes pratiques, ce qui est notamment le cas de celle réalisée avec le concours du Pr Michel Fernex au début des années 2000<sup>18</sup>.

En effet, en plein débat sur l'utilité des cures du composé pectiné *Vitapect*<sup>TM</sup> prescrites par l'Institut Belrad de Minsk aux enfants contaminés par le Cs<sub>137</sub>, à l'occasion des tractations qui ont eut lieu durant la négociation pour la libération du Pr Youry Bandazhevsky, l'IRSN qui avait été mis dans la boucle par

---

<sup>16</sup> Conf. ELIAZ Isaac, note 9 *supra*.

<sup>17</sup> Conf. WONG, W. W., note 10 *supra*.

<sup>18</sup> Vassily B. NESTERENKO & al., *Reducing the <sup>137</sup>Cs-load in the organism of "Chernobyl" children with apple-pectin*, Swiss Medical Weekly, n° 134, 2004, p. 24-27, <[url.ca/o7tlb](http://url.ca/o7tlb)> ;



l'ambassadeur de France à Minsk, Son Excellence Stéphane Chmélevsky, a fait valoir sa recension critique sans concession des publications traitant cette question<sup>19</sup>. La seule publication qui n'ait fait l'objet que d'observations bénignes est celle de V.B. Nesterenko & al. citée *supra* en note 17 : un unique reproche à son encontre, n'avoir pas été publiée dans une grande revue prestigieuse largement diffusée... Et quoi qu'on puisse avoir comme préjugé, les remarques négatives à l'encontre de la plupart des autres publications sont justifiées d'un point de vue académique. On peut cependant en toute justice regretter qu'elles n'aient pas été atténuées par des considérations objectives sur le contexte socio-économique et la situation d'urgence sanitaire des vastes régions touchées par Tchernobyl.

Petite digression qui, on l'espère, répondra aux objections sur les « dangers » que feraient courir les cures de pectine. On entend évoquer la déplétion d'oligo-éléments métalliques et autres effets indésirables et nuisibles à la santé. Que dit l'OMS ? En 1981, dans son 25<sup>ème</sup> rapport sur les additifs alimentaires, co-écrit avec la FAO<sup>20</sup>, l'Organisation ne signale aucune restriction d'usage et annonce la poursuite des études. Depuis, de nombreux travaux ont mis en évidence divers bienfaits à l'actif des pectines, autant de niches commerciales à occuper. Par exemple, une société britannique<sup>21</sup> invoque l'autorité de l'OMS – concernant le risque cardiovasculaire « *L'OMS recommande avec force que dans le groupe à risque des hommes de plus de 45 ans chacun prenne préventivement cet adjuvant.* » – pour proposer son produit *Nanopectin* afin de contrer « *les risques associés aux maladies gastro-intestinales comme le cancer du côlon et de nombreuses autres* » mais aussi le surpoids et les radiations. Le 11 novembre 2011, l'Union Européenne a publié un complément au règlement sur les additifs alimentaires<sup>22</sup>. Concernant les pectines (E440), aucune contre-indication n'est signalée et la mention *quantum satis* – autant que de besoin – apparaît dans toutes les rubriques – *quantité maximale dans les préparations d'enzymes ; quantité maximale dans les denrées alimentaires à l'exception des boissons ; quantité maximale dans les boissons ;* ainsi que la réponse *OUI* à la question *peut être utilisée comme support*.

Conscient des lacunes du dossier scientifique des pectines, Vassily Nesterenko, créateur de l'Institut Belrad, a pris le temps d'évaluer leurs propriétés avant de concevoir une préparation optimale au goût des enfants, dénommée *Vitapect*<sup>TM</sup>, tant pour accélérer l'élimination du Cs<sub>137</sub> incorporé, qu'apporter à l'organisme des anti-oxydants efficaces et, à toutes fins utiles, des oligo-éléments. La genèse détaillée de l'élaboration de cet additif a été rédigée par Vassily Nesterenko<sup>23</sup> en 2005. Outre sa capacité à

---

<sup>19</sup> JOURDAIN J.R. & al., *Evaluation de l'emploi de la pectine chez les enfants vivants sur les territoires contaminés par le césium, état de l'art et analyse critique*, IRSN/DRPH/2005-008, <[http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports\\_expertise/Documents/radioprotection/IRSN\\_Rapport\\_utilisation\\_pectine\\_chez\\_les\\_enfants\\_2005.pdf](http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/radioprotection/IRSN_Rapport_utilisation_pectine_chez_les_enfants_2005.pdf)>.

<sup>20</sup> WHO, *Evaluation of certain food additives*, Twenty-fifth Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, Geneva 1981, p. 28.

<sup>21</sup> NanoPectin, <<http://nanopectin.co.uk/en/home>>.

<sup>22</sup> UE, *Règlement (UE) N° 1130/2011 de la Commission, du 11 novembre 2011, partie 3 "Additifs Alimentaires"*.

<sup>23</sup> VASSILY B. NESTERENKO, *Monitoring radiologique de la population et des denrées alimentaires dans la zone de*

accélérer l'élimination du Cs<sub>137</sub> incorporé, la composition du *Vitapect* est particulièrement adaptée, tant au renforcement des défenses de l'organismes contre l'action des radicaux libres et oxydants qu'à la préservation des oligo-éléments essentiels. Extraits :

« L'Institut Belrad a pris la décision de créer un laboratoire de fabrication de l'additif alimentaire pectique "Vitapect". En avril 1999, l'Institut Belrad en coopération avec les laboratoires Hermes (Allemagne, Dr. Jurgen Reimann) a élaboré la formule du "Vitapect", composée de poudre pectique, vitamines B, C, E, β-carotène, acide folique, oligo-éléments (K, Zn, Se). Le 20 mars 2000, le Ministère de la Santé de la Biélorussie a délivré à l'Institut Belrad le certificat hygiénique № 08-33-0.135392 permettant la production, la vente et l'emploi de "Vitapect", préparation en poudre soluble vitaminée à base de marc de pommes. » (p. 43)

« En juin 2000, le premier vice-ministre de la Santé de la Biélorussie Mr. V.M.Orekhovski a approuvé le recueil méthodique "Syndrome de désadaptation écologique chez enfants biélorusses et moyens de sa correction". Dans un des chapitres de ce recueil, on donne la caractéristique suivante des pectiques (en particulier de "Vitapect", breveté en Russie et approuvé par le Ministère de la Santé de la Biélorussie) : "Vitapect est un additif alimentaire végétal aux propriétés anti-oxydantes, antidotes et complexes qui favorise la neutralisation et l'élimination des toxines, radionucléides et métaux lourds et la normalisation du métabolisme. La préparation contient des anti-oxydants d'une grande efficacité ainsi que des vitamines, oligo-éléments et pectine de fruits, elle a un bon goût et grâce à une technologie originale de fabrication, se conserve bien. La préparation favorise la formation du sang, la circulation du sang au cerveau, le fonctionnement du cœur et de l'appareil circulatoire, celui de l'estomac, des intestins et du foie, elle normalise le métabolisme, accroît l'immunité représente un bon moyen prophylactique des affections du cœur et des vaisseaux sanguins, des allergies et du cancer. Vitapect a une propriété unique, celle de réparation des cellules de l'organisme qui ont été irradiées ...." » (p. 43)

La confirmation scientifique de la préservation des oligo-éléments a été établie au cours d'un programme d'études menées de concert avec le centre de recherche nucléaire de Jülich en Allemagne. L'article mentionné en note 17 présente une partie des résultats obtenus, ceux concernant l'efficacité du *Vitapect* pour éliminer le Cs<sub>137</sub>.

Le court chapitre suivant est consacré aux résultats de terrain obtenus par Belrad, dans des conditions routinières non académiques. Par exemple, l'alimentation des enfants pendant une cure de *Vitapect* encadrée par deux mesures de leur contamination interne ne fait pas l'objet d'un contrôle systématique. De ce fait les résultats sont à évaluer par défaut puisqu'une partie des aliments consommés peut s'être trouvée contaminée par du Cs<sub>137</sub>. On doit donc s'attacher à considérer le tableau global, très positif, comme un exemple d'une application de grande envergure et de longue durée de la méthode de Belrad, dont la mesure de la radioactivité corporelle de chacun et la prescription de *Vitapect* sont deux piliers techniques.

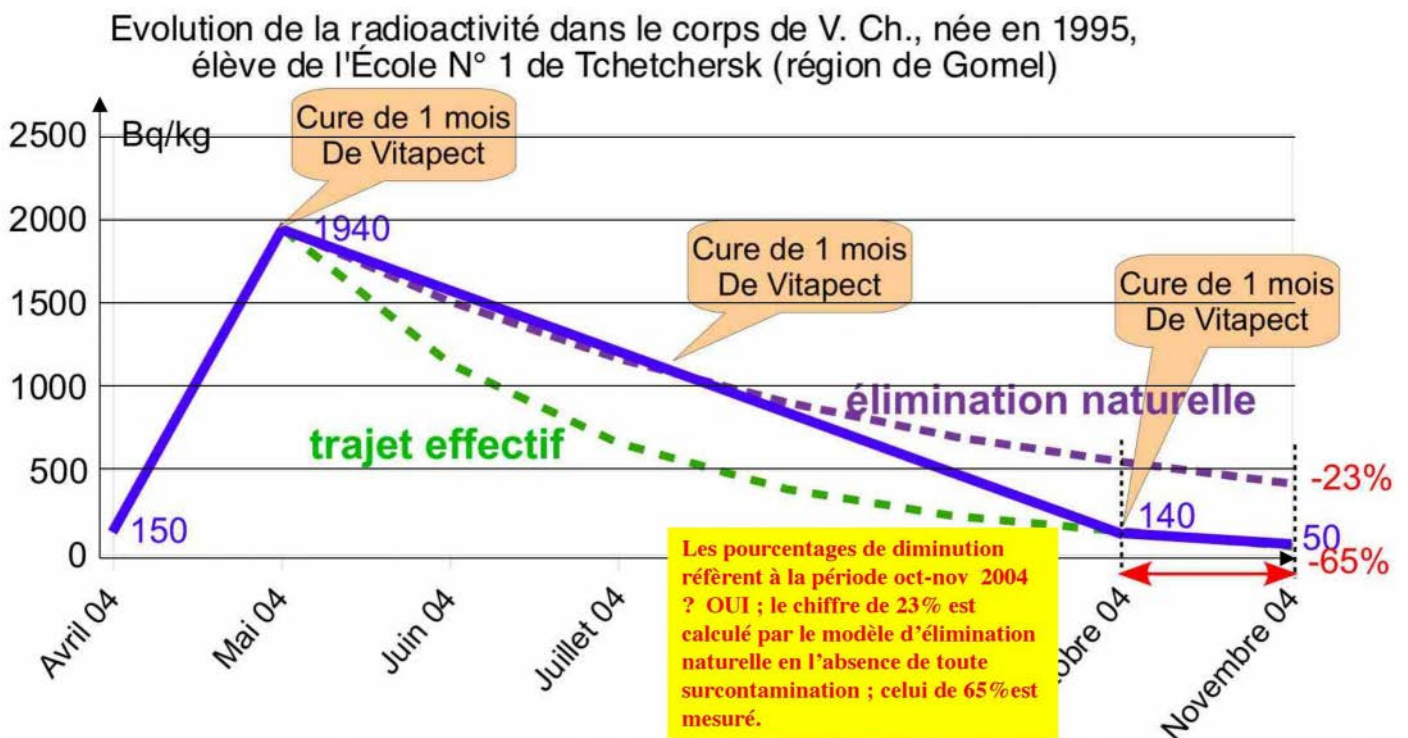
## Quelques éléments de bilan

Belrad a commencé à mesurer la contamination interne des habitants des régions « de Tchernobyl » à partir du milieu des années 1990. A ce jour plus de 500 000 mesures ont été effectuées. Les campagnes de mesure ont lieu deux fois par an dans les écoles des villages à risque et concernent entre 10 000 et 20 000 enfants, nombre fluctuant en fonction des autorisations accordées par les autorités locales et des ressources financières de l'Institut. Plusieurs milliers de cures de *Vitapect* sont prescrites chaque année aux enfants dont la contamination est considérée comme trop élevée.

On distingue les cas d'intoxication aiguës qui vont nécessiter une intervention et un suivi particuliers des situations chroniques traitées dans un cadre collectif standard.

### 1. Analyse d'un accident de contamination et ses enseignements

La figure ci-dessous illustre l'effet de plusieurs cures de *Vitapect* administrées après un accident de contamination ayant amené la charge corporelle en  $Cs_{137}$  de 150 Bq/kg en avril 2004 à 1940 Bq/kg un mois plus tard.



Ces courbes appellent quelques explications. Cependant, en tout premier lieu, on peut s'étonner qu'une première cure de *Vitapect* n'ait pas été prescrite après la mesure d'avril. La raison particulière de cette omission n'a pas été enregistrée mais on peut supputer que les entraves administratives à la fabrication du *Vitapect* et à sa distribution qui ont perturbé l'activité de Belrad durant l'année 2004 n'y sont pas étrangères. La gravité de l'accident a conduit à décider deux cures successives, en mai et juillet, avec une mesure de contrôle en octobre. La courbe verte en pointillés est théorique sous l'hypothèse d'une alimentation propre. La courbe violette trace ce qu'aurait été l'évolution de la charge corporelle de l'enfant avec la même hypothèse. Une troisième cure de pectine a été administrée après la

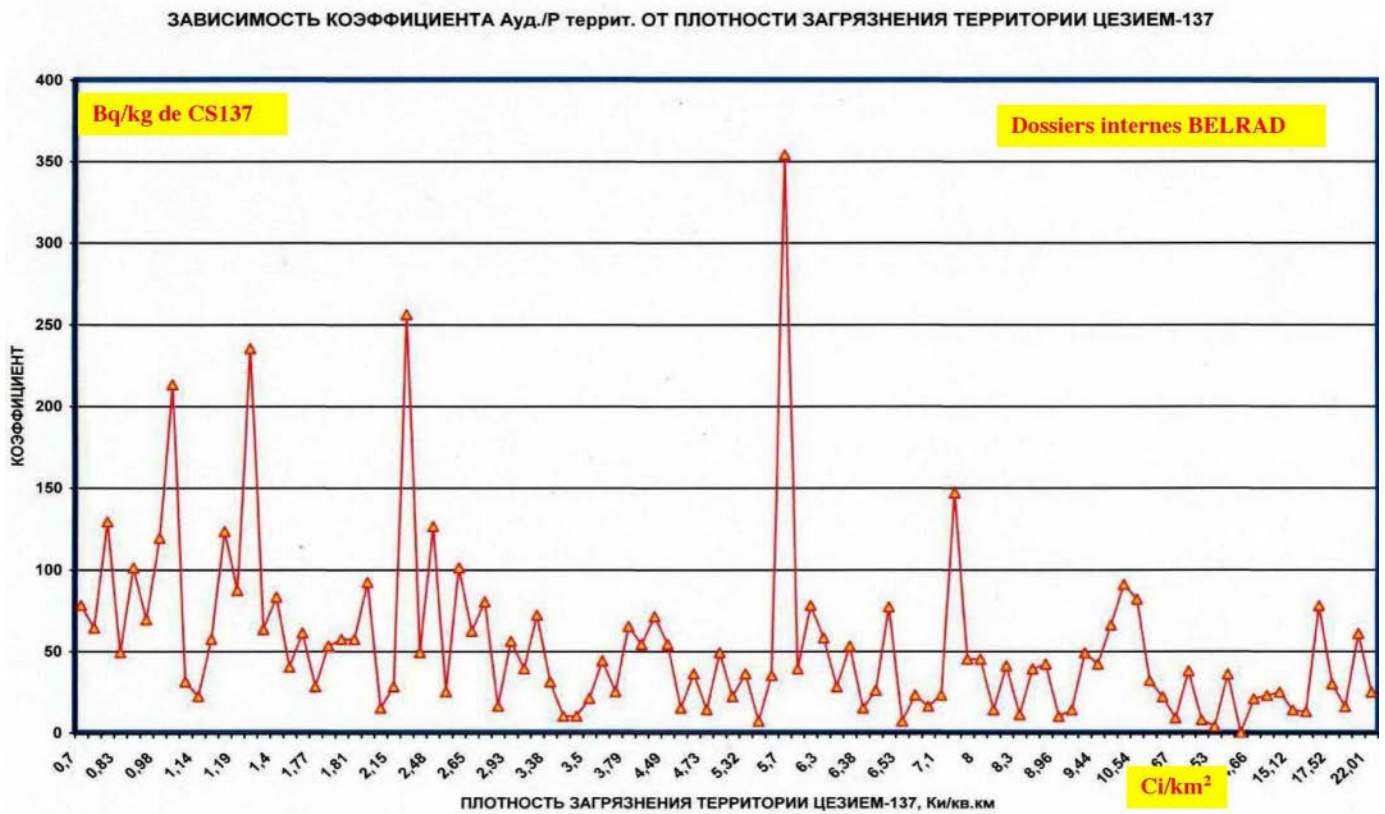
mesure d'octobre (140 Bq/kg) dont l'effet a été souverain : un mois plus tard le contrôle montrait une division par trois de la contamination de l'enfant. Globalement, avec **l'hypothèse d'une nourriture propre** durant les six mois mai-octobre, sans *Vitapect* la contamination de l'enfant ne serait pas descendue très en dessous de 500 Bq/kg, dix fois plus que la valeur **mesurée**. Sans l'intervention systématique de l'Institut Belrad et ses campagnes de mesures de la radioactivité personnelle, le cas de cette fillette serait passé inaperçu et les éventuelles conséquences sanitaires de sa contamination n'auraient pas été admises comme causées par l'accident de Tchernobyl. Combien d'enfants ont été victimes à leur insu de telles contaminations ? Personne ne le sait. Du fait de ses moyens limités, Belrad n'a jamais pu suivre qu'une minorité inférieure à 10 % des enfants touchés par Tchernobyl. Les conséquences réelles de la catastrophe sont donc insuffisamment documentées, ce qui autorise tous les dénis des institutions internationales jouissant de l'autorité de l'ONU : l'UNSCEAR, l'OMS et la CIPR.

## **2. Quelques exemples statistiques, dans l'espace et le temps**

La nécessité de cures de pectine ne peut se déduire des données de contamination des sols par le  $Cs_{137}$  (et le  $Sr_{90}$  quand sa radioactivité est mesurée). En effet, le transfert vers les habitants de cette contamination dépend de nombreux facteurs, tels que la capacité des sols à empêcher le césium d'être absorbé par les plantes (soit par leur nature, soit par des traitements agricoles appropriés comme l'adjonction de potasse), la consommation de produits de la forêt (champignons, baies, gibier) et de la pêche dans les étangs et les lacs, le niveau de vie des gens (qui leur permet éventuellement de ne consommer que des aliments vendus dans les circuits commerciaux contrôlés), et enfin l'attention prêtée à éviter la prise de risques. Il semble bien que la contamination brute des sols n'est pas, loin de là, le facteur dominant, comme Vassily Nesterenko l'a établi sur une large échelle en 2003. Il a constitué un tableau éloquent où sont mis en regard les valeurs des concentration du  $Cs_{137}$  de cent villages et celles de ce même radio-élément dans la charge radioactive corporelle de leurs habitants.

Le graphique de la page suivante résume les résultats de l'étude. La contamination des sols est présentée en abscisse selon une échelle logarithmique graduée en Curie/km<sup>2</sup> ; il suffit de multiplier les valeurs par 37 000 pour les convertir en Bq/m<sup>2</sup>. Les radioactivités corporelles sont chiffrées en ordonnée en Bq/kg. A elle seule cette étude justifie le fondement de la méthode de Belrad : assurer une radioprotection individuelle comprenant les quatre volets : 1. information/éducation ; 2. contrôle de la radioactivité des aliments ; 3. mesure de la radioactivité corporelle ; 4. si nécessaire, cure personnelle de *Vitapect* pour faire baisser au plus vite cette radioactivité tout en renforçant les défenses de l'organisme.

## “Dépendance” entre contamination corporelle moyenne en Bq/kg et contamination surfacique des sols en Ci/km<sup>2</sup> (échelle logarithmique)



L'efficacité de cette méthode est abondamment illustrée dans les immenses registres de Belrad, dont nous présentons ci-dessous deux graphiques. Le premier montre comment une campagne de mesures plutôt inquiétantes au sein du jardin d'enfants et de l'école primaire du village de Krasnoberezhye a motivé une saine réaction de l'ensemble des familles concernées, comme concrétisée par les mesures de la campagne suivante, cinq mois et demi plus tard.

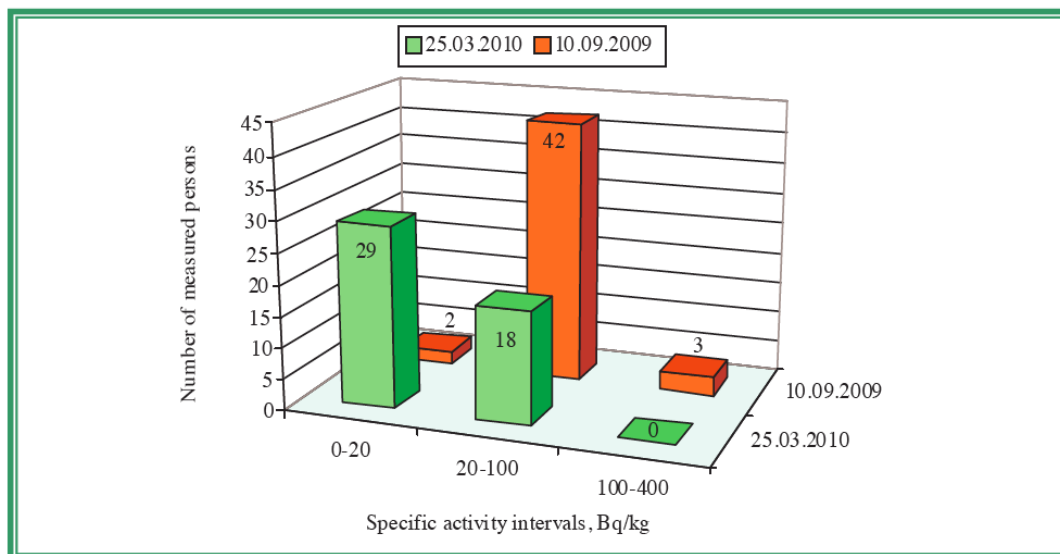
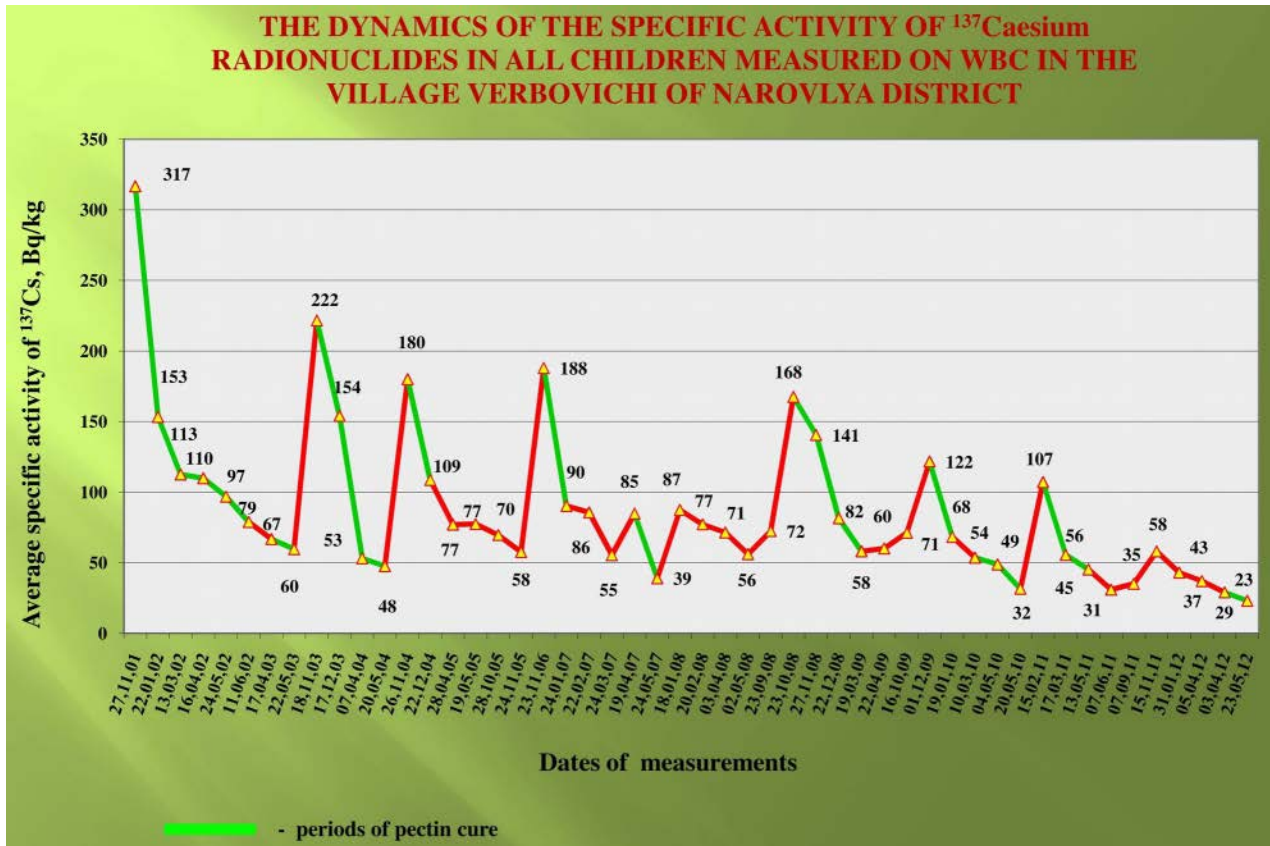


Figure 19 – Diagram of the interval <sup>137</sup>Cs specific activity distribution in children in the Krasnoberezhye basic school and kindergarten of Lelchitsy district of Gomel region in accordance with the results of measurements dated to September 10, 2009 and March 25, 2010

Le suivant montre dans la durée, 11 ans, le contrôle de la radioactivité incorporée par les cures de



*Vitapect*, signalées par les segments en vert. On voit bien que sans ces cures, le niveau moyen de la radioactivité corporelle des enfants du village de Verbovichi aurait été plus élevé d'un facteur trois, voire plus.



### 3. L'avenir...

Le temps passant les stigmates environnementaux de la catastrophe de Tchernobyl s'estompent : le Cs<sub>137</sub> s'infiltré dans le sol et se trouve d'ores et déjà à une profondeur telle que la radioactivité de son descendant émetteur gamma Ba<sub>137m</sub> n'est plus perceptible dans le bruit de fond ambiant. Les problèmes vont évoluer puisque les végétaux à racines profondes vont prendre le relais de ceux à racines superficielles pour « assurer » les transferts dans la chaîne alimentaire. Par ailleurs le césium stocké dans le mycélium des champignons reste quant à lui en surface, comme en témoignent les « records » de 2011 et 2012 enregistrés par Belrad – plus de 250 000 Bq/kg (sec) –, ce qui en fait de véritables déchets radioactifs à stocker dans des alvéoles bétonnées, alors qu'au Belarus ils peuvent incidemment servir à faire de succulentes soupes pour le repas du soir en hiver.

Fort heureusement le pouvoir d'achat général tend à augmenter et l'activité économique à se moderniser. Mais cette évolution touche moins les zones rurales, pauvres et victimes d'un exode parfois terrible (jusqu'aux deux tiers de la population d'avant l'accident). C'est pourquoi il serait injuste de passer les habitants de ces régions en grande difficulté au compte des pertes et profits. Des interventions régulières, comme celles que l'Institut Belrad maintient envers et contre tout, doivent se poursuivre sans interruption, et le recours au *Vitapect* être garanti chaque fois que nécessaire.

## Annexe 1

### Période biologique et limite d'accumulation

La *Publication 111* de la CIPR (Avril 2011) décrit, à partir de l'exemple du césium, comment interpréter la notion de période biologique. La figure 2.2 montre les évolutions de la radioactivité incorporée dans deux cas simples, celui d'une ingestion unique de 1000 Bq (accident de contamination), et celui de contaminations chroniques de faibles intensités de 1 et 10 Bq/jour. Il s'agit d'un exemple pédagogique chiffré pour une période biologique de l'ordre de 100 jours comme la courbe *Episodic ingestion of 1000 Bq* le montre avec la valeur moitié de 500 Bq atteinte 100 jours après l'ingestion. La linéarité du processus (effet proportionnel à la cause) est illustrée par les deux courbes relatives aux contaminations chroniques : absorber 10 Bq/j provoque une contamination interne dix fois plus élevée qu'avec 1 Bq/j et la contamination limite asymptotique quasiment atteinte en 1000 jours est donc dix fois plus forte.

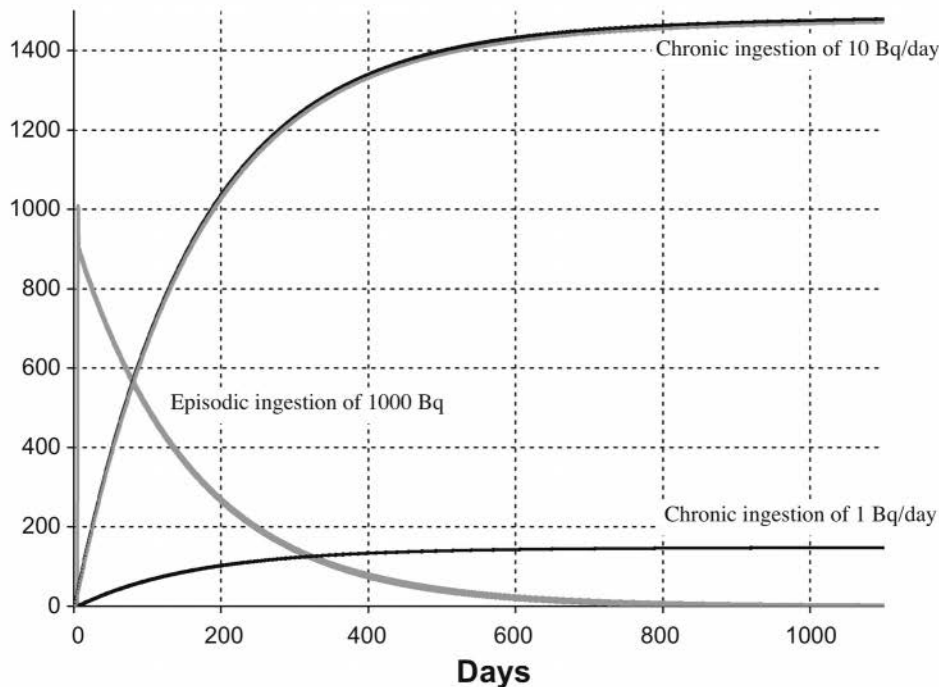


Fig. 2.2. Evolution over a pluri-annual period (1000 days) of whole-body activity (Bq) associated with an episodic intake of 1000 Bq and daily intake of 1 and 10 Bq of  $^{137}\text{Cs}$ .

Pourquoi l'accumulation cesse-t-elle au bout d'un certain temps alors que l'ingestion journalière de  $\text{Cs}_{137}$  se poursuit ? La réponse est suggérée par l'allure de la première courbe, celle montrant la diminution de la contamination interne après une ingestion accidentelle de 1000 Bq : l'organisme évacue progressivement le radio-élément. Et la quantité évacuée journalièrement est proportionnelle à la contamination interne restant. Ainsi, après 1000 jours d'ingestion chronique de 10 Bq/j, alors que la contamination corporelle a atteint environ 1500 Bq, l'organisme évacue-t-il 10 Bq/j (par la voie urinaire), autant que la prise journalière : le bilan marginal s'annule ; la limite d'accumulation est donc atteinte.

Mais l'essentiel est d'un autre ordre : l'ingestion de 10 Bq/j correspond grosso-modo à la consommation d'aliments contaminés à 10 Bq/kg, une valeur considérée comme totalement anodine par la réglementation ! Une valeur quasiment indétectable car en dessous de la limite de résolution des équipements couramment utilisés pour le contrôle de la radioactivité des produits alimentaires...

Aussi, dans un environnement globalement contaminé par des dépôts de  $\text{Cs}_{137}$  susceptibles de se propager à « bas bruit » dans la chaîne alimentaire, toute la population pourrait se trouver « héberger » une radioactivité corporelle de plusieurs milliers de Bq.

La cas du  $\text{Sr}_{90}$  est plus inquiétant : sa période biologique est de 2 500 jours, de l'ordre de 25 fois celle du  $\text{Cs}_{137}$ . Alors, une prise de 1 Bq/j conduit en quelques années à une charge corporelle de plusieurs milliers de Bq, concentrée dans le tissu osseux. Le risque de leucémie s'en trouve considérablement augmenté.

## Annexe 2

### Extrait de « Répartition du potassium dans l'organisme et sa régulation »

< <http://e-medecin.blogspot.fr/2014/07/repartition-du-k-dans-lorganisme-et-sa.html> >

#### III. LA REPARTITION DU POTASSIUM DANS L'ORGANISME

Le K total est environ égal à 3 200 mEq, le K interchangeable représente 85 %, les 15 % non échangeables sont situés dans l'os.

##### A. Le K intracellulaire

• La concentration de K cellulaire = 120 à 150 mEq/l = 95 % du K total, il est essentiellement retrouvé dans les cellules musculaires (muscles striés squelettiques et lisses ; le myocarde), hépatiques, et les hématies ;

• Il existe sous 2 formes : la forme libre, jouant un rôle osmotique, s'équilibrant aux anions et la forme liée aux protéines et au glycogène ;

• Il joue un rôle important dans la respiration cellulaire, les activités enzymatiques et la synthèse protéique.

##### B. Le K extracellulaire

• Le K plasmatique : la kaliémie normale est égale à 4 +/- 0,5 mEq/l (mmol/l)

• Le K des liquides interstitiels de concentration voisine de celle du plasma

• Le K du secteur transcellulaire : les liquides digestifs ont une teneur en K supérieure à celle du plasma ; **il existe donc une grande différence de concentration en K de part et d'autre de la membrane cellulaire.**

[cette propriété capitale permet d'expliquer les différences entre les dynamiques – i.e. régulations de leurs concentrations – biologiques respectives du césium et du potassium, NDA]

• Le K de l'os, du tissu conjonctif et du cartilage.

#### IV. LES FACTEURS DE REGULATION DE LA KALIEMIE

##### A. Le rôle de la membrane cellulaire

Perméable aux électrolytes.

Il existe un gradient de concentration qui est sous la dépendance d'un mécanisme actif : la pompe à Na, inhibée par les glucosides cardiaques, le froid et l'anoxie. Ce mécanisme nécessite de l'énergie par l'ATP et une enzyme la Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>ATPase inhibée par l'ouabaïne et le calcium. Il existe 2 types de transferts :

• Le transport actif neutre : 1 Na<sup>+</sup> échangé contre 1 H<sup>+</sup> ou 2 Na<sup>+</sup> contre 1 K<sup>+</sup> et 1 H<sup>+</sup>

• Le transport actif électrogène : 3 Na<sup>+</sup> contre 2 K<sup>+</sup>

...

## Annexe 3

### Schéma de la désintégrations β :

**AVANT : l'atome instable se comporte comme son isotope stable par exemple, Cs<sub>137</sub> comme Cs<sub>133</sub> ; I<sub>131</sub> comme I<sub>127</sub>**

**APRÈS : émission d'une particule β (cas considéré, Cs<sub>137</sub>)**

