# Tchernobyl : retombées sur nos cours de chimie

par B. PROUST,
Lycée Louis-le-Grand, Paris.

Nous examinons ici quelques aspects purement chimiques des récents événements survenus à la centrale nucléaire de Tchernobyl, assez simples cependant pour être présentés aux élèves du secondaire.

## I. ORIGINE DE L'ACCIDENT : UNE ERREUR ELECTROCHIMIQUE ?

Il n'est pas nécessaire de rappeler ici le film des événements du mois de mai 1986, ceux-ci furent abondamment diffusés et commentés par la presse ; bornons-nous à rappeler quelques faits saillants. Le 25 avril, une explosion dans le hall des machines (commun aux tranches 3 et 4 de la centrale) endommageait le circuit de refroidissement du réacteur 4, entraînant la fusion complète et très rapide du cœur.

Dès le 2 mai, lors d'une conférence de presse E.d.F., le directeur de l'I.P.S.N. (*) proposait un premier scénario suivant lequel la rupture d'étanchéité de la dalle était due à des « feux d'hydrogène » produit d'une réaction eau-zirconium.

En effet, en fonctionnement normal, le cœur d'une centrale de type RBM-K 1000 (voir schéma et principiales caractéristiques fig. p. 1513) est refroidi par de l'eau circulant dans des tubes de force formés d'un alliage niobium-zirconium. Le zirconium a été choisi pour sa faible section efficace de capture des neutrons ; or c'est un métal très réducteur : $E^0(Zr^{4+}/Zr_s) = -1{,}53$ V.

Comme l'aluminium, il est facilement passivé par formation d'une couche de zircone qui le protège (températures de fusion : Zr : 1 860 °C ; $ZrO_2$ : 2 700 °C). Il est peu réactif à température ordinaire et résiste bien à la corrosion.

Par suite de l'échauffement du combustible nucléaire, l'eau contenue dans les tubes s'est vaporisée et la température s'est

(*) Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire.

| radio-élément | $^{90}_{38}Sr$ | $^{137}_{55}Cs$ | $^{131}_{53}I$ |
|---|---|---|---|
| période | 28 ans | 30 ans | 8,04 jours |
| énergie β max en Mev | 0,54 (100) | 1,17 (8)<br>0,51 (92) | 0,815 (0,7)<br>0,608 (87,2)<br>0,335 (9,3)<br>0,250 (2,8) |
| énergie γ en Mev | | 0,662 (84) | 0,722 (3)<br>0,637 (9)<br>0,364 (80)<br>0,284 (5)<br>0,08 (2) |

Tableau. — Principaux radio-éléments toxiques [3] (pour les schémas de désintégration, on pourra se reporter aux articles [1] et [4]).

élevée, assez pour permettre la réduction de l'eau par le zirconium :

$$Zr + 2\,H_2O \rightarrow ZrO_2 + 2\,H_2.$$

L'hydrogène ainsi formé est à l'origine d'une seconde explosion (après celle du hall des machines) qui détruisit l'unique enceinte du réacteur. Celui-ci étant à ciel ouvert, les produits de fission les plus volatils furent, dès le 26 avril, rejetés dans l'atmosphère et soumis aux caprices des vents. On notera que, en 1979, à la centrale de Three Miles Island (U.S.A.), la même réaction d'oxydo-réduction n'eut pas les mêmes effets car l'enceinte de confinement avait résisté.

D'autres scénarios furent proposés par la suite, leur diversité parfois plus liée à des contingences médiatiques que scientifiques. On peut cependant penser que l'eau issue des conduites éclatées a ensuite réagi avec le graphite modérateur :

$$C + H_2O \rightarrow CO + H_2.$$

## II. LES RETOMBEES RADIOACTIVES : COMMENT SONT-ELLES ASSIMILEES ?

Le cœur du réacteur contient une centaine de produits de fission, stables ou radioactifs parmi lesquels dominent ceux dont

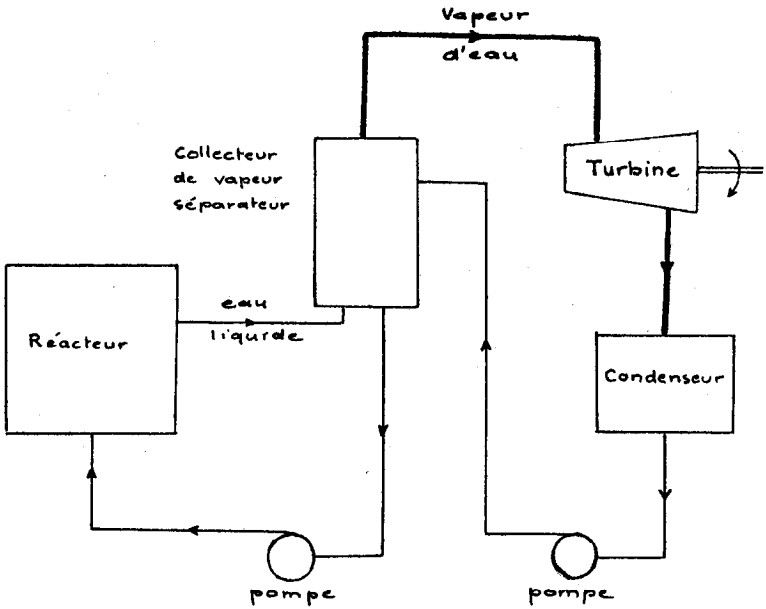



Fig. — Réacteur RBM-K (Reaktor Bolchoï Mochtechnostni Kipiachtchii, ce que l'on peut traduire par : « Grand et très puissant réacteur bouillant ») :

| | |
|---|---|
| combustible | $UO_2$ enrichi de 1 à 2 % selon les zones |
| modérateur | graphite |
| refroidissement | eau bouillante |
| puissance électrique | 1 000 MW |
| température vapeur | 284 °C |
| pression vapeur | 70 bars. |

Un seul circuit d'eau rendue radioactive (tritium) en passant dans le cœur — pas de confinement secondaire — réacteurs construits par tranches de deux avec salle de machine commune où se trouvent 4 turbo-alternateurs de 500 MW.

Cette filière soviétique est à comparer à la filière BWR (Boiling Water Reactor) promue par la Compagnie Générale Electrique aux U.S.A. [1].

le nombre de masse est voisin de 90 et 140 [1]. Les plus volatils s'échappent sous forme de gaz :
ainsi $I_2$ (T.E. = 183 °C), Cs (T.E. = 670 °C) ;
les autres sous forme d'aérosols : Sr (T.E. = 1 366 °C).

$^{90}Sr$, $^{137}Cs$, $^{131}I$ sont parmi les plus abondants et les plus toxiques car leurs périodes sont comprises entre quelques jours et quelques années et ils sont facilement métabolisés. Inhalés ou bien ingérés, ils suivront la même voie que les éléments stables de la même famille puisqu'ils ont sensiblement les mêmes propriétés chimiques. Leur métabolisme est complexe et souvent mal connu ; le chimiste peut cependant en comprendre certains aspects.

**Le strontium 90.**

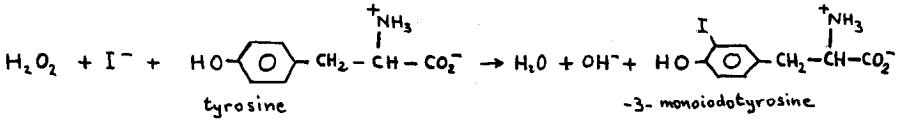
Ses propriétés sont voisines de celles du calcium. $Ca^{2+}$ est un ion extracellulaire présent principalement dans le tissu osseux sous forme d'hydroxyapatite : $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$.

**Le césium 137.**

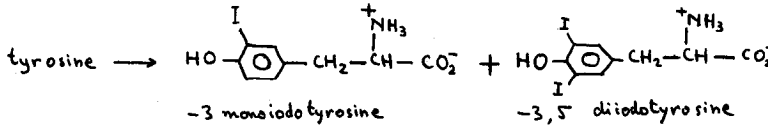
Ses propriétés sont voisines de celles du sodium et du potassium. $Na^+$ est un ion extracellulaire jouant un rôle important dans la régulation des équilibres acido-basiques. $K^+$ est un ion intracellulaire ayant un rôle physiologique très actif en particulier dans la contraction musculaire et dans le passage de l'influx nerveux.

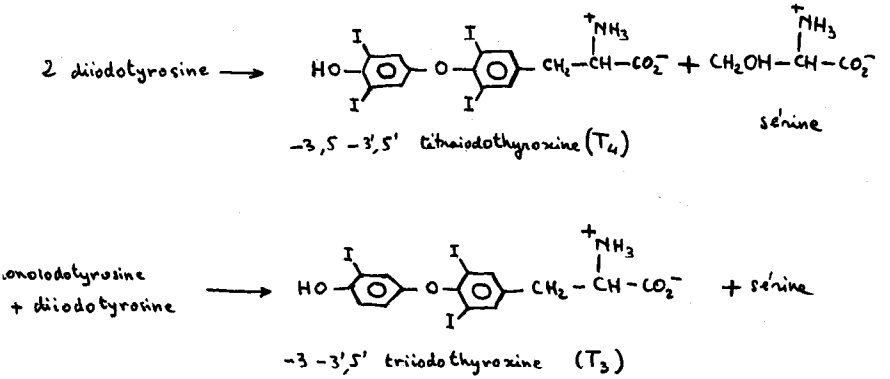
**L'iode 131.**

Il est assimilé sous forme d'iodure par la glande thyroïde et se fixe sur la tyrosine en présence de peroxyde d'hydrogène :




Cette réaction est catalysée par la thyroïde peroxydase. On voit que l'iode s'est substitué à l'hydrogène du cycle benzénique, c'est un exemple de substitution électrophile en milieu biologique [2]. On remarque l'effet ortho-orienteur du groupe hydroxyle, $I^+$ est un intermédiaire vraisemblable mais son mode de formation n'est pas connu. Les hormones thyroïdiennes sont ensuite synthétisées lors d'une suite de substitutions et de condensations :






Ces molécules restent plus ou moins liées à la protéine de la thyroïde, la thyroglobuline. $T_3$ et $T_4$ sont ensuite libérées dans le sang.

En absorbant de l'iodure de potassium, on sature la thyroïde, mais au-delà d'une certaine concentration critique (200 à 350 µg par litre de sérum) la thyroïde cesse de s'enrichir en iode [3]. D'autre part, il ne semble pas qu'il soit possible de déplacer efficacement l'iode 131 déjà substitué. L'absorption d'iode à titre préventif est donc préférable.

## III. EFFETS BIOLOGIQUES DES RADIATIONS IONISANTES.

Les trois éléments cités sont radioactifs $\beta^-$ ou ($\beta^-$, $\gamma$) (*cf.* tableau).

$$^{90}_{38}\mathrm{Sr} \xrightarrow[28\ \text{ans}]{\beta^-} {}^{90}_{39}\mathrm{Y} \xrightarrow[64{,}5\ \text{heures}]{\beta^-} {}^{90}_{40}\mathrm{Zr}$$

$$^{137}_{55}\mathrm{Cs} \xrightarrow[30\ \text{ans}]{\beta^-,\ \gamma} {}^{137}_{56}\mathrm{Ba}$$

$$^{131}_{53}\mathrm{I} \xrightarrow[8{,}04\ \text{jours}]{\beta^-,\ \gamma} {}^{131}_{54}\mathrm{Xe}.$$

Tout au long de leur parcours, ils bombardent d'électrons le milieu environnant, engendrant ions et radicaux. On peut distinguer deux types d'effets.

### Destruction.

Les coupures multiples aboutissent à la destruction des cellules, c'est ainsi que certains émetteurs sont utilisés en radio-

thérapie, en particulier l'iode 131 pour le traitement des cancers de la thyroïde [5]. Les cellules souches de la moelle osseuse, plus fragiles, sont détruites d'où la nécessité d'une greffe de la moelle.

**Mutation.**

Les ions carbonium sont des agents cancérigènes, l'A.D.N. étant leur cible principale [6] ; un brin atteint peut devenir inapte à la division ou bien provoquer des mutations irréversibles pouvant engendrer des cancers. Faute d'études statistiques poussées, on ignore encore l'effet de ce « brouillage » du code génétique sur la descendance. Ces mutations peuvent être engendrées par de faibles doses, inférieures à la dose maximale admissible (DMA) ([1] p. 213) ; dans ces conditions, peut-on vraiment parler de seuil de toxicité nucléaire ?

En prolongation à cette modeste mise au point, j'inviterai le lecteur à se reporter aux articles cités, il constatera que sa collection de « B.U.P. » contient bien des richesses.

## BIBLIOGRAPHIE

[1] C. RUHLA. — *L'énergie nucléaire.* B.U.P. n° 569 (nov. 1974).

[2] J.-C. CHOTTARD, J.-C. DEPEZAY, J.-P. LEROUX. — *Chimie fondamentale* t. III, Hermann (1982).

[3] DOCUMENTA GEIGY. — *Tables scientifiques,* remarquablement complètes, elles ne sont plus éditées mais votre médecin voudra peut-être bien vous céder la sienne...

[4] H. GIÉ et H. LE BAIL. — *Etude des désintégrations radioactives,* B.U.P. n° 627 (oct. 1980).

[5] J. PIERREZ. — *Utilisation des radio-isotopes en médecine nucléaire,* B.U.P. n° 615 (juin 1979).

[6] G. LÉVY, J.-F. LABARRE. — *La chimie de coordination et le problème du cancer,* B.U.P. n° 654 (mai 1983).