

Une nouvelle hypothèse sur l'origine de la catastrophe Tchernobyl

D. Filippov¹, G. Lochak, A. Rukhadze², L. Urutskoiev³

1.- Introduction.

L'explication d'un événement aussi complexe que la catastrophe de Tchernobyl reste toujours hypothétique car le phénomène n'est évidemment pas reproductible, du moins on l'espère, et ne se prête donc pas à une vérification scientifique d'ensemble. Le rapport officiel sur la catastrophe offre une explication, généralement admise ; mais après longues réflexions, il nous est apparu que la description proposée comporte des lacunes qu'il n'est possible de combler qu'à partir de nouvelles hypothèses physiques. Le présent article est le résumé, sans calculs, de travaux dus à trois d'entre nous (Filippov, Rukhadze et Urutskoiev), le quatrième (Lochak) est ici en tant qu'auteur de la théorie du *monopôle magnétique leptonique* sur lequel repose l'hypothèse qui sera suggérée pour expliquer la catastrophe⁴.

Le rapport officiel omet une série de faits importants:

- Tout d'abord, il n'y a pas eu *une* explosion mais *deux*, à peu d'intervalle, la première plus sourde, mais déjà puissante, entendue à des kilomètres, la suivante énorme, c'est celle qui s'est produite dans le réacteur, lieu de la catastrophe. Les témoins rapprochés disent qu'elle s'est produite quelques secondes plus tard ; des témoins éloignés disent : quelques dizaines de secondes. Ce temps n'a pas été enregistré. Selon le personnel en place près du réacteur, la première explosion s'est produite à l'extérieur « avec un fracas terrible », dans la salle des machines, une gigantesque salle où se trouvent les turbines et les générateurs de courant alternatif. Cette première explosion n'était pas de nature nucléaire, mais elle fut d'une violence extrême. A.S. Diatlov, Vice-Ingénieur en Chef de la centrale, a écrit un livre dans lequel il dit qu'« il faudrait la plume de Dante pour décrire l'état de la salle des machines ». Certains ont dit modestement que l'explosion avait « enfoncé des portes », mais en omettant de préciser qu'elles étaient blindées et d'une épaisseur de plusieurs centimètres. Or la cause de cet accident, qui a *précédé* la catastrophe et ne saurait lui être imputé, n'a pas reçu d'explication.

- Lors de cette explosion, dans la salle des machines, un autre fait étrange et violent s'est produit. Par endroits, la tuyauterie de conduite de vapeur, qui assure la circulation du liquide de refroidissement entre le réacteur et l'un des turbo-

¹ RECOM, Institut Kurchatov, Moscou.

² Institut de Physique Générale, Académie des Sciences de Russie, Moscou

³ RECOM, Institut Kurchatov, Moscou

⁴ « Fusion » (N° 93, Nov.-Déc. 2002) a publié des articles sur les expériences de transmutation à basse énergie du groupe d'Urutskoiev, dont il sera question plus loin, ainsi que sur le monopôle leptonique de Lochak.

alternateurs, passait au voisinage de câbles électriques fixés au mur. Ces câbles ont arraché leur fixation, brisé les protections qui les entouraient et se sont violemment précipités contre la conduite de vapeur. Quelle force les a attirés ? La question n'a pas été posée.

- La paroi latérale du réacteur a parfaitement résisté à l'explosion. L'intérieur a été exploré grâce à un périscope introduit par une ouverture forcée dans la paroi et on a découvert que cet intérieur était vide ! Ce qui signifie qu'une partie importante du combustible nucléaire avait disparu. Or ces dizaines de tonnes d'uranium ne pouvaient passer inaperçues, ni à l'intérieur ni à l'extérieur, et elles n'ont certainement pas été volées dans l'enfer de la catastrophe. Alors que sont-elles devenues ? Le fond du réacteur s'étant effondré, on a d'abord cru que le combustible était mêlé à une sorte de magma de terre, mais c'était faux : le compte n'y était pas et de loin.

- La face interne du réacteur a été trouvée étonnamment indemne. La peinture était restée intacte. Or on a pris soin de vérifier qu'elle ne résistait pas à une température supérieure à 300° C ; on a même retrouvé des marques au crayon tracées pendant la construction. Ces faits auraient dû attirer l'attention car ils soulèvent la question des interactions nucléaires qui ont agi pendant la catastrophe : si cela avait été des interactions fortes, qui agissent généralement entre les particules lourdes comme les protons et les neutrons, la température eût été beaucoup plus élevée et les dégâts plus grands. Notons qu'il y avait également très peu de traces de suie et seulement dans le secteur sud-est du réacteur, ce qui semble écarter l'hypothèse qu'un incendie se serait déclaré, comme on l'a avancé.

- Malgré cet apparent état normal, une force énorme, qui n'a pas ébranlé les parois du réacteur, a soulevé de dix mètres son « couvercle » en béton, de trois mètres d'épaisseur et pesant quelque deux mille tonnes, qui a basculé sur le côté.

- Dans les restes de combustible nucléaire récupérés, la composition isotopique a changé, dans le sens d'un *enrichissement* en uranium 235, et cela jusqu'à 27%, alors que, dans un réacteur normal de ce type, ce rapport ne dépasse pas 2% et comme les barres devaient être changées, elles n'avaient pas plus de 1,1% de U²³⁵. D'autres morceaux avaient un enrichissement moindre, mais suffisant pour écarter l'hypothèse d'une erreur ou d'un simple hasard. Outre l'intérêt scientifique de cet étrange phénomène, quand on sait la difficulté et le prix de l'enrichissement de l'uranium, il y a de quoi attirer l'attention : la catastrophe peut inspirer un procédé, même si, en elle-même, elle n'en est pas un !

- En revanche, des quantités considérables d'éléments chimiques étrangers ont apparu, en particulier beaucoup d'aluminium, métal qui n'entre pas dans la construction du réacteur. Des métaux ont apparu dans le graphite de ralentissement des neutrons, alors qu'il était particulièrement pur à l'origine.

- Ajoutons encore que, pendant plusieurs jours, après la catastrophe, une intense lueur a rayonné au dessus du réacteur ainsi découvert, émettant des

couleurs que tous les témoins ont qualifiées d' « étranges ». Il va sans dire que, vu les circonstances, on avait mieux à faire que des analyses spectrales ! Le phénomène est resté inexpliqué.

- Autre problème, celui des isotopes Cs^{137} , Cs^{133} du césium, produits de désintégration de l'uranium, donc avec des concentrations proportionnelles au nombre n de neutrons émis. Mais Cs^{133} a tendance à « avaler » un neutron, avec une probabilité $\sim n$, pour donner $Cs^{133} + n = Cs^{134}$. On a donc pour Cs^{134} une concentration $\sim n^2$ d'où un procédé chimique pour trouver le nombre de neutrons émis n en mesurant le rapport des deux concentrations $Cs^{134} / Cs^{137} \sim n$. Comme le réacteur était étroitement surveillé, on connaissait ce rapport avant la catastrophe, d'où se déduisait le degré d'épuisement du combustible : on a trouvé 10 (dans une unité internationale dont peu importe ici la définition, c'est le rapport qu'il compte). Or les deux isotopes ayant les mêmes propriétés chimiques et physiques, *ce rapport ne varie pas dans le transport*. Quand le nuage de Tchernobyl est arrivé à Munich, on a mesuré ce rapport : on a trouvé 12. Etant donné la fiabilité du procédé et la qualité des mesures des deux côtés, cette différence de 20% est inadmissible et ne saurait résulter d'une erreur. Elle a fait scandale mais comme on n'a pas compris, on s'est rassuré en appelant ce rapport le « rapport de Tchernobyl ».

Rappelons le mot de Roger Cotes dans la préface aux « Principia » : le fameux élève de Newton reprochait aux adversaires aristotéliens de celui-ci de « préférer donner un nom aux choses plutôt que de chercher à l'intérieur des choses elles-mêmes ».

- **Enfin, le principal fait à expliquer est le subit emballement du réacteur.** Nous n'entrerons pas ici dans les polémiques concernant d'éventuelles erreurs du personnel, du protocole de sécurité ou de la construction. Nous ne cherchons pas la faute, mais le déroulement des faits : nous ne cherchons pas le « pourquoi ? » mais le « comment ? ». **Nous voulons comprendre comment un réacteur à la limite d'épuisement de son combustible, dont la puissance lentement décroissante restait stationnaire depuis plus d'une demi-heure à 6% de sa puissance nominale, a pu passer en 10 secondes, à des dizaines de fois cette puissance nominale. C'est un problème purement scientifique.**

2.- Bref rappel du fonctionnement d'un réacteur nucléaire.

Tout le monde sait que c'est l'uranium 235 (U^{235}) qui est l'isotope actif. Sous l'effet d'un *neutron lent*, son noyau se désintègre en plusieurs fragments lourds en émettant d'autres neutrons. C'est l'énergie cinétique des fragments de la désintégration qui fournit *l'énergie nucléaire*. Quant aux neutrons émis, ils sont en surnombre (2 ou 3). Mais comme il s'en perd, on doit « enrichir » l'uranium naturel pour qu'ils restent en nombre suffisant ; après quoi, si on ralentit suffisamment cette nouvelle génération de neutrons, ils pourront, à leur tour, provoquer des désintégrations. C'est la *désintégration en chaîne*.

Au début, en raison du surnombre de neutrons produits, cette chaîne est *divergente* pour la mise en marche du réacteur. Mais on doit la modérer faute de quoi le réacteur exploserait. Pour cela, on fait descendre un certain nombre de barres absorbantes de neutrons.

S'il n'y avait que les neutrons *instantanés*, dont nous venons de parler, qui sont directement produits par la désintégration de l'uranium, leur temps de vie étant très bref, de l'ordre du *millième de seconde*, le réacteur serait pratiquement incontrôlable. Mais il y a une circonstance heureuse, c'est que les fragments issus de la désintégration sont eux-mêmes des noyaux d'éléments lourds radioactifs qui se désintègrent en émettant des neutrons, dits *retardés*, qui viennent s'ajouter aux premiers. Les neutrons retardés sont peu nombreux, leur proportion β varie de 0,2 à 0,7% (à Tchernobyl : $\beta=0,45\%$) mais le temps de vie des noyaux qui émettent ces neutrons est beaucoup plus long que le temps de vie des neutrons instantanés : de l'ordre de *10 secondes*. C'est ce qui « met du mou » dans le réacteur et le rend gouvernable.

Maintenant, il faut utiliser le réacteur. Pour cela, on fait circuler, dans des tuyauteries, un liquide de refroidissement qui, dans le cas de Tchernobyl, est de l'eau sous pression à 70 atmosphères. Ce liquide circule à l'aide de puissantes pompes. Chauffé dans le réacteur, il délivre de la vapeur sous forte pression aux turbo-alternateurs de la salle des machines, qui fourniront l'électricité.

Ce liquide joue encore un autre rôle. Nous avons vu qu'il faut ralentir les neutrons émis par la désintégration de l'uranium ou par les fragments de cette dernière, sinon ils seraient trop rapides, ils ne pourraient pas désintégrer d'autres noyaux d'uranium et le réacteur s'arrêterait. Le principal ralentisseur de neutrons est le graphite. Mais l'eau de refroidissement participe à cet effet.

Maintenant, pour comprendre comment se maintient un régime d'équilibre dans le réacteur, afin qu'il ne s'éteigne ni ne s'emballe, il nous faut d'abord introduire la notion de *réactivité excédentaire*, qu'on désigne par ρ (nous l'appellerons simplement « réactivité ») : c'est *l'accroissement du nombre de neutrons libres* dans le réacteur quand on passe d'une « génération » de neutrons, produits par la désintégration de l'uranium et de ses produits de désintégration, à la « génération » suivante de neutrons produits de la même manière. Autrement dit, quand on passe d'un chaînon à un autre de la chaîne de désintégration de l'uranium.

Bien entendu, la réactivité est une grandeur algébrique :

$\rho > 0$: la puissance augmente ;

$\rho < 0$: la puissance baisse ;

$\rho = 0$: régime d'équilibre, un neutron produit en moyenne un neutron.

L'évolution de l'état du réacteur nucléaire dépend de nombreux paramètres qu'on peut ramener à *trois* en première approximation : la réactivité ρ , qui

dépend de la proportion β des neutrons retardés et de la proportion γ de vapeur dans le liquide de refroidissement. La réactivité se mesure en unités β .

La puissance du réacteur évolue comme la densité de neutrons, selon la loi inverse de la chute d'une bille dans un liquide visqueux. Quand la bille descend, la puissance du réacteur augmente:

- La hauteur de la bille correspond à la densité de neutrons dans le réacteur.
- La pesanteur est proportionnelle à la réactivité ρ . Si celle-ci est négative ($\rho < 0$), la bille ne tombe pas, elle remonte, le réacteur baisse en puissance et s'éteint. Si la pesanteur s'annule ($\rho = 0$), la bille est en équilibre et le réacteur aussi. Mais si elle est positive ($\rho > 0$), la bille tombe : alors le réacteur diverge, et d'autant plus que sa réactivité est plus grande. Il faut réagir !
- C'est ici qu'intervient la viscosité, qui freine le mouvement de la bille et donc l'évolution de la puissance du réacteur. Ce freinage, dans le réacteur, est proportionnel à la différence ($\beta - \rho$) et à la vitesse d'évolution du nombre de neutrons (vitesse de chute de la bille). Le problème est évidemment celui d'une réactivité positive ($\rho > 0$), qui fait diverger le réacteur ; si l'on avait en outre $\rho > \beta$, on aurait $\beta - \rho < 0$, le freinage serait négatif, il aggraverait la montée en puissance et on irait à la catastrophe. Mais si $\beta > \rho > 0$, donc $\beta - \rho > 0$, le freinage est effectif et comme il est proportionnel à l'accroissement de puissance (vitesse de chute de la bille), ce freinage stabilisera le réacteur.
- Le contrôle du réacteur consistera à régler la réactivité ρ de façon à respecter l'inégalité $\beta > \rho > 0$. On voit que tout repose sur la présence de β , donc sur les neutrons retardés qui offrent une plage de stabilité au réacteur, alors que son contrôle sur les seuls neutrons instantanés eût été incertain, voire impossible.

3.- L'accident et la thèse officielle.

Il ne faut pas oublier que, jusqu'à l'instant même de la catastrophe, tous les appareils de mesure fonctionnaient et envoyaient leurs résultats à un centre de contrôle suffisamment éloigné du réacteur pour les avoir conservés. En outre, des dizaines de témoins, ingénieurs et techniciens, ont donné des descriptions précises de ce qui s'est passé. En résumé, *jusqu'à l'instant fatal, tout semblait conforme au déroulement des essais prévus, la puissance du réacteur baissait lentement : elle en était, nous l'avons dit, à 6% de la puissance nominale quand le réacteur a divergé subitement, à la stupeur du personnel qui a aussitôt réagi en donnant l'ordre d'arrêter le réacteur. Les barres absorbantes de neutrons ont commencé à descendre. Elles ne sont jamais arrivées en bas. Le réacteur a explosé.*

La thèse officielle interprète l'accident par une instabilité due aux deux causes suivantes :

A) La descente des barres a créé une inhomogénéité de la densité de neutrons, qui a produit une inhomogénéité de la puissance émise à l'intérieur du réacteur.

B) Le coefficient vapeur était positif et élevé, la valeur maximale d'après la courbe Fig.1a étant de $\alpha_\varphi \approx 3,6\%$.

Le coefficient vapeur α_φ est le rapport du changement de réactivité au changement de densité de vapeur (désignée par γ) dans le liquide de refroidissement, lequel agit sur la réactivité puisque l'eau, en freinant les neutrons, influe sur le nombre de désintégrations.

Faisons une première remarque : la descente des barres absorbantes était la réponse à une soudaine divergence du réacteur. Quoi qu'il ait pu arriver par la suite et quelle qu'en fût la cause, les deux points ci-dessus n'expliquent pas pourquoi le réacteur a subitement divergé.

Mais prenons cela comme un fait et suivons la thèse officielle : une augmentation locale de la puissance, dit-elle, a provoqué une surchauffe du liquide, d'où une baisse de la densité γ qui, à son tour, a provoqué une montée de la réactivité ρ , donc de la densité de neutrons, et finalement de la puissance émise, ce qui a créé une instabilité du réacteur. Cette affirmation est illustrée par la courbe (Fig. 1a) qui correspond à la version officielle. D'après cette courbe, $\gamma \rightarrow 0$ entraîne $\rho \rightarrow 5\beta$ d'où l'imminence de la catastrophe puisque $\rho > \beta$ signifie que le réacteur diverge sur les *neutrons instantanés*.

Mais ce n'est pas si simple, pour plusieurs raisons :

- 2) En réalité cette prévision est très contestable car la courbe 1a, si on la prend au mot, a pour conséquence inadmissible que, *si on vide le liquide de refroidissement* ($\gamma \rightarrow 0$), le réacteur s'emballe ($\rho \rightarrow 5\beta$). Or c'est faux. D'abord parce que la quantité de graphite est calculée pour n'aller, en aucun cas, jusqu'à la divergence sur les neutrons instantanés, ce qu'on obtient notamment grâce au fait que le graphite n'est pas le seul ralentisseur de neutrons. Une partie du ralentissement est due à l'eau : si elle disparaît, les neutrons deviennent trop rapides pour désintégrer l'uranium 235, à quoi s'ajoute l'échauffement de l'uranium et du graphite qui augmente l'agitation moléculaire, nouvel obstacle au ralentissement des neutrons : cet effet est si net qu'il rend difficiles les expériences d'accroissement de la réactivité au delà de β .
- 3) Ce que nous disons n'a pas seulement été calculé mais *vérifié expérimentalement avant la construction*. Ce sont ces résultats que résume la courbe (Fig. 1b), qui correspond au projet du réacteur et s'oppose à la courbe 1a qui prévoit que $\rho \rightarrow 5\beta$ si $\gamma \rightarrow 0$, alors que 1b prévoit que $\rho \rightarrow 0$ et même $\rho < 0$, donc pas de divergence. En fait, ce dernier point a été

vérifié en grandeur réelle. En effet, l'accident d'une rupture de pression d'eau dans un réacteur est déjà survenue, malgré les précautions prises pour assurer la continuité du fonctionnement, en protégeant les pompes contre toute panne d'alimentation grâce à plusieurs substituts possibles, dont une alimentation venue de réacteurs voisins, ce qui était le cas à Tchernobyl le jour de la catastrophe. Or un tel incident n'a jamais provoqué de catastrophe. De toute manière, le réacteur de Tchernobyl contenait 30m^3 d'eau avec des pompes qui, alimentées de l'extérieur dans le cadre des essais en cours, assuraient au moins 50 % du débit de circulation, si bien qu'il était impossible d'évaporer cette eau dans le bref temps de divergence que nous verrons plus loin (une évaporation qui aurait, d'après la courbe officielle, pu provoquer la catastrophe).

- 4) On se trouve donc devant deux courbes radicalement différentes de la variation de réactivité. La courbe 1b, celle des constructeurs, a été *testée expérimentalement* avant la construction et il faudrait donc expliquer pourquoi elle a été subitement contredite lors de la catastrophe, faute de quoi l'explication donnée n'en est pas une. La courbe 1a, celle du rapport officiel, prévoit la catastrophe mais elle résulte d'une simulation numérique, après coup, de l'accident. Loin de nous l'idée de mésestimer la colossale importance de la catastrophe de Tchernobyl, mais scientifiquement parlant, c'est un événement unique, moins probant que l'expérimentation systématique. Donc, jusqu'à preuve du contraire, la courbe la plus crédible est 1b, celle des constructeurs, à moins qu'une circonstance imprévue ne l'aie rendue obsolète, mais alors il faut trouver pourquoi.
- 5) Nous allons voir maintenant, qu'en partant de la courbe officielle 1a, on ne rend pas compte du caractère foudroyant de la catastrophe.

4.- Le problème de la soudaineté de montée en puissance.

Des auteurs ont montré que la divergence du réacteur s'est produite sur les *neutrons retardés*. Le principal argument est que, d'après les enregistrements des appareils de mesure, la montée en puissance, pendant les premières 6sec, s'est produite à réactivité constante $\rho \approx 0,5\beta$. Dès le premier instant, le réacteur s'emballait à un rythme exponentiel, qui multipliait sa puissance par 2,7 en 3sec. A $t \approx 6\text{sec}$ la puissance a cessé d'être directement mesurable. A 10 sec on a enregistré un signal de brusque augmentation de la pression des gaz dans le graphite et c'est ce temps de 10 sec qu'on estime être celui de la divergence du réacteur. Cependant, si rapide qu'elle fût, si cette divergence s'était produite sur les neutrons instantanés et non sur les neutrons retardés, elle eût été 100 fois plus rapide et les appareils n'auraient même rien enregistré. D'où la conclusion sur les neutrons retardés.

Nous avons effectué un calcul cinétique basé sur les lois connues des réacteurs nucléaires, que nous ne reproduisons pas ici mais qui est publié par ailleurs. Nous sommes partis des données du rapport officiel en utilisant la loi de la Fig.1a et la valeur donnée plus haut : $\alpha_\varphi \approx 3,6\%$ du coefficient vapeur. Le résultat donne une divergence beaucoup plus lente que celle que nous venons de donner et qui a été observée : la puissance n'aurait pu croître que de 1,5 fois en 10 sec et le passage de 200 KW à 530 KW aurait pris 20 sec, alors qu'en réalité il s'est écoulé 3 sec entre ces deux chiffres. La Fig.1a ne rend pas compte de la rapidité de la catastrophe.

Voyons maintenant l'argument A) de *l'inhomogénéité de la densité de neutrons* créée par la descente des barres absorbantes. Ce problème a été étudié dès le début de l'industrie nucléaire par Fermi, qui a montré que les harmoniques spatiaux supérieurs, qui sont les plus inhomogènes, sont étouffés tant que la réactivité est assez faible et qu'ensuite ils croissent moins vite que l'harmonique principal. Nous avons complété cette étude en montrant qu'il apparaît un terme diffusif dans les équations cinétiques, qui égalise les irrégularités de distribution de neutrons.

Ajoutons que si, en cas de croissance de la réactivité, la descente des barres absorbantes provoquait des catastrophes, il faudrait réviser la construction de tous les réacteurs !

En conclusion, il est difficile de se laisser convaincre par l'explication actuelle de la catastrophe de Tchernobyl : elle ne rend pas compte d'un aspect essentiel qui est l'extrême soudaineté de l'accident et elle laisse de côté de nombreux faits d'observation sur lesquels il n'est pas possible de faire l'impasse.

Cependant, telle que cette explication est énoncée et que nous avons essayé de la comprendre, elle est certes criticable et nous ne nous sommes pas privés de le faire, mais elle ne nous paraît pas contenir quelque vice fondamental dont l'élimination conduirait à un résultat satisfaisant. Nous croyons, au contraire, qu'il n'est pas possible de l'améliorer fondamentalement dans le cadre des idées généralement admises.

C'est pourquoi, après mûre réflexion au sujet des « étrangetés » observées pendant et après l'accident, et à la suite des travaux expérimentaux effectués dans plusieurs laboratoires (le RECOM, de l'Institut Kurchatov, Moscou ; l'Institut de Physique Générale de Académie des Sciences de Russie, Moscou ; l'Institut Unifié de Recherches Nucléaires de Dubna), nous sommes arrivés à la conclusion qu'il faut une hypothèse physique nouvelle, voire plusieurs, pour rendre compte de ces phénomènes. Et nous en sommes arrivés à penser qu'une hypothèse possible pourrait être l'intervention du monopôle magnétique

leptonique de G. Lochak (Fondation Louis de Broglie, Paris). C'est ce que nous allons proposer maintenant.

5.- Les bases d'une nouvelle hypothèse, les particularités de la catastrophe, des expériences récentes, une théorie ancienne.

Notre hypothèse principale est que la catastrophe n'a pas pris naissance dans le réacteur mais dans la salle des machines et que l'explosion qui s'y est produite avait une origine électrique.

Nos bases de raisonnement seront les suivantes :

I. Certains aspects de la catastrophe (déjà cités) omis dans la thèse officielle :

- a) L'explosion dans la salle des machines précédant celle du réacteur.
- b) Les câbles électriques attirés par le circuit de vapeur.
- c) Peu de dégâts et faible chaleur à l'intérieur du réacteur.
- d) Disparition d'une partie importante du combustible nucléaire.
- e) Enrichissement en U^{235} de nombreux échantillons du combustible restant.
- f) Apparition d'éléments chimiques étrangers dans les débris.
- g) Intense lueur au dessus du réacteur.
- h) Anomalie du rapport $Cs^{134} / Cs^{137} \sim n$ des isotopes du césium.

II. Des expériences récentes :

Après avoir passé plusieurs années à Tchernobyl, Urutskoiev et ses collaborateurs ont entrepris, à l'Institut Kurchatov, une longue série d'expériences en vue de « miniaturiser » le départ de la catastrophe. « Fusion » ayant publié un article à ce sujet⁵, nous n'en rappellerons que les grandes lignes en indiquant leur rapport avec les questions ci-dessus.

Les expériences portent sur les effets d'une *décharge électrique* de quelques kilovolts à travers une *bandelette métallique* enfermée dans une *éprouvette en polyéthylène remplie d'eau* dans laquelle on peut dissoudre des sels minéraux. La bandelette est le plus souvent en titane mais peut être d'un autre métal.

Voici quelques faits essentiels qui ont été répétés de nombreuses fois (avec des variantes) et vérifiés par d'autres laboratoires ; nous indiquerons les points du paragraphe précédent (numérotation « lettres ») auxquels ces faits peuvent se rattacher :

1.- La décharge électrique produit une explosion violente au point que l'on doit prendre d'importantes précautions (a).

2.- Bien que l'éprouvette soit fermée, il se forme au dessus une sorte de foudre en boule (g) durable, lumineuse, avec des couleurs étranges et une

décomposition spectrale complexe qui révèle de nombreux éléments chimiques, étrangers à la composition initiale (f) de la bandelette métallique et de l'environnement (la pureté était scrupuleusement vérifiée au départ).

3.- Ces mêmes éléments chimiques se retrouvent dans les débris de la bandelette métallique (f) et ont été chaque fois contrôlés par spectroscopie de masse et par spectroscopie optique dans plusieurs laboratoires en double aveugle, avec un accord qualitatif et quantitatif constant, dans les limites de la précision des mesures. Notons qu'on a retrouvé entre autres les éléments étrangers qui avaient été observés à Tchernobyl (f).

4.- Les éléments chimiques obtenus n'ont en général pas la même composition isotopique que les éléments naturels. En particulier, la composition isotopique du titane, dans les débris de la bandelette métallique, est modifiée par rapport à la composition initiale : la composante principale est écrasée au profit de ses satellites. Si on dissout dans l'eau un sel de vanadium, on obtient notamment de l'hélium, un isotope rare de l'argon A^{36} et, dans une proportion 2,5 fois plus grande que dans la nature, un isotope rare du fer : Fe^{57} (qui semble même ne pouvoir apparaître qu'en présence du vanadium) ; enfin, il apparaît de l'hydrogène qui est, au moins en partie, d'origine non électrolytique parce que sa quantité ne dépend pas de l'intensité du courant : ces derniers résultats ont été prévus par simulation numérique et vérifiés par l'expérience mais ils n'ont pas encore reçu d'explication théorique.

6.- Les recherches de rayonnements radioactifs se sont révélées négatives. Soulignons que les transmutations observées sont à basse énergie : moins de 10 kilovolts.

7.- Si on dissout un sel d'uranium dans l'eau de l'éprouvette, la composition isotopique de l'uranium est modifiée dans le sens d'un enrichissement en U^{235} , dans des proportions comparables à celles observées à Tchernobyl (e).

8.- Dans un rayon de 2m (à l'horizontale) de l'explosion, des émulsions nucléaires enregistrent des traces étranges qui ne correspondent à aucune particule connue, elles sont d'une largeur anormale et rappellent des traces de chenille (animale ou mécanique). Bizarrement, elles ne sont pas orientées dans la direction du rayon provenant du centre mais orthogonalement. Ce point est encore à l'étude.

9.- Si on récupère des débris de la bandelette métallique et qu'on les stocke loin du lieu de l'explosion d'où ils sont issus, ils produisent les mêmes traces que les précédentes sur une émulsion mais ce pouvoir a une durée de vie limitée et disparaît peu à peu.

10.- Si la source (l'éprouvette siège de la décharge électrique) est plongée dans un faible champ magnétique, de 20 Oersteds, vertical, donc orthogonal au rayon allant à l'émulsion les traces changent complètement, elles s'élargissent fortement, en forme de comètes. Premier signe sur la *nature magnétique du rayonnement* (b).

11.- On place, toujours à une distance horizontale de 2m, un échantillon de Fe^{57} qu'on irradie pendant la durée de l'explosion. On place un pôle d'aimant derrière l'échantillon, dont on observe ensuite le spectre Mössbauer (un moyen d'observer de très petits déplacements de raies) : le spectre se déplace comme sous l'effet d'un champ magnétique. Si on recommence l'expérience en mettant l'autre pôle de l'aimant derrière l'échantillon, on trouve le même déplacement, mais dans le sens contraire du précédent. Nouvelle et importante indication sur la *nature magnétique du rayonnement* émis lors de la décharge (b) et qui prouve en outre que le rayonnement contient un mélange des deux pôles magnétiques qui ont été successivement sélectionnés en changeant le pôle d'aimant.

12.- Un ensemble de considérations de physique nucléaire, dans le détail desquelles nous n'entrerons pas ici, a conduit les physiciens russes qui travaillent sur ces problèmes à avancer l'hypothèse que ces phénomènes sont dus à des *interactions faibles*⁵. Parmi les arguments, on peut citer : la *faible énergie* mise en jeu dans les phénomènes observés, la distorsion des périodes de radioactivité β^6 des isomères du thorium Th^{234m} , sous-produits de l'uranium U^{238} . Cela reste pour l'instant une hypothèse mais nous verrons qu'elle prend corps avec la théorie du monopôle magnétique.

Concluons sur ce paragraphe. Les faits cités ici n'étaient pas tous connus quand Urutskoiev et ses collaborateurs ont écrit l'article reproduit dans « Fusion » mais les nouveaux résultats (dont certains qui ne sont pas décrits ici) confirment les anciens et renforcent l'analogie avec les faits observés à Tchernobyl. Les auteurs ont pensé dès cette époque que, ce qu'ils appellaient « le rayonnement étrange », qui flottait au dessus du réacteur puis au dessus de leurs décharges électriques, transportait des *monopôles magnétiques*, notamment en raison des points (b), (10) et (11) des deux paragraphes précédents.

III. Une théorie ancienne : le monopôle magnétique.

L'hypothèse de l'existence de charges magnétiques libres - de pôles magnétiques nord ou sud isolés - a été explicitement énoncée par Pierre Curie en 1894 sur la base de ses fameuses lois de symétrie : c'est lui qui a compris le premier que, contrairement à la charge électrique, la charge magnétique doit être chirale, ce qui veut dire que les deux charges magnétiques nord et sud sont l'image l'une de l'autre dans un miroir. Faute d'avoir été observés, l'intérêt pour les monopôles s'est éteint jusqu'en 1931, quand Dirac a fait un raisonnement d'invariance de jauge en mécanique quantique, suggérant que la charge

⁵ Rappelons que les physiciens distinguent actuellement quatre interactions fondamentales : l'interaction gravifique, l'interaction électromagnétique, l'interaction forte (qui réunit par exemple les protons et les neutrons dans le noyau) et l'interaction faible dont une manifestation est la radioactivité β , celle, par exemple, qui fait passer d'un neutron à un proton avec émission d'un électron et d'un antineutrino (le neutrino et l'antineutrino sont des particules sans masse et sans charge, difficiles à voir mais abondantes dans l'univers).

⁶ Attention de ne pas confondre le β de la radioactivité avec le β du rapport de neutrons retardés!

magnétique g du monopôle devrait être un *multiple entier d'une charge magnétique élémentaire* g_0 égale à $\frac{137}{2} = 68,5$ fois la charge e de l'électron (137 est l'inverse de la *constante de structure fine*, définie en mécanique quantique). On aurait donc $g = \frac{n}{2}137e$. On voit que, d'après ce raisonnement, la charge magnétique est beaucoup plus grande que la charge électrique fondamentale, ce qui reste à prouver expérimentalement.

Mais même après Dirac, on n'a toujours rien observé et l'intérêt est retombé jusqu'en 1974, quand t'Hooft et Poliakov ont prévu, dans le cadre de la « Théorie de la Grande Unification », l'existence d'un monopôle lourd qui aurait une masse de 10^{16} protons, donc de l'ordre d'un mm^3 d'hydrogène gazeux, ce qui est phénoménal pour une particule élémentaire : on la rattache, pour cela, au Big-Bang... Les monopôles en question sont donc supposés « fossiles » et n'ont aucune chance d'être produits dans les expériences dont nous parlons, avec des décharges de quelques kilovolts.

Les perspectives ont changé lorsque les physiciens russes ont pris connaissance de la théorie du monopôle leptonique de Lochak, déjà décrite dans un précédent numéro (cité dans la note ⁷), et que nous allons résumer.

La théorie repose sur la fameuse équation de l'électron de Dirac (qui n'avait aucun rapport avec le raisonnement qu'on vient de citer sur le monopôle). Dirac avait introduit dans son équation une loi d'interaction entre un champ électromagnétique et une *charge électrique* : celle qui correspond à l'électron. Lochak a montré que cette loi n'est que l'un des versants de la théorie, qui comporte un autre versant : une seconde loi d'interaction du champ électromagnétique mais, cette fois, avec une *charge magnétique*. Cette loi donne une nouvelle équation, d'apparence très proche mais dans le fond très différente de l'équation de Dirac. C'est *l'équation d'un monopôle magnétique*.

- Contrairement à l'électron et surtout contrairement au monopôle lourd précédent – ce monopôle a une *masse nulle*. On peut lui trouver une masse, dans une généralisation de la théorie, mais elle sera sans doute petite. On comprend donc qu'on puisse créer de tels monopôles avec de faibles énergies, comme celles des expériences d'Urutskoiev.
- Le lien avec l'électron suggère qu'on peut créer des monopôles, par une sorte de « basculement », encore inexpliqué, entre l'électricité et le magnétisme, lors d'une décharge.
- Les lois de symétrie prévues par Curie se déduisent aussitôt de l'équation, mais sous forme quantique : dans le langage des opérateurs.
- Une opération mathématique connue (la représentation de Weyl) scinde l'équation en deux *équations chirales* : une équation « gauche » et une équation « droite » représentant respectivement un monopôle nord et son anti-monopôle sud.

- La théorie retrouve la charge magnétique de Dirac, en la précisant, à partir d'un autre raisonnement (comme conséquence de l'isotropie de l'espace).
- Le plus important est que ce **monopôle est un lepton qui peut donc intervenir dans les interactions faibles**, ce qui était annoncé dès le premier mémoire. Plus précisément, si $n = 2p$ dans la formule donnée plus haut, donc pour la charge $g = p \times 137e$ ($p = \text{entier}$), on a un **monopôle « pair »** et les équations montrent que **c'est un neutrino magnétiquement excité : le neutrino apparaît donc ici comme un monopôle pair de charge nulle**.
- Enfin, la théorie montre que, de même que, dans la théorie de Dirac il y avait place pour un monopôle magnétique, il y a place, dans la théorie de la lumière de de Broglie (qui considère le photon comme l'ensemble de deux particules de Dirac), pour un **second photon : un photon magnétique**, celui au travers duquel le monopôle « voit » la lumière. Ce photon obéit à des équations de Maxwell qui sont « conjuguées » des équations habituelles et qui obéissent à d'autres lois de symétrie. Elles ont les mêmes champs mais pas les mêmes potentiels, qui jouent dans la théorie un rôle physique déterminant.

6.- Les nouvelles hypothèses sur la catastrophe de Tchernobyl.

- **Notre première hypothèse est que la catastrophe n'a pas pris naissance dans le réacteur mais dans la salle des machines.** Il paraît certain que la première explosion s'est produite là, tous les témoins en attestent. Nous pensons que l'ordre d'arrêt du réacteur n'est pour rien dans la catastrophe et qu'il n'était qu'une parade normale, vu les circonstances, et non la cause de l'emballement du réacteur. La cause est ailleurs.

- **Notre seconde hypothèse est que des monopôles leptoniques se produisent lors de certaines décharges électriques**, telles les expériences du groupe d'Urutskoiev et l'explosion de la salle des machines de Tchernobyl. Nous supposons qu'ils sont responsables d'effets magnétiques et de transmutations.

- **Une cause possible de la première explosion pourrait être un court circuit, lors du débranchement d'un turbo-alternateur. Les monopôles auraient alors été entraînés vers le réacteur, ce qui serait, d'après nous, la véritable cause de la catastrophe.**

Un chemin possible pour les monopôles serait le circuit de vapeur, ce qui expliquerait que la tuyauterie ait pu attirer les cables électriques avoisinants.

- **Dans le réacteur, les monopôles doivent intervenir en tant que leptons**, dans des phénomènes nucléaires, en agissant sur les interactions faibles. Cette hypothèse est la seule que nous possédions pour rendre compte des transmutations nucléaires à basse énergie observées dans les expériences d'Urutskoiev, transmutations qui sont de même nature que celles de Tchernobyl et qui leur sont parfois identiques.

Ajoutons une remarque : quand on trouve, sur les lieux de la catastrophe, des tonnes d'aluminium (métal inexistant au départ), des quantités d'autres éléments chimiques (initialement absents), un enrichissement de l'uranium allant jusqu'à 27% de U^{235} contre les 2% habituels, le tout produit à des températures étonnamment faibles ; et quand on réunit, par ailleurs, des indices sur la présence de particules encore inconnues, mais prévues par une théorie mathématiquement structurée et construite sur des bases solides, qui prévoit à la fois leurs propriétés magnétiques et leur rôle dans les interactions faibles, quand on est en présence d'une telle rencontre, on se sent en droit de faire quelques rapprochements.

Nous sommes conscients du caractère exotique de nos hypothèses et nous savons que nous pouvons nous tromper. Nous nous attendons à rencontrer du scepticisme et des critiques mais une science sans hypothèse et sans risque d'erreur est une science de bureaucrates. Nous assumons.

Qu'a-t-il pu se passer dans le réacteur qui mène à la catastrophe ?

Signalons d'abord qu'il existe d'autres mécanismes de désintégration de l'uranium que ceux dont nous avons parlé. Par exemple, sous l'effet de muons lents, ce qui ne paraît pas pouvoir être le cas ici. Ensuite, on a montré théoriquement une possibilité de *désintégration induite* du noyau d'uranium U^{238} , simplement au passage d'un monopôle magnétique, grâce au champ créé par son mouvement, par une sorte de déchirement du noyau ; il ne faut pas l'oublier mais nous ne nous y arrêterons pas. Notre idée est différente :

Il existe, dans un réacteur, un nombre gigantesque de noyaux (bien plus grand que le nombre de neutrons libres), produits par diverses désintégrations, appartenant à près de cinquante espèces d'isotopes différents et susceptibles de se désintégrer en émettant à leur tour des neutrons retardés. Ce sont des noyaux « potentiellement émetteurs ». Mais ils ont deux canaux de désintégration : 1) par radioactivité β ; 2) par émission d'un neutron. Et la probabilité du canal neutronique excède rarement 20%.

Dans les équations cinétiques du réacteur, on ne tient compte que des noyaux issus de la génération précédente, ayant émis au moins un neutron. Ceux qui ont subi une désintégration β sont comptés comme perdus pour la désintégration en chaîne et ne figurent pas. En fait, les neutrons ayant conduit à l'émission de fragments qui subissent une désintégration β peuvent être, eux aussi, associés aux pertes, comme participant à la diminution de la réactivité ρ . Une partie des désintégrations d'« émetteurs potentiels » fournissant d'autres « émetteurs potentiels », n'est pas comptée non plus.

Donc un réacteur possède une réserve de neutrons retardés qui reste potentielle, car la désintégration β , étant la plus probable, occulte l'émission en principe possible des neutrons.

Or, dans toutes les expériences du groupe d'Urutskoiev, où l'on pense avoir identifié une action des monopôles magnétiques sur la radioactivité β , c'était toujours dans le sens d'une diminution de la probabilité. Donc, si les monopôles abaissent la radioactivité β des noyaux « potentiellement émetteurs », ceux-ci pourront jouer un rôle dans l'émission des neutrons retardés et ils devront, de ce fait, figurer dans de nouveaux termes des équations cinétiques.

Résumé de nos hypothèses sur les causes de la catastrophe :

- **Une décharge électrique crée un flux de monopôles emportés vers le réacteur.**
- **Ces monopôles abaissent la radioactivité β , favorisant ainsi de nouvelles sources de neutrons retardés qui augmentent la réactivité du réacteur et pousse à son emballement.**
- **En outre, sous l'effet des monopôles, le combustible nucléaire s'enrichit par transmutation en U^{235} , augmentant encore la puissance du réacteur (on se souvient des débris de combustible enrichi, après la catastrophe).**
- **De plus, ces phénomènes produisent de l'hydrogène, autre cause de surpression.**

Si étrange que puisse paraître notre explication de la catastrophe, nous pensons qu'elle vaut d'être examinée. Le problème est important et nous pensons que les physiciens qui s'y sont engagés ont une compétence suffisante pour mériter l'attention. Il est urgent de refaire nos expériences et d'en faire d'autres, de réexaminer la théorie et de la développer, d'autant plus que, si nous avons raison, il y a d'autres enjeux :

Moscou-Paris, septembre 2003