

Paramètres d'explosion d'un système nucléaire naturel à source de neutrons centrale.

Etude et Application

Introduction: Il a été démontré (Décembre 1987) qu'un système chimique d'uranium naturel sera critique pour un volume déterminé, fonction de la composition du système. La source de neutrons rapides, d'énergie moyenne 5 MeV, provoque la fission des noyaux d'uranium dans un rayon d'action correspondant à la perte d'énergie des neutrons de la source.

Pour un volume donné, déterminé par calcul, et pour une composition chimique donnée, il serait possible de calculer les paramètres d'explosion du système: coefficient de croissance des neutrons (α), temps d'explosion du système.

L'objectif de cet article est de démontrer, qu'à priori, un système nucléaire naturel donné pourrait dégénérer vers l'explosion, et que moyennant quelques modifications, ce système pourrait être utilisé à des fins subversives, puisque sa puissance serait de plusieurs kilotonnes, et que sa mise à feu serait d'une simplicité extrême.

D'un point de vue scientifique, les résultats de ces calculs permettraient de comprendre le mécanisme des explosions nucléaires naturelles qui seraient, en toute évidence, à l'origine des tremblements de terre.

I. Réactivité nucléaire et composition chimique.

L'usage du tétrafluorure d'uranium est recommandée:

- UF_4 possède un point de fusion de $1384^\circ C$, aussi serait il logique de penser que l'énergie nucléaire initiale dégagée, sera absorbée par le processus de fusion du mélange chimique.
- Le tétrafluorure d'uranium est de fabrication aisée.



- Le mélange fluoré serait le seul qui permettrait une augmentation importante de la puissance explosive du système, dans l'éventualité où ce milieu serait le siège de production d'éléments super-lourds (synthèse de type naturelle) qui se désintégreraient par la suite en neutrons énergétiques.

1) Système chimique homogène à source de neutrons centrale

a) Cas de UF_4

Les paramètres sont: $M = 314.06 \text{ gr}$ $d = 6.7$

On déduit: $N(U) = 1.284 \cdot 10^{22} \text{ noyaux/cm}^3$

$$N(F) = 5.137 \cdot 10^{22} \text{ noyaux/cm}^3$$

Sections efficaces: Elles sont supposées constantes dans le volume du système. compte tenu que la source produit 10^6 neutrons/seconde, d'énergie moyenne 5 MeV, le calcul se fera uniquement sur la capacité de la source à fissionner l'uranium, c'est à dire qu'il ne sera pas tenu compte d'autres réactions.

Le ralentissement des neutrons: 5 MeV \rightarrow 2 MeV se produit au sein du milieu, aussi les sections efficaces sont assumées égales à celles correspondant à 2 MeV: barns

$$\sigma_S(U) = 6.65, \sigma_A(U) = .55, \sigma_p(U) = .55, \sigma_S(F) = 2.5, \sigma_A(F) = .009$$

Les constantes du mélange pour ces sections efficaces sont:

$$\Sigma_A = 0.00750 \text{ cm}^{-1}, \Sigma_S = 0.21326 \text{ cm}^{-1}$$

Paramètre de ralentissement: $\xi = 0.01364$

Pouvoir de ralentissement: $\xi \cdot \Sigma_S = 0.06400 \text{ cm}^{-1}$

Rapport de modération: $\xi \cdot \Sigma_S / \Sigma_A = 8.527$

Libre parcours moyen de transport: $\lambda_t = 4.79549 \text{ cm}$

Coefficient de diffusion: $D = 1.59849 \text{ cm}$

Longueur de migration: $M = 11.59345 \text{ cm}$

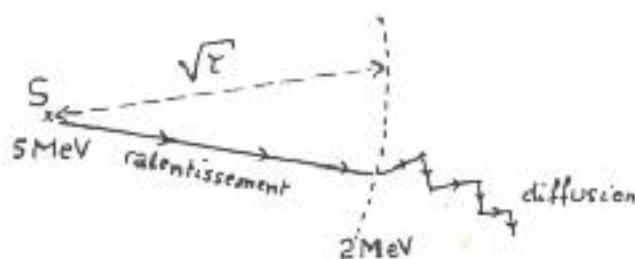
Perte d'énergie des neutrons de la source:

Age de Fermi: $\tau = \frac{D}{\xi \Sigma_S} \ln \frac{E_i}{E_f}$ soit $\tau = 107.30 \text{ cm}^2$

Longueur de ralentissement: $\sqrt{\tau} = 10.3 \text{ cm}$

Temps de ralentissement: $t_r = 2.65 \cdot 10^{-5} \text{ s}$

Temps de diffusion: $t_d = 7.57 \cdot 10^{-5} \text{ s}$



Si l'on considère que le milieu n'est le siège d'aucune absorption de neutrons, le ralentissement des neutrons s'écrit:

$$\frac{\partial^2 q}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial q}{\partial r} = \frac{\partial q}{\partial \tau}$$

la solution doit satisfaire à:

$$\int_{r=0}^{r=\infty} q(r, \tau) \cdot 4\pi r^2 dr = S$$

$$\text{Soit: } q(r, \tau) = S \frac{e^{-r^2/4\tau}}{(4\pi\tau)^{3/2}}$$

$$\text{pour } r^2 = \tau, \quad q = S \frac{e^{-1/4}}{(4\pi\tau)^{3/2}} \text{ neutrons/cm}^3/\text{s}$$

Le rayon d'action de la source, correspondant à la perte d'énergie de 3 MeV est donc limité par $r = \sqrt{\tau}$
Ainsi, pour $S=10^6$ neutrons/s, $\bar{E}_n = 5 \text{ MeV}$

$$q = 15.73 \text{ neutrons/cm}^3/\text{s} \text{ à la frontière } r = \sqrt{\tau}$$

$$q = 218.47 \text{ neutrons/cm}^3/\text{s} \text{ à l'intérieur du volume}$$

Le nombre de neutrons absorbés par le mélange dans une couche comprise entre 0 et $\sqrt{\tau}$ est: $4\pi r^2 dr \cdot \Sigma_a \cdot \psi_n$

$$\text{avec: } \psi_n = \frac{S}{4\pi D r} e^{-r/M}$$

Le nombre de fissions/s, est donc, pour $V = \frac{4}{3}\pi\tau^{3/2}$

$$q = N(U) \cdot G_f(U) \cdot \frac{S}{D} \int_0^{\sqrt{\tau}} r \cdot e^{-r/M} dr$$

$$q = \frac{N(U) \cdot G_f(U) \cdot S}{D} \left(M^2 - M\sqrt{\tau} e^{-\frac{\sqrt{\tau}}{M}} - M^2 e^{-\frac{\sqrt{\tau}}{M}} \right) \text{ à peu près constant}$$

Par conséquent, le système chimique le plus approprié doit avoir un pouvoir de ralentissement assez faible, et doit être associé à une source de neutrons, puissante et d'énergie élevée: Ra, Po, Cf, ... ou même une lampe à deutérium. Mais compte tenu que l'accès de produits naturels est le moins problématique, le choix doit donc se porter, tout du moins dans l'étape initiale, vers les descendants radioactifs de l'uranium: radium et polonium, ou le mélange.

A noter que k est défini par:

$$\text{avec: } \Delta = M^2 - M \cdot R \cdot e^{-R/M} - M^2 e^{-R/M} \quad k = \int \frac{N(U) \cdot G_f(U) \cdot \Delta}{D}$$

Influence du volume sur k et α

coefficient de croissance: $\alpha = 2.5 \cdot 10^{-3} (k-1) \cdot \bar{v} \cdot d \cdot G_f$

V(L)	R(cm)	k	α	fissions/s
5	10.6	0.395390	<0	$1.49 \cdot 10^5$
10	13.3	0.558398	<0	"
20	16.8	0.767398	<0	"
30	19.2	0.910775	<0	"
40	21.2	1.020972	$2.70 \cdot 10^5$	"
50	22.8	1.110581	$1.42 \cdot 10^6$	"
60	24.2	1.186006	$2.39 \cdot 10^6$	"
70	25.5	1.251006	$3.23 \cdot 10^6$	"
80	26.7	1.307995	$3.97 \cdot 10^6$	"
90	27.8	1.358625	$4.62 \cdot 10^6$	"
100	28.7	1.404079	$5.21 \cdot 10^6$	"

Le volume réactif étant limité par $r \cdot \sqrt{r}$, il résulte que pour $r > \sqrt{r}$ les section efficaces de réactions seront différentes.

A noter qu'un ensemble de réactions secondaires ont été omises:

- réactions $(n, 2n)$, $4 \text{ MeV} < E_n < 13 \text{ MeV}$
- réactions $F(\alpha, n)$, il existe $1.675 \cdot 10^5 \alpha / \text{cm}^3/\text{s}$
- réactions (γ, n)

b) Cas du mélange $UF_4 + H_2O$

$$\begin{aligned}
 N(U) &= 9.26 \cdot 10^{21} \text{ noyaux/cm}^3 \\
 N(F) &= 3.70 \cdot 10^{22} \text{ " } \\
 N(H) &= 1.85 \cdot 10^{22} \text{ " } \\
 N(O) &= 9.26 \cdot 10^{24} \text{ " }
 \end{aligned}$$

Sections efficaces à 3 MeV (en barns)

$$\begin{aligned}
 \sigma_A(U) &= 0.55 & \sigma_f(U) &= 0.55 & \sigma_s(U) &= 6.65 \\
 \sigma_A(F) &= 0.009 & \sigma_s(F) &= 2.5 \\
 \sigma_A(O) &= 0.002 & \sigma_s(O) &= 3.5 \\
 \sigma_A(H) &= 0.03 & \sigma_s(H) &= 20
 \end{aligned}$$

Les constantes du mélange sont:

$$\Sigma_A = 0.00598 \text{ cm}^{-1} \qquad \Sigma_S = 0.55648 \text{ cm}^{-1}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Paramètre de ralentissement:} & \quad \xi = 0.38371 \\
 \text{Pouvoir de ralentissement:} & \quad \xi \cdot \Sigma_S = 0.68952 \text{ cm}^{-1} \\
 \text{Rapport de modération:} & \quad \Sigma_S / \Sigma_A = 115.25 \\
 \text{Libre parcours moyen de transport:} & \quad \lambda_{tr} = 3.25720 \text{ cm} \\
 \text{Coefficient de diffusion:} & \quad D = 1.08573 \text{ cm} \\
 \text{Longueur de migration:} & \quad M = 13.47125 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Perte d'énergie: 5 MeV \rightarrow 2 MeV

$$\begin{aligned}
 \text{Age de Fermi:} & \quad \tau = 2.5926 \text{ cm}^2 \\
 \text{Longueur de ralentissement:} & \quad \sqrt{\tau} = 1.61 \text{ cm} \\
 \text{Temps de ralentissement:} & \quad t_r = 9.32 \cdot 10^{-7} \text{ s} \\
 \text{Temps de diffusion:} & \quad t_d = 9.50 \cdot 10^{-5} \text{ s}
 \end{aligned}$$

Le volume efficace de réaction est donc très inférieur:

$$V = \frac{4}{3} \pi r^{3/2} \quad \text{soit} \quad V = 17.48 \text{ cm}^3$$

Le nombre de fissions/s dans ce volume est:

$$q = 5.61 \cdot 10^3 \text{ fissions/s}$$

Variations de k et α avec le volume

V (L)	R (cm)	k	α
5	10.6	0.405278	<0
10	13.3	0.567300	<0
20	16.8	0.771390	<0
30	19.2	0.909658	<0
40	21.2	1.013553	$1.74 \cdot 10^5$
50	22.8	1.097662	$1.25 \cdot 10^6$
60	24.2	1.167839	$2.16 \cdot 10^6$
70	25.5	1.227850	$2.93 \cdot 10^6$
80	26.7	1.280099	$3.16 \cdot 10^6$
90	27.8	1.326223	$4.20 \cdot 10^6$
100	28.7	1.367388	$4.73 \cdot 10^6$

Il est un fait que la présence d'eau est défavorable au cours de la réaction nucléaire de fission en raison de la très faible longueur de ralentissement, donc du très faible volume réactif. La proportion de neutrons capturés au-delà de $r = \sqrt{\tau}$ sera donc plus importante, aussi un tel système serait favorable à la production de Pu^{239} en présence d'une source très énergétique.

2) Etude du système en considérant deux couches réactives

Les calculs précédents considéraient des sections efficaces constantes dans tout le volume, ce qui est faux, ainsi que le prouve le calcul de la longueur de ralentissement. Aussi, les valeurs du coefficient critique (k), sont elles supérieures à la réalité.

Le calcul plus exact de ce coefficient critique se fait en prenant en compte la variation de la section efficace avec le rayon de la sphère. Le cas le plus simple consiste à considérer un système à deux couches réactives:

première couche limitée par $r = \sqrt{\tau}$

seconde couche comprise entre $r = \sqrt{\tau}$ et $r = R_e$

Seul le cas de UF_4 sera considéré.

a) Première couche.

Les sections efficaces correspondent à $5 \text{ MeV} \leq E_n < 2 \text{ MeV}$
Soit $G_S(U) = 6.65$, $G_A(U) = 0.55$, $G_{F_0}(U) = 0.55$, $G_S(F) = 2.5$ barns
le rayon $r = \sqrt{\tau}$ vaut $r = 10.3 \text{ cm}$
le nombre de fissions/s est:

$$q_0 = \frac{N(U) \cdot G_0 \cdot S \cdot \Delta_0}{D_0} \text{ pour } S = 10^6 \text{ n/s} \text{ soit } q_0 = 1.49 \cdot 10^5 \text{ f/s}$$

b) Seconde couche.

Les sections efficaces correspondent à l'énergie de fission:

$G_S(U) = 3.97$, $G_A(U) = 0.33$, $G_{F_1}(U) = 0.29$, $G_S(F) = 2.5$, $G_A(F) = 0.009$
entre $r = \sqrt{\tau}$ et $r = R$, le nombre de fissions/s est:

$$q_1 = \frac{N(U) \cdot G_1 \cdot S \cdot \Delta_1}{D_1}$$

$$q_1 = f(r)$$

Le nombre total de neutrons de fission créés par seconde est:

$$n = 2.55 \cdot (q_0 + q_1)$$

La réactivité k du système s'écrit donc:

$$k = \nu \cdot N(U) \left(\frac{G_0 \Delta_0}{D_0} + \frac{G_1 \Delta_1}{D_1} \right)$$

Le coefficient de croissance α est:

$$\alpha = 2.5 \cdot 10^{-3} \cdot (k-1) \bar{v} \cdot d \cdot \sigma_f$$

$\bar{v} = 1.49 \cdot 10^8 \text{ cm/s (4 MeV)}$
 $d = 6.7$
 $\sigma_f = 0.29 \text{ barn}$

Le coefficient k du système s'écrit:

$$k = k_0 + k_1 \quad \text{avec } k_0 = 0.337$$

La variation de la réactivité du système en fonction du volume est indiquée Tab.1

$k(a)$ correspond au milieu, $E(n) = 2 \text{ MeV}$ de $r=0$ à $r=R_0$

(a) " " " " "

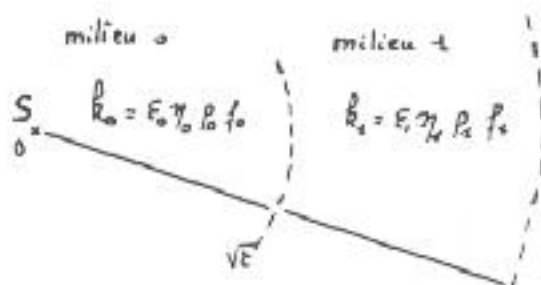
$$k = k_0 + k_1 \quad \text{soit } k = 0.337 + k_1$$

Le tableau de valeurs montre donc que le système est critique pour $V = 110$ litres au lieu de $V = 170$ litres.

Recherche d'une formule à quatre facteurs exprimant...k

Pour un système thermique, la formule bien connue est $k = \epsilon \cdot \eta \cdot p \cdot f$

Soit le schéma suivant:



V (litres)	R (cm)	β (a)	α (a)	β_1	β	α
20	16.83	0.411439	< 0	0.222711	0.559853	< 0
50	22.85	0.631923	< 0	0.443195	0.780337	< 0
80	26.73	0.771175	< 0	0.582447	0.919589	< 0
110	29.72	0.874480	< 0	0.685752	1.022894	$1.55 \cdot 10^5$
140	32.21	0.956713	< 0	0.767985	1.105127	$3.19 \cdot 10^5$
170	34.36	1.024907	$1.69 \cdot 10^5$	0.836173	1.173321	$1.17 \cdot 10^6$
200	36.27	1.083014	$5.64 \cdot 10^5$	0.894286	1.231428	$1.57 \cdot 10^6$

ξ_0 : facteur de fission rapide

pour $5 \text{ MeV} < E < 2 \text{ MeV}$ $\xi_0 = 1.379$

Soit $S = 10^6 \text{ n/s}$, il se produit q_0 fissions/s

q_0 produit $2.55 \times q_0$ neutrons/s

$n_0 = 2.55 \times 1.49 \times 10^5$ soit $n_0 = 3.8 \times 10^5$ donc $\xi_0 = 1.379$

$$\eta_0 = 2.55 \frac{\sigma_f U}{\sigma_f U + \sigma_c} \quad \text{soit } \eta_0 = 2.55$$

p_0 = probabilité de non capture $p_0 = \frac{S - q_0}{S}$

$$p_0 = 1 - \frac{N(u) \cdot \sigma_c \cdot \Delta_0}{D_0}$$

f_0 = fraction de neutrons capturés

$$f_0 = \frac{N(u) \cdot \sigma_c \cdot \Delta_0}{D_0}$$

Pour le milieu 1 le calcul est similaire.

$\xi_1 = 1.03$ en raison des neutrons de fission

$\eta_1 = 2.4$ $\sigma_c(U) = 0.04 \text{ b}$ et $\sigma_f(U) = .29 \text{ b}$

p_1 = probabilité de non capture

$$p_1 = \frac{S - q_0 - q_1}{S - q_0} \quad \text{soit} \quad p_1 = \frac{1 - \frac{N(u) \sigma_c \Delta_0}{D_0} - \frac{N(u) \cdot \sigma_c \cdot \Delta_1}{D_1}}{1 - \frac{N(u) \sigma_c \Delta_0}{D_0}}$$

f_1 = probabilité de capture

$$f_1 = \frac{\frac{N(u) \sigma_c \Delta_1}{D_1}}{1 - \frac{N(u) \sigma_c \Delta_0}{D_0}}$$

$$k_{eff} = \xi_0 \eta_0 P_0 f_0 + \xi_1 \eta_1 P_1 f_1$$

$$k_{eff} = \xi_0 \eta_0 \frac{N(u) \sigma_0 \Delta_0}{D_0} \left(1 - \frac{N(u) \sigma_0 \Delta_0}{D_0} \right) + \xi_1 \eta_1 \frac{N(u) \sigma_1 \Delta_1}{D_1} \cdot \frac{\left(1 - \frac{N(u) \sigma_0 \Delta_0}{D_0} - \frac{N(u) \sigma_1 \Delta_1}{D_1} \right)}{\left(1 - \frac{N(u) \sigma_0 \Delta_0}{D_0} \right)^2}$$

Comme il se doit, k_{eff} dépend du volume du système par le terme $\frac{N(u) \sigma_1 \Delta_1}{D_1}$

Application numérique

V(l)	k_{calc}	k_{eff}	Δk
50	0.780337	0.799388	-0.019051
75	0.899487	0.872008	+0.027479
100	0.991294	0.918186	+0.073108
125	1.066103	0.949522	+0.116883
150	1.129182	0.971553	+0.157629
175	1.183626	0.987339	+0.196287
200	1.231428	0.998731	+0.232697
225	1.273950	1.006926	+0.267024
250	1.312171	1.012734	+0.299437

k_{eff} dépend étroitement de l'énergie des neutrons, aussi ne faut-il accorder aucune valeur aux résultats obtenus. Le calcul plus exact de k_{eff} nécessite la prise en compte des réactions de captures, et le partage du système en de très nombreuses sous couches:

$$k = \sum_i^n k_i \quad \text{et} \quad k_{eff} = \sum_i^n \xi_i \eta_i P_i f_i$$

Etude de la fonction $k_{eff} = f(\Delta_0, \Delta_1)$

Contrairement à ce que l'on aurait pu penser, k_{eff} n'est pas une fonction continuellement croissante avec le volume du système. Dans le cas présent, on observe une valeur maxima de k :

$$43,9901 \text{ cm} < R_e < 44,1305 \text{ cm} \quad k_{eff} = 1,02092$$

Ce comportement de $k = f(r)$ pourrait s'expliquer:

- Pour une source d'énergie donnée.

$$k = cst + k(r)$$

la constante dépend de l'énergie des neutrons:

$$cst = \epsilon_0 \eta_0 \frac{N(u)G_0 \Delta_0}{D_0} \left(1 - \frac{N(u)G_0 \Delta_0}{D_0} \right) \quad \Delta_0 = M^2 - M\sqrt{r} e^{-\frac{\sqrt{E}}{M}} - M^2 e^{-\frac{\sqrt{E}}{M}}$$

or: G_0 dépend de l'énergie des neutrons

$D_0, \Delta_0, \epsilon_0, \eta_0, M_0, N_0$... dépendent de σ_a, σ_s

Il existe donc une fonction $k_{eff} = f(E_n)$ qui permettrait de déterminer avec précision k_{eff}

Soit G_0, D_0, M_0, N_0 constants, soit $G_0(u) = 0.55 \text{ b}$

soit la source S , $\bar{E}_n = 8 \text{ MeV}$ donc $\sqrt{E} = 12.7 \text{ cm}$

V(l)	k_{cal}	k_{eff}
50	0.887403	0.937377
80	1.027027	1.034264
100	1.098924	1.075026
125	1.173933	1.110938
150	1.237180	1.135971

$$k_0 = 0.520557$$

Comme on le constate, l'énergie des neutrons de la source conditionne la croissance rapide de k_{eff} . Ainsi

Le supposé fluorure d'élément super-lourd, qui devrait être créé dans les conditions du système, permettrait d'obtenir très vite une valeur de k_{eff} très élevée.

- Formule des quatre termes.

Pour le système à deux couches, k s'écrit:

$$k_{eff} = \xi \cdot \eta \cdot \rho \cdot f_0 + \xi_1 \cdot \eta_1 \cdot \rho_1 \cdot f_1$$

Le système peut être réalisé de telle manière que l'on aura $f_1 = 1$. Cette valeur maximum de f correspond à la prise en compte des captures conduisant au plutonium, et aux pertes de neutrons négligeables.

Soit pour $f_1 = 1$:

V(l)	k_{calc}	k_{eff}
50	0.782556	0.901151
80	0.922180	1.057199
100	0.994078	1.137554
125	1.069086	1.221386
150	1.132333	1.292073
200	1.244853	1.406652

$$\lambda_0 = 0,338175$$

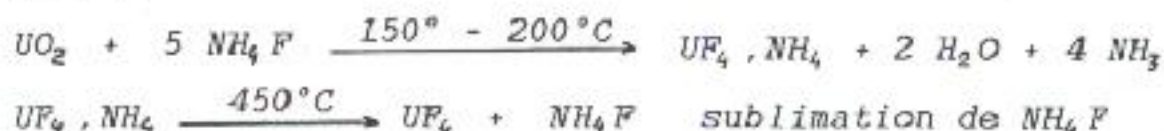
Le procédé de calcul de k pourrait se généraliser:

$$k_{eff} = \sum_i^n \xi_i \cdot \eta_i \cdot \rho_i \cdot f_i \quad \text{avec} \quad f_n = 1$$

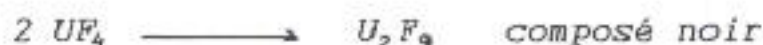
3) Particularités du système chimique choisi.

Plusieurs points sont à noter:

* UF_4 est un composé aisément produit à partir de la réaction:



Eventuellement, un traitement de UF_4 par HF produit sa polymérisation:



* Le fluor est un élément clé de la table périodique, en raison de sa très forte affinité électronique. Il est supposé que sa présence devrait permettre la formation de noyaux super-lourds (hypothèse personnelle avancée en Juin 1984), ces noyaux créés seraient alors stabilisés par l'environnement de fluors.

La particularité remarquable de ces éléments super-lourds serait leur désintégration totale en neutrons très énergétiques; le site de création de ces éléments devrait se situer dans la région du système caractérisée par la prépondérance des captures. La désintégration des noyaux super-lourds devrait permettre d'atteindre des flux périodiques de l'ordre de 10^{25} n/cm²/s.

Ainsi ces éléments super-lourds, isolés, pourraient servir à fabriquer de petites bombes nucléaires de forte puissance, et à produire très rapidement du plutonium dans un milieu dilué en uranium.

* La simplicité de mise en oeuvre du procédé.

Les minéraux d'uranium sont largement répartis dans le monde; les pays du Tiers Monde, en particulier, possèdent des réserves intéressantes localisées, mais non exploitées, en général.

Riches ou pauvres, les minéraux d'uranium peuvent être traités sans trop de difficultés par une éventuelle préconcentration, puis par lixiviation par une solution en général acide. La récupération du radium est liée au procédé de lixiviation.

La mise en oeuvre du procédé de lixiviation peut se faire à peu de frais. L'obtention de l'oxyde d'uranium marque le point final du procédé de traitement du minerai; la récupération du radium s'effectue dans la liqueur mère.

* La production de plutonium.

Si l'on excepte le cas idéal de l'existence des noyaux super-lourds, le plutonium ne pourra être produit que par capture des neutrons de fission. Le système chimique décrit permettrait dans d'autres conditions de produire assez de plutonium pour fabriquer un explosif nucléaire primaire. Il est à remarquer, que dans le cas du système étudié, le plutonium 240, néfaste pour les explosifs de fission classiques, provoquera un gain de réactivité.

II. Paramètres d'explosion du système.

Il va de soit que l'explosion ne pourra se produire que si $k > 1$. Or il a été vu que:

$$k = \alpha \frac{N(U) \cdot G_f(\omega) S}{D} \quad \text{avec} \quad \alpha \leq \nu \quad (\nu = 2.55)$$

Il a été démontré que $k = k_{eff}$

Soit un système de volume $V = 250$ litres

Le coefficient de croissance: $\alpha = 2.5 \cdot 10^{-3} (k-1) \cdot \bar{v} \cdot d \cdot G_f$

$d = 6.7$, $G_f = 0.29$, $\bar{v} = 1.4 \cdot 10^9$ cm/s, $k = 1.1312171$

soit $\alpha = 2.12 \cdot 10^6$

L'énergie dégagée par explosion est:

$$E = \epsilon_0 e^{\alpha \cdot t} \quad \epsilon_0 = 2.86 \cdot 10^{-4} \text{ ergs}$$

L'énergie potentielle du mélange est:

$$W = m(U) \frac{\mathcal{N}^p}{M_U} \epsilon_0 \quad \text{soit } W = 9.18 \cdot 10^{23} \text{ ergs ou } 21.4 \text{ MT}$$

Compte tenu que la réaction explosive s'arrête pour $E = W$

$$\epsilon_0 e^{\alpha \cdot t} = m(U) \frac{\mathcal{N}^p}{M_U} \epsilon_0 \quad \mathcal{N}^p = 6.02 \cdot 10^{23}$$

$$M_U = 238 \quad m(U) = 1.27 \text{ Tonnes}$$

$$\text{soit: } t = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{m(U) \cdot \mathcal{N}^p}{M_U}$$

$$t = 29.8 \mu s \quad \text{pour dégager toute l'énergie}$$

Dès l'amorçement de la réaction explosive, l'énergie dégagée provoque une très forte augmentation de pression dans le système: $p \approx \frac{E}{3V}$, il en résulte un gonflement du mélange et par conséquent une variation du coefficient de croissance α , qui finira par s'annuler.

Le temps effectif de réaction exponentielle se calcule par:

$$t = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{3(k-1) \cdot m(U) \cdot \bar{v}^2}{10 \epsilon_0}$$

$$\text{soit } t = 29.2 \mu s$$

Le rendement d'un engin de fission classique est en général inférieur à 0.1%. Dans le cas présent tout à fait non conforme à l'art de la guerre moderne, supposer un rendement de fission de 0.01% semblerait convenable; aussi la puissance explosive du système serait de 2.14KT soit 10 moindre que celle de la bombe atomique testée à Nagasaki par les scientifiques Américains en Juin 1945.

Ces calculs montrent que la puissance libérée dépend exclusivement du coefficient de croissance, α :

$$\alpha = 2.5 \cdot 10^{-3} (\beta - 1) \bar{v} \cdot d \cdot G_f(u)$$

Il faut remarquer qu'entre 1.5 MeV et 4 MeV, G_f est élevé, de 0.5 à 1 barn.

Pour $E > 1$ MeV l'on devrait avoir $G_f(u) = 1$ barn
- Pour un mélange homogène, la densité reste constante. L'utilisation de l'uranium métal n'est pas recherchée, aussi cette densité, pour un mélange homogène sera égale à 6.7.

L'utilisation d'un système à plusieurs couches vient immédiatement à l'esprit. L'une d'entre elles, proche du centre contiendrait de la matière fissile (plutonium) cette méthode aurait de multiples intérêts.

- A supposer que le système UF_4 se caractérise par la création de noyaux super-lourds, ceux-ci seraient, sans doute, aussitôt décomposés en neutrons, d'où de nombreux accroissements locaux et périodiques de la densité de neutrons. A vrai dire, le seul intérêt de ces noyaux super-lourds serait comme système de mise à feu.

- Le système considéré normal, la seule solution pour accroître la puissance explosive est d'introduire le composé D^6Li dont 2 g produirait environ 10^{23} neutrons de 14 MeV. Le système aurait alors une puissance de quelques kilotonnes.

En conséquence, un coefficient de croissance α élevé, associé au composé D^6Li permettrait d'envisager une puissance explosive pouvant atteindre le Megatonne. Or ce résultat serait une certitude dans le cas où il serait possible d'amorcer la réaction par l'hypothétique fluorure d'élément super-lourd.

Résistance limite des parois du système.

Le système de mise à feu d'une bombe nucléaire de fission est connu: des charges explosives judicieusement réparties sur la surface du container sphérique, dont l'explosion provoque l'explosion du système; les phénomènes sont alors:

- Une phase froide
formation de la masse surcritique
amorçage de la réaction nucléaire par un source de neutrons.
- Une phase chaude caractérisée par l'explosion de fission

Il s'avère donc que l'implosion produit durant un temps Δt une pression p_0 .

Au cours de Δt , l'explosion de fission se poursuit, et pour la pression interne $p_i > p_0$ l'énergie est libérée.

En conséquence, la puissance de l'engin nucléaire dépend de:

$$p_i = \frac{\epsilon_0 \cdot e^{\alpha \cdot \Delta t}}{V_0} \quad \text{donc de } \alpha$$

Ainsi dans le cas du système chimique, l'unique façon d'obtenir une puissance explosive de quelques kilotonnes, est d'associer au système une très puissante source de neutrons et le mélange D^6Li ; compte tenu que les parois du système ne pourront résister à une pression supérieure à 8 Tonnes/cm².

L'explosion nucléaire n'étant que la production d'une boule de feu, après l'explosion des parois du système, la réaction devrait se poursuivre un temps très court, tant que la matière sera à l'état surcritique, d'où l'intérêt d'adopter un système à plusieurs couches.

Le système central

Cette partie du système est fondamentale, son état critique se définit par:

$$k_0 = \xi \cdot \eta \cdot \rho \cdot f_0 \quad \text{ou} \quad k_0 = \int \frac{N(U) \cdot G_f(U)}{D_0} \Delta_0$$
$$\alpha = 2.55 \cdot 10^{-3} \left(\int \frac{N(U) \cdot G_f(U)}{D} \Delta_0 - 1 \right) \bar{v} \cdot d \cdot G_f(U)$$

La source conditionne:

$$\int \frac{N(U) \cdot G_f(U)}{D_0} \Delta_0 > 1 \quad \text{donc} \quad \alpha$$

La matière fissile peut être l'uranium naturel ou le plutonium préparé dans d'autres conditions. ^{239}Pu a l'avantage de présenter une importante section efficace de fission.

Plusieurs sources pourraient être utilisées:

. Etape initiale.

Descendants de l'uranium, source $\text{Be}(\alpha, n)$

. Etape secondaire

Source PuBe_{13}

trois pics à $E_n = 4,0 - 7,2 - 9,7 \text{ MeV}$

rendement $1,2 \cdot 10^6$ neutrons/s

. Etape opérationnelle

Un astucieux système de mise à feu existe, il devrait permettre de réduire le volume du système à 50 litres et faciliter les manipulations.