

Rachel LANGLET
Thèse de physique en 2004
Contractuelle à la scalarité, UFR ST
Université de Franche-Comté
Besançon, France
Rachel.langlet@yahoo.fr

Argumentation sur le risque q'une éruption solaire de type « événement de Carrington » créé un black-out mondial. Impact sur les centrales nucléaires.

Février 2012

Introduction

En 1859, une série d'éruptions solaires d'une intensité inhabituelle (les Evénements de « Stewart » et de « Carrington ») a provoqué sur Terre des aurores boréales jusqu'à des latitudes quasi-tropicales, et a induit de puissants courants électriques dans les sous-sols et les réseaux électriques aériens. Cette tempête magnétique a duré une semaine et sera responsable de très nombreuses pannes et explosions dans les réseaux de télégraphie, les seuls réseaux électriques existants à l'époque. Ces derniers « fonctionnaient tout seuls » et des incendies se déclaraient au niveau des postes de télégraphie [1]. Si une telle tempête solaire arrivait de nos jours, les effets en seraient autrement catastrophiques. En à peine 150 ans, l'humanité est devenue fortement dépendante de l'énergie électrique, que ce soit pour l'alimentation, le chauffage, les transports, l'industrie, la santé. Une tempête magnétique de même intensité que celle de 1859 pourrait créer les conditions d'un black out mondial avec la destruction d'une part très importante des transformateurs électriques et de systèmes électroniques et de communication. Cette panne d'ampleur planétaire, étant donné sa gravité, pourrait durer plusieurs mois, voir plusieurs années, et plonger le monde entier dans une crise sans précédent. Cependant, à maintes reprises dans l'histoire, l'être humain a prouvé ses capacités d'adaptation, et la solidarité permettra de reconstruire progressivement les bases d'un monde plus sain, moins dépendant en énergie, une société plus robuste, plus riche de notre espoir de bâtir un lendemain meilleur. **Oui, mais...**

En à peine plus de 60 ans, le monde a construit plus de 450 réacteurs nucléaires civils (En 2011, 442 en fonctionnement, et 65 en construction), et près de 250 réacteurs nucléaires militaires [2]. Trois accidents graves (Three Mile Island aux USA en 1979, Tchernobyl en Ukraine en 1986, et Fukushima au Japon en 2011) ont conduit à une fusion de réacteur nucléaire, et pour deux d'entre eux, au relâchement massif de radioéléments dans l'atmosphère et l'environnement. Le point faible d'une centrale est le refroidissement des réacteurs (dont la chaleur, évacuée par le circuit primaire, sert à générer de l'électricité). Ce refroidissement est dépendant d'une source d'eau externe (rivière, mer) et de l'alimentation électrique des pompes de refroidissement. La réaction nucléaire est par ailleurs pilotée par des ordinateurs. Si une telle tempête solaire causait un black-out mondial durable sur la planète, les générateurs de secours qui alimentent le circuit de refroidissement des centrales nucléaires seraient à cours de carburant en une semaine à peine. La plupart des systèmes

électroniques seraient grillés par les surcharges électriques, et les techniciens dans les centrales seraient « aveugles » pour contrôler l'état du réacteur. Même si de nombreux pays prennent des mesures pour protéger les installations nucléaires contre les impulsions électromagnétiques générées par les tempêtes solaires [3], ces dernières ne sont pas immunisées contre une absence d'alimentation électrique de longue durée. Les véhicules et moyens de transport, comportant à l'heure actuelle de nombreux systèmes électroniques, seraient immobilisés. Le chaos social serait tel – famines, émeutes – qu'il serait très difficile d'organiser des interventions de sauvetage au niveau des centrales. Comment les hommes pourraient-ils éviter dans ces conditions l'explosion de la plupart des réacteurs nucléaires dans le monde ?

L'explosion d'une centaine de réacteurs nucléaires précipiterait la Terre dans une extinction massive et durable de la vie complexe sur des continents entiers. D'énormes quantités de radioéléments seraient émis simultanément, et pendant des années, du fait de la désorganisation complète de la société, et de l'abandon probable des tentatives pour circonscrire les multiples catastrophes. Cette pollution radioactive massive à l'échelle de la planète ne nous laisserait absolument aucune chance de survivre ni de reconstruire quoi que ce soit (voir plus bas les estimations pour une centaine d'explosions de type Tchernobyl).

La survenue d'une tempête aussi intense que celle de 1859 n'est pas de la science fiction, puisque cela est déjà arrivé. Aucun scientifique à l'heure actuelle n'est en mesure de nous apporter la preuve que cela ne peut se reproduire dans un avenir proche, et la NASA prévoit en 2013 la possibilité de survenue d'évènements tout aussi extrêmes.

Je vous écris car ayant pris conscience de ce fait, je tiens absolument à transmettre ce savoir et à vous alerter sur ce terrible danger. Je vous en supplie, posez la question aux spécialistes du nucléaire, aux industriels. Relayez mon message aux médias, nous devons faire VITE. Il en va de la survie de l'humanité et de la continuité de la vie complexe sur Terre !

Pensez à tous ces peuples qui vivent encore naturellement, sans électricité ni technologie (ou presque). Eux aussi, bien qu'ils n'en seraient nullement responsables, subiraient cette pollution radioactive massive. La perte des réseaux électriques n'aurait aucun impact (ou presque) sur eux, et pourtant, ils disparaîtraient par notre faute !

Pensez aux millions d'espèces vivantes qui peuplent cette planète ! A la richesse presque infinie des écosystèmes et de la biodiversité ! Aux milliards d'années de patiente évolution qu'il aura fallu pour en arriver à un tel foisonnement de vie, à une telle complexité du vivant.

Comment une seule espèce - l'homme - peut-elle exposer ces milliards de milliards de vies à un tel risque ?

Si nous survivions, comment pourrions-nous porter une *telle responsabilité* ?

La vie est bien plus magique et précieuse que l'argent gagné en exploitant les centrales nucléaires !

Le principal point faible des centrales nucléaires : le refroidissement du réacteur, et des combustibles usagés des piscines de stockage

L'évènement de Fukushima vient à nouveau marquer l'histoire de l'humanité, et constitue la deuxième catastrophe nucléaire la plus grave depuis Tchernobyl en avril 1986, mais ce deuxième évènement vient surtout nous rappeler combien l'énergie nucléaire peut être dépendante d'une alimentation électrique. C'est un besoin VITAL, INDISPENSABLE pour éviter une fusion des barreaux de combustible et une catastrophe de type Fukushima ou Tchernobyl. Cette alimentation électrique permanente est nécessaire non seulement pour le fonctionnement de la centrale, mais en cas d'arrêt du réacteur, pour éviter une surchauffe du cœur à cause de l'énorme chaleur résiduelle de désintégration des éléments radioactifs qui doit continuer d'être évacuée pendant des mois, voire des années [4]. En fonctionnement, les besoins en eau du circuit tertiaire vont de 2 m³/s (centrales avec tours aéroréfrigérantes, exemples des centrales de Chinon et de Cattenom), à 50 m³/s lorsque toute l'eau de refroidissement provient d'une source extérieure (mer ou fleuve), comme c'est le cas à la centrale du Blayais ou de Fessenheim en France [5]. Même si les besoins en eau externe des centrales disposant de système aéroréfrigérant est plus faible, les pompes de refroidissement assument un rôle vital en faisant circuler l'eau des trois circuits (primaires, secondaires et tertiaires) afin d'assurer la continuité du refroidissement du réacteur. Le cœur doit être refroidi pendant des mois après l'arrêt, et le combustible usagé doit ensuite être entreposé dans des piscines de refroidissement entre trois ans [6]. Le refroidissement et la baisse de radioactivité du combustible MOX demande dix fois plus de temps, soit environ 50 ans [7], et il est environ 5 à 7 fois plus radiotoxique que le combustible classique à base d'oxydes d'uraniums.

Une centrale nucléaire ne s'arrête pas comme on arrête une lampe : le réacteur doit ensuite être refroidi sans la moindre discontinuité pendant DES MOIS après son arrêt. Le combustible usagé stocké dans les piscines de désactivation doit ensuite être refroidi pendant 3 ans minimum !

On l'a vu à Fukushima, les piscines de désactivation ont posé tout autant de problèmes que les cœurs des réacteurs, bien que le combustible de ces piscines ait été inactif du point de vue de la réaction de fission pendant plusieurs mois, voire plusieurs années [8, 9,10]. Et les piscines de désactivation ne sont pas isolées dans une enceinte d'acier, comme l'est le cœur du réacteur nucléaire. De plus, des évaluations de sûreté nucléaire ont montré que le risque d'accident était environ dix fois plus important sur un réacteur éteint que sur un réacteur en fonctionnement. Il s'agit d'une faiblesse structurelle du réacteur, du au fait que les coefficients de température sont négatifs, d'où une plus grande instabilité [11].

Le risque d'accident est environ dix fois plus important sur un réacteur éteint que sur un réacteur en fonctionnement. Même dans les premières heures du black out, le risque d'accident nucléaire serait donc multiplié par 10 !

Cependant, n'oublions pas que les accidents de Three Mile Island en 1979, de Tchernobyl en 1986, et de Fukushima en 2011, ne représentent que la partie émergée de l'iceberg. De nombreux accidents nucléaires n'ont été évités que par hasard ou par chance, comme ce fut par exemple le cas en suède en 2006. Le 25 juillet 2006, un court-circuit provoque la perte

d'alimentation électrique du réacteur 1 de la centrale de Forsmark. Le réacteur a été immédiatement stoppé, mais la chaleur résiduelle (considérable quand le réacteur vient d'être arrêté) devait encore être évacuée. La salle de contrôle n'était plus alimentée en électricité et les techniciens ont donc du travailler en aveugle pour remettre en marche les pompes de refroidissement et éviter une fusion du cœur du réacteur. Aucun des quatre générateurs de secours n'a démarré automatiquement, le court-circuit ayant vraisemblablement affecté les batteries des générateurs. Les équipes sur place ont mis 23 minutes avant de parvenir à démarrer deux générateurs de secours sur quatre, et n'avaient aucun moyen de connaître l'état du réacteur ni les conséquences de leurs actions [12]. Pendant ce temps, le réacteur n'étant plus refroidi, l'eau du circuit primaire a baissé de deux mètres dans la cuve, et la pression a chuté à 12 bars, alors qu'elle doit être maintenue en permanence à 70 bars afin d'éviter la formation de vapeur. Des études ultérieures ont conclu que 7 minutes de plus avant la mise en route des deux générateurs aurait conduit à la destruction du cœur du réacteur. La fusion aurait eu lieu dans l'heure suivante. A partir de ce moment, l'explosion du réacteur pouvait survenir à tout instant, à cause de l'hydrogène produit au niveau du zirconium recouvrant les barreaux de combustibles surchauffés [13].

L'organisme de contrôle nucléaire américain (NRC) estime que 50% des scénarios de fusion du cœur ont pour origine une coupure de courant dans le réacteur [14].

En France, la tempête de 1999 occasionne le 28 décembre une inondation des parties basses des tranches 1 et 2, mais aussi 3 et 4 des réacteurs nucléaires de la centrale du Blayais en Gironde [15]. Des systèmes de sauvegarde qui permettent de rétablir le niveau d'eau du circuit primaire (Circuit d'injection de sécurité RIS), et d'asperger l'enceinte du réacteur en cas d'accident, pour faire baisser la température du réacteur, ont été mis hors service suite à l'inondation. A 8h23 du matin, la moitié des pompes du circuit tertiaire de refroidissement tombe en panne, ce qui aggrave notablement la situation car ces pompes permettent directement le refroidissement du réacteur. Seules deux pompes assuraient encore le refroidissement du réacteur 1, ce qui conduit à déclencher le plan d'urgence interne. Selon Christophe Quintin, responsable de la division nucléaire à la DRIRE (Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement) de Bordeaux, « si le SEC avait lâché, on se retrouvait dans la configuration de l'exercice fait à Golfech en novembre dernier, où l'on avait simulé la fusion du cœur de la centrale au bout de dix heures ». Trois des quatre réacteurs sont arrêtés en catastrophe. Les deux principaux systèmes de secours étant hors service, on imagine ce qui se serait passé si toutes les pompes assurant le refroidissement du réacteur étaient tombées en panne...

Même en fonctionnement normal, les centrales nucléaires ont prouvé leur grande instabilité en frôlant plusieurs fois la catastrophe nucléaire à cause d'un simple court-circuit ou d'une forte tempête hivernale.

Il faut savoir qu'un réacteur à l'arrêt doit continuer d'être refroidi car la réaction de fission dans le cœur du réacteur a produit de nombreux isotopes radioactifs qui dégagent beaucoup de chaleur en se désintégrant. Par exemple, un réacteur de 1300 MW produit encore 6 MW de puissance résiduelle un mois après son arrêt [16], et plus le temps avance, plus la décroissance en puissance ralentit. Lars-Olov Höglund, ancien ingénieur qui a participé à la construction du réacteur 1 de Forsmark, a déclaré dans le journal suédois Svenska Dagbladet que « C'est un pur hasard si la fusion du cœur n'a pas eu lieu » [17].

Une centrale nucléaire ne s'arrête pas du jour au lendemain : le cœur du réacteur et les piscines de désactivation doivent être refroidis pendant des années. En cas de perte durable du réseau électrique, l'arrêt immédiat du réacteur ne nous fera pas éviter la catastrophe.

Lors de l'explosion du réacteur 4 de Tchernobyl, le 26 avril 1986, les décisions des spécialistes ont été cruciales pour éviter une catastrophe bien plus grave. Pour rappel, les opérateurs de la centrale réalisaient un test visant à prouver qu'il était possible de relancer la centrale après son arrêt en utilisant uniquement l'énergie résiduelle produite par la centrale pour alimenter les pompes de refroidissement. L'idée était de se passer totalement de l'alimentation du réseau électrique extérieure et des générateurs de secours. Cependant, cette centrale de type RBMK souffre d'un défaut structurel, la puissance du réacteur est instable à faible si le combustible utilisé est faiblement enrichi en uranium 235, comme c'était le cas à ce moment là. De plus, après son arrêt, le réacteur a subi un « empoisonnement au xénon ». En fonctionnement normal, de l'iode 135 est formé dans le réacteur comme sous-produit de la réaction de fission, il se désintègre en quelques heures en xénon 135, rapidement dégradé par les neutrons produits par la réaction de fission. Cependant, lorsque le réacteur est éteint, il subsiste un laps de temps pendant lequel le xénon 135 continue d'être produit sans être dégradé par les neutrons car la réaction de fission est stoppée. Il faut normalement attendre un ou deux jours avant de pouvoir allumer de nouveau le réacteur, le temps que le xénon 135 se désintègre naturellement, car sinon, lors du redémarrage, tous les premiers neutrons produits sont absorbés par le xénon 135, et ne participent pas à la réaction de fission, ce qui interdit au début une montée en puissance du réacteur [18]. C'est cet « empoisonnement au xénon », en générant une forte instabilité du réacteur pour les faibles puissances, qui a été à l'origine de la catastrophe. En effet, pour contrecarrer la perte importante de puissance produite par l'empoisonnement au xénon, au rallumage du réacteur, les opérateurs de la centrale ont poussé la montée en puissance du réacteur au-delà de la limite autorisée, et juste après que le xénon avait été consommé par les neutrons de la fission nucléaire, ces derniers ont pu alors pleinement et brutalement participer à la fission, et la puissance a atteint en quelques secondes 100 fois la puissance normale de fonctionnement (300 000 MWth). L'élévation très importante de la température des barres de combustible, qui en a résulté, a conduit à la dissociation de l'eau en hydrogène / oxygène au contact du zirconium qui recouvre les barres, et conduisit à une très forte « explosion hydrogène », qui projeta en l'air la dalle qui recouvre le réacteur, et envoya du combustible nucléaire directement sur les toits des bâtiments de la centrale. Ces barreaux de combustible extrêmement chauds, projetés à l'air libre sur les toits, déclenchèrent des incendies, et envoyèrent un nombre colossal de radioéléments dans l'atmosphère. Les pompiers, les premiers sur le terrain, furent gravement irradiés. 20 heures après l'explosion, le graphite, présent en grande quantité dans ce type de réacteur, prend feu dans le cœur éventré du réacteur. Les flammes mesuraient 50 mètres de haut et contenaient des éléments hautement radioactifs qu'elles projetaient jusqu'à 1,5 km de haut. Des liquidateurs ont alors projeté des éléments absorbant les neutrons (du bore), ainsi que du sable, de l'argile, du plomb, afin d'étouffer l'incendie, à l'aide d'hélicoptères, au-dessus du brasier du réacteur. Le bore est un élément chimique qui a la propriété d'absorber les neutrons produits par une réaction de fission et donc d'empêcher que ces neutrons ne permettent la reprise d'une réaction nucléaire en chaîne, qui aurait dégagé une très grande quantité de chaleur et de radioéléments. Beaucoup des hommes qui effectuèrent ces largages

moururent rapidement des suites du syndrome d'irradiation aigu. Quand ils étaient au-dessus du réacteur, ces hommes recevaient en moyenne une irradiation de 150 mSv toutes les 8 secondes (soit 1,12 Sv / h, 3000 fois la dose maximale annuelle tolérée en France pour les travailleurs du nucléaire). Des liquidateurs sont chargés d'enlever les débris hautement radioactifs présents sur les toits des bâtiments. Malgré qu'ils aient été équipés de protections en plomb et de masques, et qu'ils ne soient restés que 90 secondes sur le toit du bâtiment, beaucoup de ces hommes sont morts de cancers quelques années après l'accident. Des spécialistes, dont le Pr Vassili Nesterenko, craignent que le corium (mélange de combustible nucléaire, de graphite et d'acier fondu à 2000 – 3000 °C) ne ronge la dalle de béton et atterrisse dans les sous-sols inondés de la centrale. Le béton fond à partir de seulement 600 – 700 degrés, et le corium est bien plus chaud. Au contact de l'eau froide, une explosion de vapeur provoquerait la dissémination massive de radioéléments à très grande distance de la centrale. Une nouvelle équipe de pompiers est envoyée pour pomper l'eau des sous-sols le plus rapidement possible.

Le 6 mai 1986, soit deux semaines après l'accident, les craintes se réalisent : le corium formé dans le réacteur s'effondre dans le sous-sol de la centrale, 20 mètres plus bas, après avoir percé l'épaisse dalle de béton qui soutenait le réacteur. Le regroupement du corium dans les sous-sols de la centrale fait craindre le pire. Les membres de l'Institut de l'Énergie Atomique de l'Académie des Sciences de Biélorussie ont calculé que 1300-1400 kg d'un mélange {uranium + graphite + eau} constituait une masse critique et qu'une explosion atomique de 3 à 5 mégatonnes (50 à 80 fois Hiroshima) pouvait se produire les 8 ou 9 mai 1986. Une telle explosion tuerait toute vie sur un rayon de 300 – 320 km (jusqu'à Minsk en Biélorussie) et rendrait l'ensemble de l'Europe inhabitable (Annexe 1). Pendant la deuxième moitié du mois de mai, 400 mineurs se relaient pour creuser en urgence un tunnel de 167 mètres accédant sous l'emplacement du réacteur 4, afin d'y construire une salle de 2 mètres de haut sensée accueillir un système de refroidissement à l'azote liquide. Ce système ne sera jamais réalisé, et à la place du béton sera coulé dans la salle, afin de stopper l'avancer du corium, et d'éviter qu'il ne rencontre une nappe phréatique, n'explose au contact de l'eau froide et ne pollue l'ensemble du réseau d'eau potable du pays.

Bien que la situation semble actuellement stabilisée à Tchernobyl, il faut savoir que :

- A plusieurs reprises, des flux de neutrons ont été détectés en provenance du réacteur accidenté de la centrale de Tchernobyl, preuve que le corium est proche de la criticité, qui peut conduire à l'explosion nucléaire.
- Le sarcophage construit en hâte dans les premiers mois suivant l'accident est en très mauvais état, il fuit. Si de venait brutalement recouvrir le corium situé 20 mètres plus bas, alors comme l'eau ralentit les neutrons, et donc favorise la réaction de fission, une arrivée brutale d'eau pourrait réactiver brutalement la réaction en chaîne, voire former un ensemble sur-critique comme c'est le cas pour une bombe atomique.
- Les hommes doivent en permanence injecter autour du corium un composé chimique qui réduit le risque de reprise de la réaction en chaîne, et pomper l'eau de pluie qui s'infiltre dans le sarcophage afin qu'elle n'atteigne pas le corium (risque d'explosion nucléaire) [19]
- Même à l'heure actuelle, le risque d'explosion nucléaire tardive n'est pas écarté car selon Vassili Nesterenko et Maurice Eugène André (Annexe 2), la sédimentation progressive du plutonium au fond du corium pourrait conduire à l'obtention d'une masse critique même des dizaines d'années après la catastrophe. Au moment de l'explosion, le réacteur 4 de Tchernobyl contenait environ 400 kg de plutonium. Il suffirait que seulement 6 kg de

plutonium (un demi-litre) se réunissent au fond du corium pour générer une explosion nucléaire.

Après un accident nucléaire, la stabilisation de la situation n'est atteinte qu'au pris d'une action humaine permanente. L'arrêt de cette gestion nous exposerait immédiatement à une remontée dramatique du relâchement de radioactivité dans l'atmosphère. Comment assurer cette gestion à long terme pour des centaines d'accidents en même temps même dans un contexte de chaos mondial ?

Cette série d'accidents et de catastrophes nucléaires est arrivée sur des réacteurs de conceptions très variées (RBMK à Tchernobyl, réacteur à eau pressurisée à Three Miles Island, réacteurs à eau bouillante à Fukushima), et dans des pays plus ou moins avancés sur le plan technologique.

La gestion d'une centrale nucléaire repose sur un vaste ensemble de techniques hautement spécialisées (physique nucléaire, dynamique des fluides, résistance des matériaux, ...) et sa gestion demande un savoir technologique très pointu. Le moindre problème technique apparaissant sur un assemblage aussi complexe peut très vite conduire à une catastrophe de grande ampleur. Il ne s'agit pas d'une technologie robuste.

Les récentes tempêtes solaires

1859 – Évènement de Carrington

Le 28 août 1859, une éruption solaire de très grande ampleur (appelée « Stewart Super Flare »), a produit de très nombreuses aurores boréales jusque dans les régions quasi-tropicales (Bahamas, Cuba), où il faisait jour en pleine nuit, et a gravement perturbé le réseau de télégraphie [20]. Des télégraphistes ont été victimes de violentes décharges électriques et des stations de télégraphie ont pris feu.

Le 1^{er} septembre, une deuxième éruption solaire survenait, appelée « Évènement de Carrington » et provoqua les mêmes dégâts que celle de la fin août. Les perturbations du réseau de télégraphie ont duré une semaine. Même déconnecté des batteries qui les alimentaient, les réseaux de télégraphie ont continué à fonctionner de manière totalement incontrôlée, suite à l'influence des puissants courants générés dans les sols par la tempête solaire [21].

La magnétosphère terrestre s'est fortement comprimée sous la pression du vent solaire, et n'était plus qu'à quelques milliers, voir centaines de km de la surface de la Terre par endroits (Le bouclier de la magnétosphère se situe à 60 000 km de la surface de la Terre en temps normal). Les variations brusques du champ magnétique terrestre ont engendré de puissants courants dans les sols et à la surface de la planète. Ces courants ont emprunté les zones les plus conductrices, en sous-sol et en surface, et en particulier les réseaux de télégraphie. 5% de l'ozone stratosphérique a été détruit par la tempête solaire. Les nitrates formés par les réactions chimiques à la suite de l'interaction entre le vent solaire et l'azote de l'atmosphère sont détectable dans les carottes glacières datant de cette époque.

Il s'agit des plus fortes séries de tempêtes solaires de mémoire d'homme, mais cette mémoire ne remonte qu'à quelques milliers d'années, ce qui est très peu, sur les 4,5 milliards d'année de vie du soleil – environ 1 millionième du temps écoulé depuis les débuts du système solaire – pour juger de la probabilité de survenue de ce type d'événement extrême. Il est peu probable que pendant cette période nous ayons assisté à l'événement le plus extrême que le soleil puisse produire, surtout que la force d'une tempête solaire ne dépend pas que du cycle solaire lui-même, mais aussi de l'intensité du champ magnétique terrestre, qui joue le rôle de bouclier protecteur et limite les effets des tempêtes magnétiques. Se baser sur des calculs probabilistes pour établir des statistiques sur la fréquence de tels événements est imparfait. Une période couvrant les 500 dernières années a été analysée à partir des carottes glacières attestant de la présence de nitrates produits par l'interaction du vent solaire avec l'atmosphère. Les scientifiques en ont déduit qu'une tempête comme celle de 1859 arrive en moyenne 2 fois par millénaire. Cependant, pendant cette période, le soleil a connu plusieurs cycles différents. Le cycle actuel, caractérisé par une augmentation de l'activité solaire hors norme accompagnée de minimum d'activité exceptionnellement bas, n'est pas représentatif de la période analysée, et correspond à des fréquences hautes d'apparition d'événements extrêmes.

1989 – Panne de courant au Québec

Le 13 mars 1989, une panne de courant qui dura 9 heures au Québec était provoquée par une éruption solaire de forte intensité 3 jours plus tôt. Cette panne de grande ampleur a été provoquée par la destruction d'un seul transformateur dans tout le pays. Le réseau électrique s'est effondré en seulement 25 secondes. Dans le New Jersey, un transformateur alimentant le réacteur 1 de la centrale nucléaire Salem-1 a été détruit (les conducteurs en cuivre ont fondu) suite à une surtension de 500 000 V induite par la tempête solaire [22].

Les réseaux électriques des pays situés à des latitudes élevées (Scandinavie, Alaska, nord de la Russie) ont également subi des perturbations.

Vulnérabilité des réseaux électriques et de communication

Actuellement, la complexité et l'interconnexion des différents réseaux (électrique, communication, eau potable, acheminement de l'énergie, ...) ne cessent de croître, en même temps qu'augmente leur instabilité et leur vulnérabilité. En témoignent par exemple les incidents du 4 novembre 2006 en Europe. En Allemagne, un opérateur éteint par erreur une ligne de haute tension située à proximité de la mer du Nord, pour permettre le passage d'un bateau de croisière. Cette extinction augmente la tension sur le réseau électrique voisin. A 22h10, des défaillances en cascade se déclenchent en Allemagne, en Autriche, en Croatie, en Espagne et jusqu'au Maroc. Le black-out toucha au total 450 millions de personnes [23].

Le 27 février 2010, un séisme majeur au Chili occasionnait un black out qui a touché 80% du pays pendant plusieurs heures. Un transformateur situé proche de l'épicentre a été détruit. Le ministre de l'Énergie, Ricardo Raineri, estime que l'instabilité du réseau électrique pourrait durer plus de 6 mois [24].

Le point faible du réseau électrique ce sont les transformateurs. Un seul transformateur détruit et c'est tout le réseau électrique d'un pays qui s'effondre pendant plusieurs heures. Si ceux-ci sont massivement détruits par une tempête solaire de grande ampleur, il n'y aura plus aucun moyen d'acheminer l'électricité. Le remplacement d'un gros transformateur nécessite de l'électricité pour le construire, et cela prendrait environ un an. Les générateurs de secours qui alimentent les pompes de refroidissement des centrales nucléaires fonctionneront jusqu'à ce que le carburant s'épuise (et encore, certains événements récents ont prouvé que les générateurs de secours ne sont pas toujours en état de fonctionner en cas de panne), mais sans électricité, il est impossible de pomper le gazole, de pomper et raffiner le pétrole. De plus, étant donné l'épuisement progressif des gisements pétroliers, et le fait que les nouveaux gisements découverts soient toujours plus profonds, plus durs à exploiter, et demandent toujours plus d'énergie pour être extraits, les conditions ne sont plus les mêmes qu'il y a 150 ans.

N'oublions pas non plus que depuis les événements de Carrington en 1859, le champ magnétique terrestre a diminué de près de 10% (environ 5% de baisse par siècle) [25], ce qui accroît la vulnérabilité de la Terre face aux tempêtes solaires, Il est probable qu'une tempête de même intensité que celle de 1859 mais ayant lieu aujourd'hui aurait un impact supérieur à celui d'il y a 150 ans.

La diminution du champ magnétique terrestre rend la Terre plus vulnérable qu'il à a 150 ans face à une tempête solaire.

Une éruption de ce type peut donc survenir à nouveau, et si elle a été capable de générer des courants de surface dans la croûte terrestre avec une telle intensité que les postes de télégraphie, somme toute très sommaires à l'époque, ont pris feu, on imagine les dégâts qu'elle pourrait faire à notre époque dans la multitude de réseaux électriques mondiaux interdépendants et très instables, et au niveau des composants électroniques omniprésents.

Prévisions de la NASA : maximum de risque en 2013

En mai 2003, la NASA et la NOAA prévoient une activité solaire tout à fait inhabituelle, avec des orages magnétiques du type de ceux qui ont été générés en 1859, car le niveau de minimum solaire qui sera atteint en 2013 sera comparable et ce type de minimum pouvant conduire à des éruptions solaires hors normes [26]. Le laboratoire ORNL, travaillant au service du Département de l'Énergie aux Etats-Unis, s'inquiète sérieusement des risques encourus pour les centaines de réacteurs nucléaires que compte la planète en cas de panne de courant durable, provoquée par une activité solaire hors norme [27]

La menace sur les réacteurs nucléaires

Que se passerait-il pour la sauvegarde des centrales nucléaires dans le monde, si une éruption solaire de très forte intensité, telle que celle de 1859, arrivait sur Terre et occasionnait de graves dommages aux systèmes électroniques tout en générant un black-out mondial ?

Il faut rappeler que le cœur du réacteur nucléaire est piloté à l'aide de programmes informatiques et qu'en cas d'orage magnétique de grande intensité, cela pourrait tout

simplement griller tout le système informatique. Les employés des centrales travailleraient alors en aveugle, comme ce fut le cas pendant l'incident de Forsmark en suède en 2006. En Suisse la IFSN, L'Inspection Fédérale de la Sécurité Nucléaire, assure que les centrales nucléaires du pays sont protégées contre les effets des tempêtes solaires, un blindage en cage de Faraday recouvre les bâtiments abritant les salles de contrôle et l'électronique, mais les réseaux électriques lui n'est pas protégé contre tempêtes magnétiques. Les autorités se rassurent cependant en partant du principe que la défaillance prolongée du réseau électrique est un événement hautement improbable. Le cas d'un black out durable n'est donc clairement pas envisagé ni souhaitable [28].

De plus, si de très nombreux transformateurs (voire tous en cas d'évènement extrême) sont hors service, et que la population sombre rapidement dans le chaos (ce fut le cas en quelques heures seulement de panne de courant à New York le 13 juillet 1977 [29]), comment prévoir l'acheminement permanent de carburant pour alimenter les générateurs diesels de secours [30] ? Tout en sachant que la plupart des véhicules actuellement en circulation contiennent beaucoup d'électronique endommagée par la tempête solaire...

Le monde compte environ 450 réacteurs nucléaires civils en service ou en maintenance et environ 250 réacteurs nucléaires militaires. En cas de black out mondial durable, et malgré les tentatives désespérées des hommes pour éviter les catastrophes nucléaires, faisons l'hypothèse qu'une centaine de réacteurs explosent (ce pourrait être la quasi-totalité, tout dépend du chaos de la société). En 1986, l'explosion du réacteur 4 de la centrale de Tchernobyl a rejeté de très nombreux radioéléments de périodes radioactives très variées.

Principaux radioéléments émis, et pourcentage que cela représente par rapport aux quantités présentes dans le réacteur

* 1 peta Bq = 10^{15} Bq = 27 000 Ci
 source : SFEN, Société Française d'Énergie Nucléaire [31]

Élément	période	activité(PBq)*	% relâchés
Krypton-85	10.7 a	33	100
Xénon-133	5.2 j	6500	100
Iode-131	8.04 j	1760	50
Iode-133	20.8 h	2500	50
Césium-134	2.06 a	54	30
Césium-137	30.0 a	85	30
Tellure 132	3.0 j	150	30
Strontium 89	50.5 j	115	3
Strontium 90	29.1 a	10	3
Ru-103	39 j	3770	3
Ru-106	368 j	73	3
Pu-239	24 000 a	0.03	3

Si on supposait une contamination comparable à Tchernobyl, soit l'émission totalisée de 15050,03 PBq, multiplié par 100 réacteurs = 1 505 000 TBq, alors si l'on divise ce nombre par la surface de la Terre (océans compris), l'on obtient le nombre incroyable de :

$$\frac{1\ 505\ 000}{4 \times \pi \times R^2} = \frac{1\ 505\ 000 \times 10^{15}}{4 \times 3,1416 \times 6\ 378\ 000^2} = 2,95 \text{ MBq} / \text{m}^2 = 2,95 \times 10^6 \text{ Bq} / \text{m}^2$$

Soit une valeur terriblement élevée de près de **3 millions de becquerels/m²**, proche de la valeur mesurée dans les 30 km de zone interdite autour de la centrale de Tchernobyl [31]

Maintenant, si l'on ne considère que des radioéléments de longue période (supérieure à 1 an), la contamination pour 100 accidents de type Tchernobyl par les éléments suivants : krypton 85, Césium 134, et 137, strontium 90, ru 106 et plutonium 239, donnerait $100 \times 255,03 \text{ PBq} = 25\,503 \text{ PBq}$:

$$\frac{25\,503}{4 \times \pi \times R^2} = \frac{25\,503 \times 10^{15}}{4 \times 3,1416 \times 6\,378\,000^2} = 49\,890 \text{ Bq / m}^2 \text{ à moyen terme}$$

C'est une contamination durable par des radioéléments de demi-vie supérieure à 1 an. Ce qui veut dire que des accidents nucléaires multiples, tels qu'ils pourraient être causés par un black out mondial, auraient la capacité de couvrir la Terre entière d'une contamination radioactive durable de plus de 50 kBq / m^2 , ou bien d'en couvrir près de 13,5% à des taux de 370 kBq / m^2 . Il faut savoir que 37 kBq / m^2 conduisent à une exposition externe d'environ 1 mSv / an (mais cela dépend du type de rayonnement), mais en négligeant la contamination interne provoquée par la consommation de nourriture qui pousse sur ces territoires contaminés.

Ainsi, l'explosion de 100 réacteurs nucléaires aurait la capacité de contaminer durablement 13,5% de la surface terrestre à des taux 10 fois supérieurs à la radioactivité naturelle. Sans compter la contamination interne, par consommation des végétaux ou des animaux vivant dans ces terrains, et qui accroîtrait significativement l'exposition des êtres vivants.

Et encore, j'ai basé ce calcul sur l'hypothèse d'une centaine d'explosions, sans tenir compte de la contamination par le combustible usagé stocké dans les piscines de désactivation, qui ne manquerait pas d'entrer en fusion lui aussi en cas de perte durable de l'alimentation électrique. Les piscines peuvent stocker davantage de combustible nucléaire que le cœur d'un réacteur. A Fukushima, la piscine du réacteur 4 contient une quantité de combustible correspondant à deux réacteurs. Cette contamination pourrait être 5 à 10 fois plus importante, si le nombre de réacteurs qui explosent est très supérieur à 100, et si l'on prend en compte les combustibles stockés dans les piscines, ainsi que l'incapacité des hommes à circonscrire les catastrophes...

Les pays portant les centrales accidentées, là où se concentreraient les radionucléides, ne seraient clairement plus habitables. Les centrales accidentées, hors de toute gestion humaine (quasiment impossible vu la désorganisation de la société), continueraient de rejeter une quantité phénoménale de radioactivité dans l'atmosphère. Vu le nombre d'accidents, les hommes ne pourraient peut être pas éviter que certains coriums ne deviennent sur-critiques et conduisent à une explosion nucléaire, qui aurait la capacité de contaminer un continent entier à des taux très élevés de radioactivité. Pensez à ce qui se serait passé au Japon si aucune intervention humaine n'avait été tentée pour limiter l'impact de l'accident à la centrale de Fukushima ?

Par ailleurs, même dans les zones faiblement contaminées l'excès de rayonnements multiplie le rythme des mutations génétiques dans la faune et la flore, et conduire à des effets imprévisibles sur le long terme. Les conséquences actuellement observées des faibles doses de radioactivité semblent pires que celles prévues à l'origine de l'accident de Tchernobyl. Des études [32,33,34,35] comparent le rythme des mutations des végétaux entre deux terrains de même composition, l'un à proximité de Tchernobyl, et un autre situé

dans une zone non contaminée. Les taux de mutations génétiques ont été multipliés par 6 dans la zone irradiée. Or l'évolution naturelle de la vie a besoin de temps pour sélectionner les gènes utiles nouvellement créés par les mutations aléatoires. Un taux aussi rapide à toutes les chances de faire apparaître des caractéristiques indésirables qui diminueront la robustesse des êtres vivants en zone même faiblement contaminée.

Conclusion

L'humanité pourrait survivre en quelques régions du monde, avant que la radioactivité ne se répande par les vents et les courants marins sur l'ensemble de la planète, et ne contamine les peuples survivants par la contamination interne. Mais la quantité de terres cultivables devenues inutilisables, car mortellement contaminées, nous précipiterait rapidement dans une famine sans précédent...

Le scénario est-il prévu par l'industrie nucléaire ?

Aux USA, quelques journaux relayent les inquiétudes du gouvernement et des industriels sur cette question, mais prendront-ils la décision de stopper immédiatement la production d'électricité à partir de centrales nucléaires ? Et ailleurs dans le monde ? En France par exemple ?

Posez cette question aux spécialistes, demandez-leur comment l'industrie nucléaire peut parer à une panne de courant de grande ampleur et durable, (qu'elle soit due à l'activité solaire ou à toute autre cause naturelle, telle qu'une tempête de glace de grande ampleur comme en connaît le Canada, une série de tempêtes cycloniques, etc.), et à une destruction partielle voire totale de leurs systèmes électroniques, causée par une éruption solaire hors norme ?

S'ils vous disent que certaines centrales peuvent résister, demandez-leur ce qui se passerait avec seulement une centaine d'accidents nucléaires sur la planète ?

Une éruption solaire de grande ampleur n'est pas juste une probabilité évaluée par des scientifiques, ce n'est pas un événement théorique et lointain, c'est déjà arrivé aux portes de notre monde moderne actuel. La tempête solaire de 1859 aurait très bien pu se produire 150 ans plus tard. Notre connaissance du soleil ne date que de quelques centaines d'année, grâce à la science moderne. Les premières études ne remontent qu'à -28 avant JC, lorsque les Chinois surveillaient et comptaient les tâches solaires, mais ces données ne fournissent qu'une ébauche de l'activité solaire sur les 2 derniers millénaires. Comment peuvent-ils vous assurer que l'énergie nucléaire est sûre ? Qu'il n'y aura jamais de tempête solaire capable de conduire à un effondrement brutal et durable des réseaux électriques dans le monde ?

Pensez à la Terre. Pensez à ses forêts millénaires, ses plus belles plages, à la beauté grandiose des fjords norvégiens. Pensez à la douceur des soirs d'été. Pensez aux milliards d'années qu'il aura fallu pour en arriver à un tel degré de complexité du vivant. Notre héritage, notre richesse, c'est la vie ! Imaginez-vous une seule seconde que notre planète puisse être mortellement radioactive ? Que des continents entiers deviennent définitivement inhabitables à l'échelle d'une vie d'homme et sur plusieurs générations ? Pour des milliers d'années ?

Il est criminel de connaître ce risque, et de continuer à exploiter l'énergie nucléaire. Nous sommes en train de jouer à la roulette russe avec la vie sur Terre.

Quand la prochaine tempête solaire hors norme surviendra, cette fois-ci, ce ne serait pas une étendue grande comme une région française qui serait condamnée par la radioactivité, comme c'est actuellement le cas à Tchernobyl e Fukushima, des continents entiers deviendraient durablement inhabitables et les radionucléides contamineraient à moyen terme l'ensemble de la planète, portés par les vents ou les eaux de ruissellement.

Les quelques pays qui ont fait le choix de l'énergie nucléaire exposent tous les autres états du monde, tous les hommes, à ces conséquences gravissimes, dues à une simple panne de courant qui se serait prolongée au-delà d'une semaine !

Je lance cet appel car j'ai peur. Peur que dans notre imprévoyance, notre aveuglement collectif, nous ne condamnions définitivement ce joyau de planète qu'est la Terre, et toute la merveilleuse diversité et la richesse du vivant qu'elle porte. Si vous aimez cette planète, si vous aimez vos enfants, aidez-moi à transmettre ce message. Nous devons de toute urgence arrêter immédiatement les centrales nucléaires, avant que le pire ne survienne, et pratiquer des mesures d'économie d'énergie : éclairage urbain inutile, appareils qui consomment sans être indispensables, standardisation des chargeurs, appareils électroniques, etc. Nous devons en urgence changer notre mode de vie. Depuis la catastrophe de Fukushima, le Japon n'a plus que 9 réacteurs en fonctionnement sur 54, et pratique des économies drastiques d'énergie, change rapidement son mode de vie.

Nous pouvons, nous DEVONS y arriver, pour la vie, pour la Terre !

Parce que la merveilleuse chance que nous avons d'exister vaut bien plus que tout l'argent gagné à exploiter l'énergie nucléaire !

Le jour ou la prochaine super éruption solaire aura lieu, si nous n'avons pas éteint toutes les centrales nucléaires et sécurisé au mieux les combustibles usagés afin que le refroidissement puisse s'effectuer même en l'absence de réseau électrique extérieur, il sera **DÉFINITIVEMENT TROP TARD.**

Comment pourrions-nous ne rien faire, en connaissant ce risque ?

Rachel LANGLET



Références :

- [1] http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2008/06may_carringtonflare/
- [2] http://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_de_r%C3%A9acteurs_nucl%C3%A9aire
- [3] <http://www.ensi.ch/fr/2011/12/13/les-centrales-nucleaires-sont-armees-contre-les-tempetes-solaires/>
- [4] <http://www.laradioactivite.com/fr/site/pages/lerefroidissementducombustible.htm>
- [5] Alain VICAUD – EDF, Division Production Nucléaire, 17 octobre 2007 – SHF
<http://www.physagreg.fr/Cours3eme/nouveau-programme/elec3/electricite3-chap4-besoin-eau-centrale-nucleaire.pdf>
- [6] <http://enseignants.edf.com/mod/preparez/le-cycle-de-vie-du-combustible-nucleaire,2294?page=1>
- [7] <http://www.laradioactivite.com/fr/site/pages/laradioactivitedumox.htm>
- [8] <http://www.sciencesetavenir.fr/fondamental/20110318.OBS9917/les-piscines-de-fukushima-une-crise-inedite-dans-les-centrales-nucleaires.html>
- [9] <http://tempsreel.nouvelobs.com/planete/20110316.OBS9797/fukushima-tout-se-joue-dans-une-piscine.html>
- [10] <http://archives.lesechos.fr/archives/2011/lesechos.fr/03/16/0201227216054.htm>
- [11] Conférences de Bertrand BARRÉ (Conseiller chez AREVA), et de Michel CHOUHA (IRSN) CNAM, 25 novembre 2009 « Three Mile Island et Tchernobyl : conséquences et enseignement ». http://www.sfen.org/IMG/pdf/ST1_nov09_tmi_tchernobyl.pdf
- [12] Rapport préliminaire de l'organisme de sûreté nucléaire suédois concernant Forsmark 1 www.ski.se
- [13] Rapport scientifique d'activité 2002 de l'IRSN p.28
- [14] HIRSCH, Helmut, Nuclear Reactor Hazards Report. p.121.
<http://www.greenpeace.org/international/Global/international/planet-2/report/2006/8/nuclearreactorhazards.pdf>
- [15] Rapport de l'IPSN, Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire, 17 janvier 2011
- [16] Sortir du Nucléaire n°32, septembre 2006.
<http://www.sortirdunucleaire.org/sinformer/revue/pdf/sdn32.pdf>
- [17] http://www.svd.se/nyheter/inrikes/ren-tur-att-det-inte-blev-hardsmalta_340294.svd
- [18] Cours de Physique des réacteurs de Peter Baeten, laboratoire in2p3,
<http://www.cenbg.in2p3.fr/heberge/EcoleJoliotCurie/coursJC/Joliotcurie2006.pdf>
- [19] Organisation for Economic Co-operation and Development, <http://www.oecd-neo.org/rp/chernobyl/c07.html>
- [20] E. W. Cliver and L. Svalgaard, Solar Physics (2004) 224: 407–422,
<http://www.leif.org/research/1859%20Storm%20-%20Extreme%20Space%20Weather.pdf>
- [21] http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2008/06may_carringtonflare/

- [22] <http://www.nerc.com/files/1989-Quebec-Disturbance.pdf>
- [23] Science et Vie de juillet 2011, « Réseaux vitaux : attention fragile », page 90
- [24] <http://www.romandie.com/infos/news2/100315194857.cuwn44ft.asp>
- [25] Fall in Earth's Magnetic Field Is Erratic, David Gubbins, Adrian L. Jones and Christopher C. Finlay, Science 312: 900-902, 2011.
- [26] http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2009/29may_noaprediction/
- [27] <http://uk.ibtimes.com/articles/193517/20110806/solar-storm-catastrophic-nuclear-threat-united-states-satellite-communications-nuclear-regulatory-co.htm>
- [28] IFSN : <http://www.ensi.ch/fr/2011/12/13/les-centrales-nucleaires-sont-armees-contre-les-tempetes-solaires/>
- [29] http://archives.radio-canada.ca/economie_affaires/energie/clips/5043/
- [30] <http://www.ibtimes.com/articles/194166/20110808/solar-storms-severe-solar-storms-earth-paralyse-carrington-event.htm>
- [31] <http://www.sfen.org/Accident-de-Tchernobyl-Deuxieme>
- [32] <http://www.guardian.co.uk/world/2000/oct/05/jamesmeek>
- [33] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3164369/>
- [34] <http://www.plantphysiol.org/content/135/1/357.full.pdf+html>
- [35] Kovalchuk O., Arkhipov A., Dubrova Yu., Hohn B. and Kovalchuk I. Wheat mutation rate after Chernobyl (2000) Nature 407, 583-584.

Annexes

Annexe 1 : Risque d'explosion nucléaire immédiat

Lettre de Vassili Nesterenko à Wladimir Tchertkov expliquant le risque d'explosion nucléaire dans le réacteur accidenté de Tchernobyl. Source : association AIPRI (Association Internationale pour la Protection contre les Rayons Ionisants)

Institute of Radiation Safety

BELRAD

Институт радиационной безопасности

Staroborissowski trakt, 11,
220114 Minsk, Belarus
Tel. (375-17) 237-03-96, 237-03-89, Fax 237-03-66

Республика Беларусь 220114 г. Минск,
Староборисовский тракт, 11
Тел. (375-17) 237-03-96, 237-03-89, факс 237-03-66

e-mail: v_nester@hmti.ac.by, vnester@tut.by, belrad@hmti.ac.by, belrad@nsys.by

№ B-200
от 22.04.05

Suisse
A Wladimir Tchertkov
E-mail: candreoli@vtx.ch

Wladimir!

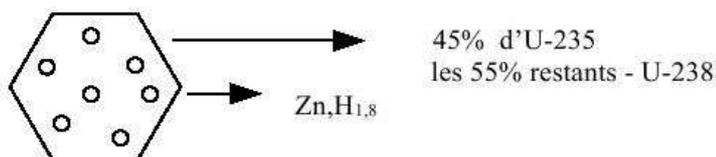
Je voudrais répondre point par point à monsieur Maurice André.

L'état premier de la composition en isotopes du carburant du réacteur RBMK est bien connu. Le réacteur avait fonctionné pendant 3 ans lorsque l'accident a eu lieu. On sait que dans les réacteurs de ce type ne se produit pas seulement la fission de l'U-235, mais les neutrons aussi participent à la réaction $U-238 + n \rightarrow Pu-239$. Au moment de l'accident 300 à 400 kg de ce plutonium-là s'était formé dans le réacteur.

L'affirmation de Maurice André que pour avoir une explosion nucléaire il faut disposer d'une masse de métal U 235 pur au moins à 94 % et à raison de 25 kilos directement réunis d'un seul tenant est absolument erronée. Ce raisonnement ne concerne que les bombes où on emploie de l'uranium 235 ou du plutonium de grande concentration.

Je parle, moi, de la possibilité de formation d'une masse critique à l'intérieur du réacteur lorsqu'un emballement nucléaire est possible. Une telle masse d'uranium, se trouvant dans un espace fermé, peut provoquer une explosion.

Pour cela il n'est pas nécessaire d'avoir de grandes quantités. Par exemple, dans le réacteur mobile « Pamyр » [projeté et construit par Nesterenko. w.t.] en présence d'uranium enrichi à 45%, de l'hydrure de zirconium comme modérateur de neutrons ($Zr, H_{1,8}$) et d'une matrice de carburant à 40% de Cr + Ni, la masse critique n'était que de 13-15 kg d'U-235. C'était un réacteur de 500mm de diamètre et de 500mm de hauteur sous forme de 108 cassettes hexagonales.



Dans le réacteur RBMK 1400 kg d'un mélange homogène de 1,8% d'U-235, 98,2% d'U-238, de graphite + l'eau auraient constitué la masse critique.

C'est pourquoi l'éventualité d'une explosion nucléaire au moment de l'accident existait.

Une telle masse critique pouvait se former lors de la fusion du carburant et pendant la combustion du graphite, et cette masse pouvait comme une lave volcanique s'écouler dans le réservoir de béton sous le réacteur et y créer une masse critique, c'est à dire que les conditions nécessaires pour une explosion nucléaire auraient été réunies.

Ceci se confirme par l'enregistrement de neutrons à l'intérieur du sarcophage dans les premières années après l'accident (un indice que de l'uranium fondu, du graphite et de l'eau s'étaient réunis quelque part en une masse proche des grandeurs critiques).

Je suis tout à fait d'accord avec Maurice André que la sédimentation du plutonium fondu sous le réacteur peut provoquer une explosion nucléaire des dizaines d'années après l'accident. Voilà pourquoi il est indispensable de vider le réacteur de Tchernobyl en ruines de tout le carburant nucléaire qui s'y trouve encore.

Salut, Vassili.

Annexe 2 : Risque d'explosion nucléaire tardive

Échange entre Maurice Eugène ANDRE et Vassili NESTERENKO en 2005. Source : association AIPRI (Association Internationale pour la Protection contre les Rayons Ionisants)

Lettre de Maurice Eugène André à Vassili Nesterenko.

Si le magma présent dans la centrale de Tchernobyl ne risquait pas selon moi d'exploser 'nucléairement' au moment de l'accident, par contre, ce qui pourrait arriver maintenant c'est une explosion nucléaire tardive. Ceci proviendrait du fait que du plutonium du magma (le Pu fond à seulement 641 degrés C°) sédimente petit à petit dans le fond du magma actuel car il est pratiquement le plus lourd des métaux présents là et que se réunisse goutte à gouttes au fond du magma un volume liquide d'un seul tenant de seulement 6 kilos de Pu 239 (suffisant pour amorcer une explosion nucléaire) ... ce qui représente un faible volume, car 1 litre de Pu 239 pèse 19,84 kilos et 6 kilos du Pu occupent un volume d'environ 0,330 litres seulement, soit moins de 1/3 de litre de Pu 239.

Ceci signifie que Tchernobyl pourrait maintenant exploser nucléairement si ces conditions plutonigènes se réunissent.

Maurice-Eugène ANDRE, ancien officier instructeur en protection nucléaire (NBCR) (ancien de la Belgian Air Force).

Réponse de Vassili Nesterenko (Protocole 200, le 22.04.2005. Institut Belrad)

Je suis tout à fait d'accord avec Maurice André que la sédimentation du plutonium fondu sous le réacteur peut provoquer une explosion nucléaire des dizaines d'années après l'accident. Voilà pourquoi il est indispensable de vider le réacteur de Tchernobyl en ruines de tout le carburant nucléaire qui s'y trouve encore.

Salut, Vassili.