

# À CHINON, EDF PRÉPARE LA BOMBE À NEUTRONS ?

*Alors que la France a trop d'électricité, pourquoi EDF remet-elle soudain en route Chinon A3, la plus vieille et la moins sûre de ses centrales nucléaires ? C'est sans doute que la production recherchée n'est pas l'électricité mais le plutonium. Et il semble bien que si l'armée a un besoin nouveau de plutonium, ce ne peut être que pour la bombe à neutrons.*



**C**inq robots commandés à prix d'or par EDF sont en train de réparer les structures rouillées du plus vieux réacteur nucléaire français, Chinon A3. Malgré le secret opaque qui couvre les motifs de cette opération, tout semble indiquer qu'elle est destinée à accroître la production de plutonium militaire, dans la perspective de la mise en service de la bombe à neutrons.

L'affaire serait peut-être demeurée dans l'ombre si la firme qui a construit les robots, Hispano Suiza, avait résisté à la tentation d'en faire sa publicité. Il faut dire qu'il s'agit d'une prouesse technologique. Sorte de serpent de 12 mètres de long, le robot s'introduit dans un tube de 24 cm de diamètre et plonge presque jusqu'au cœur du réacteur, dans une zone que les radiations et la température rendent inaccessible à l'homme. Là son bras articulé répare les pièces corrodées ou en met de nouvelles, aidé le cas échéant par le bras d'un robot

jumeau descendu par un autre tube.

C'est à la fin de 1982 qu'EDF a passé commande de ces belles machines à Hispano Suiza, filiale de la grande firme aéronautique SNECMA. Pour 230 millions de francs de l'époque. Afin de roder les robots, il fallut construire sur le site une maquette du réacteur grandeur nature. L'opération prit du retard. Au total, 440 000 heures de travail avaient été officiellement effectuées en janvier 1986. Mais depuis, les robots sont à l'œuvre, et tant EDF que le Commissariat à l'énergie atomique (CEA), véritable commanditaire et principal intéressé, semblent satisfaits de l'avancée des travaux. Arrêtée depuis le 4 mai 1984, Chinon A3 doit redémarrer cet automne.

Lorsqu'un reportage sur ce robot fut présenté à la télévision, en avril dernier, de bons esprits se demandèrent quelle mouche avait bien pu piquer les responsables d'EDF. Pourquoi donc aller faire cet exercice de haute voltige dans un réacteur archaïque dépourvu d'intérêt économique, dont le

PAR JACQUELINE DENIS-LEMPEREUR  
ET OLIVIER POSTEL-VINAY

déclassement définitif était prévu pour 1988 ? Pourquoi faire redémarrer une centrale qui est, du point de vue de la sécurité, la plus dangereuse des centrales françaises ?

Reprenons ces différents points. L'essentiel du parc de centrales nucléaires françaises est composé de centrales PWR (réacteur à eau pressurisée), fabriquées selon le procédé de la firme américaine Westinghouse. Cette situation résulte de la décision, prise en 1969, d'abandonner la filière précédente à uranium naturel, graphite et gaz carbonique (UNGG) dont relève Chinon A3.

Pourquoi la filière UNGG avait-elle été abandonnée ? Ce n'était pas pour le plaisir. C'était une filière bien française, mise au point par les ingénieurs du CEA. On y avait englouti des milliards. Mais du point de vue de la rentabilité, ces réacteurs ne tenaient pas la comparaison face aux PWR. Rappelons que les centrales nucléaires reposent sur le principe de la fission. Des atomes très lourds, comme ceux de l'uranium 235, se scindent et libèrent des neutrons. Ces neutrons libérés à grande vitesse (25 000 km/s) vont à leur tour provoquer la fission d'autres noyaux d'uranium : c'est la réaction en chaîne. Pour que cette réaction reste contrôlable et modulable, on dispose autour de l'uranium un matériau comportant des noyaux légers capables de ralentir les neutrons : c'est le modérateur. Dans le cas des centrales PWR, le modérateur est tout simplement de l'eau. Dans les centrales du type Chinon A3, le modérateur est du graphite (un charbon très pur). C'est ainsi qu'à Chinon A3, les cartouches d'uranium sont introduites par séries de 15 dans plus de 3 000 canaux verticaux percés dans un empilement de 2 500 tonnes de briques de graphite.

C'est la chaleur dégagée par les fissions en chaîne qui est récupérée pour produire de la vapeur, laquelle actionne des turbines qui fourniront l'électricité. Cette cha-

## LE SAUVETAGE D'UN MONSTRE

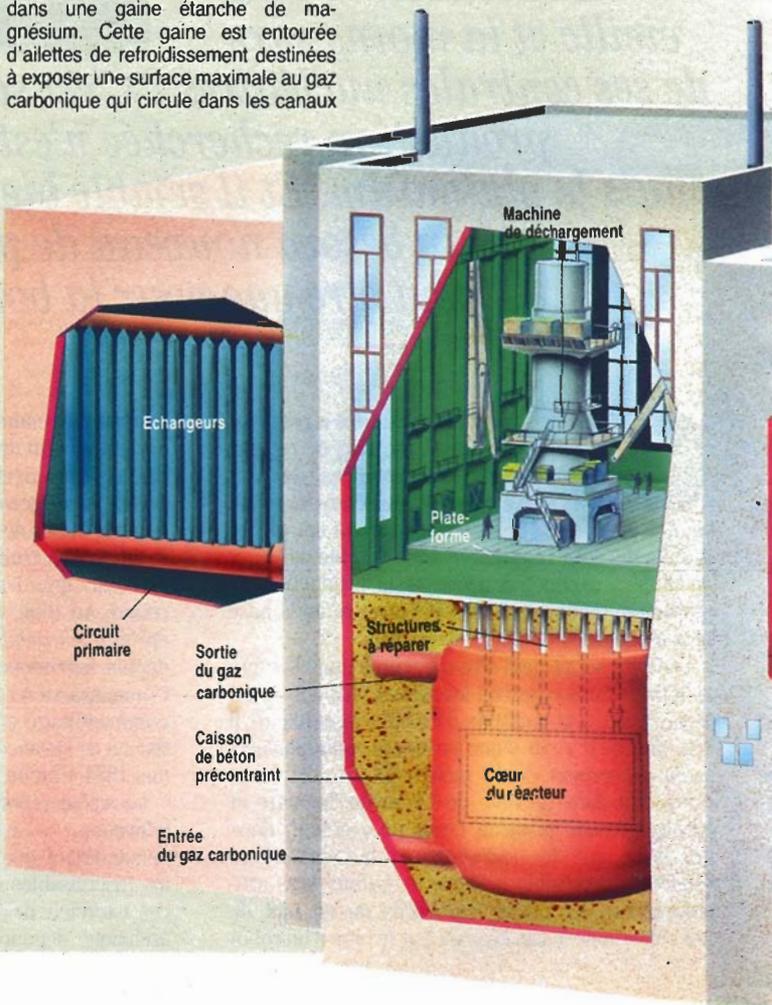
A l'intérieur d'un gigantesque cube de béton précontraint d'une trentaine de mètres de côté et de 5 mètres d'épaisseur, dans une cavité de 19 mètres de diamètre sur 21 mètres de hauteur, se trouve le cœur de Chinon A3. Cette cavité est occupée par un empilement de 2 530 tonnes de briques de graphite, de section hexagonale, qui s'emboîtent les unes dans les autres par un système de clavettes et reposent sur une sole en forme de coque.

Ces colonnes de graphite sont percées de trous réguliers sur toute leur longueur : 3 264 canaux en tout d'une quinzaine de centimètres de diamètre chacun. La majorité de ces canaux est destinée à recevoir les cartouches de combustible, soit 445 tonnes d'uranium naturel sous forme de métal. Dans un canal sont enfermées 15 cartouches de 60 cm de long chacune, contenant un barreau d'uranium de 4 cm de diamètre dans une gaine étanche de magnésium. Cette gaine est entourée d'ailettes de refroidissement destinées à exposer une surface maximale au gaz carbonique qui circule dans les canaux

pour récupérer la chaleur dégagée par la fission de l'uranium. Le tout est protégé par un cylindre de graphite. Le débit du gaz carbonique est 8 000 kilos à la seconde et sa pression est de 30 bars.

Le circuit de gaz carbonique traverse une batterie d'échangeurs gigantesques comprenant près de 200 éléments, où la chaleur est transférée à l'eau d'un autre circuit, étanche au premier et qui traverse également les échangeurs. L'eau devient alors vapeur et va entraîner le turbo-alternateur qui produit du courant électrique.

On peut accélérer ou freiner la réaction (et donc contrôler la puissance) en faisant plus ou moins descendre, dans des canaux spéciaux dépourvus de combustible, des barres de contrôle et de sécurité faites de carbure de bore, qui a la propriété d'absorber les neutrons. Le flux neutronique, en moyenne



30 000 milliards de neutrons au cm<sup>2</sup> par seconde, n'étant pas constant d'un point du réacteur à l'autre, ces barres le régulent en permanence.

Une lourde machine de manutention (550 tonnes) se déplace au-dessus du réacteur, chargeant et déchargeant en continu le combustible, à raison de 2 à 3 canaux par jour.

Vers 1975, on découvrit qu'à partir d'une certaine température, de l'ordre de 400 °C, le gaz carbonique oxydait certaines pièces métalliques à l'intérieur du réacteur des centrales graphite-gaz (observations faites en Angleterre et en Italie), risquant d'entraîner une rupture des assemblages d'acier boulonnés ou soudés ; il a donc fallu réduire la température du gaz carbonique de façon à ne pas dépasser 360 °C. Ce qui revenait à réduire la puissance de Chinon A3, rendu infirme dès sa jeunesse. Au lieu des 480 MWe prévus, elle ne pourra jamais dépasser 360 MWe.

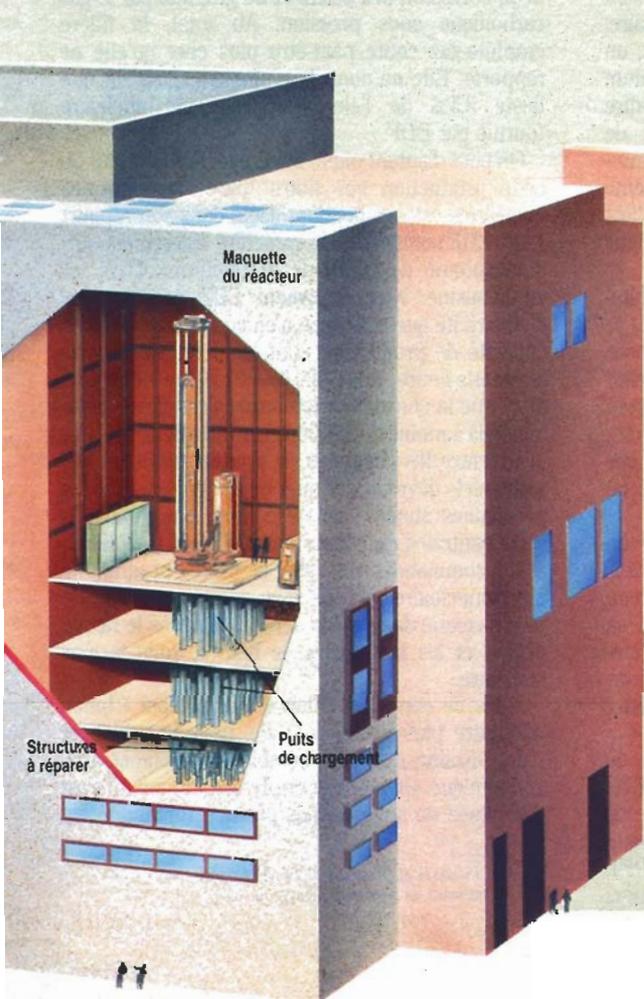
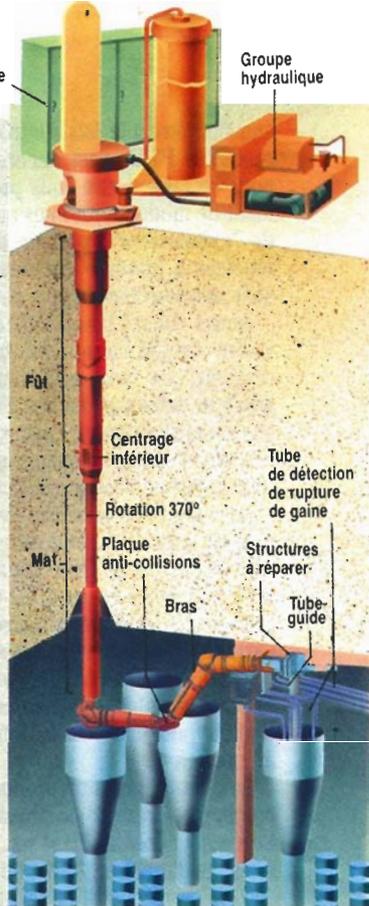
En 1980, malgré cette mesure, l'oxydation affecte quand même tant les soudures que la boulonnerie des structures internes supérieures de

l'empilement de graphite au cœur de Chinon A3. Les tubes de détection de rupture de gaine risquent ainsi de se détacher de leur support ou de basculer, menaçant d'obstruer le passage des barres de combustible ou des cartouches de contrôle lors du chargement-déchargement. De plus, on risque de perdre des informations précieuses sur d'éventuelles ruptures de gaine si le système est faussé.

Baptisée ISIS (intervention sur les structures internes supérieures), l'opération de sauvetage commandée par EDF à Hispano Suiza est spectaculaire. Chaque robot, qui pèse trois tonnes, dispose de trois coudes et de trois poignets lui autorisant 8 degrés de liberté, c'est-à-dire huit mouvements différents.

Au bout des bras peuvent être accrochées des têtes de travail spécialisées et très perfectionnées, de 35 à 70 kilos, pouvant relever la topographie des zones à réparer, décaper, souder, polir, manipuler...

Sur le site, à côté du réacteur, a été



construite une maquette en grandeur réelle, correspondant à un immeuble de 20 étages, destinée à l'apprentissage des robots avant leur intervention dans le réacteur lui-même. Pour accéder aux structures endommagées, les robots se fauillent à travers l'un ou l'autre des 109 puits de chargement de 24 cm de diamètre et de 7 mètres de profondeur.

- Première étape : repérage des lieux dans le réacteur à l'aide d'une caméra.
- Deuxième étape : reconstitution des lieux dans la maquette.
- Troisième étape : apprentissage sur la maquette.
- Quatrième étape : réparation réelle en recopiant les gestes appris sur la maquette, avec toutefois une pointe d'"intelligence" en plus qui permet au robot d'improviser et de corriger sa position grâce à des palpeurs dans la phase finale d'accostage.

La première intervention de télémétrie dans le réacteur et de recopie sur la maquette a eu lieu l'été dernier et la première réparation s'est déroulée fin février, début mars. Il ne s'agit pour le moment que d'un des 19 supports de tuyauterie les plus endommagés. Sur quelque 80 au total. Il y a un millier de pièces à poser en tout !

leur doit être à la fois contrôlée et captée. Dans les réacteurs PWR, c'est encore l'eau qui est utilisée pour ce faire. L'eau sous pression sert non seulement de modérateur, mais aussi de refroidisseur et de "caloporteur" (porteur de calories). Dans un réacteur à graphite ces deux dernières fonctions sont assurées par du gaz carbonique.

Ainsi, dans Chinon A3, quatre souffleries envoient du gaz carbonique froid dans le cœur du réacteur. Le gaz carbonique circule entre le graphite et les cartouches d'uranium, capte la chaleur de la réaction en chaîne, ressort du cœur et va chauffer l'eau de l'échangeur de chaleur. L'eau se transforme en vapeur qui va actionner les turbines.

Les premières centrales françaises à graphite-gaz avaient surtout un objectif militaire. Elles furent construites par le CEA à Marcoule : Marcoule G1, mise en service en 1956, G2 (1959) et G3 (1960). À l'époque, le charbon, le pétrole bon marché et les barrages hydrauliques suffisaient à satisfaire les besoins d'électricité. Les centrales graphite-gaz étaient spécialement conçues pour produire le plutonium nécessaire à la fabrication des bombes atomiques.

Le plutonium est un produit obligé de la réaction en chaîne. Un zeste de physique est ici nécessaire. Le combustible de base est l'uranium, en fait, un mélange d'uranium 238 et de son isotope l'uranium 235. Ce dernier est spontanément fissile, c'est-à-dire qu'il se casse en libérant des neutrons et de l'énergie. L'uranium 238 se transforme en plutonium 239 en capturant un neutron. C'est ce même plutonium 239 qui assure la réaction en chaîne dans l'explosion d'une bombe A, ou encore dans l'amorçage d'une bombe H.

Il ne fait aucun doute que les centrales graphite-gaz ont satisfait les militaires. Elles ont produit le plutonium nécessaire à la constitution de la force de frappe française. La question de la rentabilité économique ne se posait guère. Quant aux problèmes de sécurité, ils étaient couverts par le secret défense. Mais lorsqu'il s'est agi d'adapter ces centrales à la production rentable d'électricité civile, le tableau changea du tout au tout.

La direction du programme Chinon, lancé en 1957, est confiée à EDF. Celle-ci pense pouvoir dominer les problèmes comme elle a dominé ceux des barrages hydrauliques. Elle n'en fait qu'à sa tête, juge inutile de confier une responsabilité majeure à un industriel, et saucissonne les commandes en vertu du vieux principe : « diviser pour mieux régner ».

Les incidents se multiplient et font la joie du *Canard enchaîné*. Deux exemples. En dépit de nombreuses mises en garde, EDF avait décidé de construire en acier et non en béton le caisson entourant le cœur du premier réacteur, EDF1. Résultat : en février 1959, presque terminé, celui-ci

se fissure sur les deux tiers de son diamètre. Sept ans plus tard, en 1966, le général de Gaulle se propose d'inaugurer en grande pompe EDF3 (ce même Chinon A3 dont il est aujourd'hui question). Cela inquiète tellement EDF que son PDG parvient à convaincre le général de n'en rien faire, et d'aller plutôt inaugurer à la place l'usine marémotrice de la Rance. C'était plus sûr ! Bien lui en prit : huit jours avant la date prévue, une avarie mettait le réacteur en panne (1).

C'est donc très logiquement qu'en novembre 1969 le président Pompidou décida d'abandonner la filière française et de passer aux PWR. Mais qu'allait devenir les réacteurs à graphite-gaz ? Cinq ont été déclassés : les trois de Marcoule, ainsi que Chinon 1 et Chinon 2. Il en reste quatre : Chinon 3, Saint-Laurent 1, Saint-Laurent 2 et Bugey 1. Les trois derniers sont d'une conception un peu plus moderne, mais leur histoire est émaillée d'incidents. Saint-Laurent A1 et A2 ont l'un et l'autre connu un début de fusion du cœur, le premier en 1969, le second en 1980. Bugey 1 fonctionne au ralenti, car on a dû limiter la température de sortie du cœur, donc la puissance du réacteur, en raison de la corrosion des aciers et du graphite par le gaz carbonique sous pression. Au total, la filière graphite-gaz coûte peut-être plus cher qu'elle ne rapporte. Elle ne contribue plus que pour un modeste 3,5 % de l'électricité d'origine nucléaire fournie par EDF.

On peut d'autant plus s'interroger sur la valeur de cette production que notre "parc" de centrales nucléaires est surabondant. Déjà dans son rapport 1984, EDF soulignait « le caractère légèrement surdimensionné de l'outil de production ». C'est un euphémisme. Non seulement EDF produit plus d'électricité que la France n'en consomme, mais sa capacité de production était, en 1985, de 450 000 gigawatts-heure, dont 220 000 d'origine nucléaire, alors que la consommation totale s'est élevée cette année-là à moins de 280 000 gigawatts-heure (2). Cet écart entre les capacités de production et les besoins réels devrait continuer de s'accroître dans les prochaines années : on ne compte pas moins de seize centrales en construction ! Une dix-septième a été commandée en 1986, et notre "programme électronucléaire" prévoit d'en commander une de plus chacune des années suivantes. Après le fleuve de lait et les montagnes de beurre, voilà la mer nucléaire.

Dans ce contexte, l'idée d'aller retaper Chinon A3, notre plus vieille centrale, pour la prolonger d'une dizaine d'années, semble étrangement anti-économique. On pourrait croire que Chinon A3 s'est distinguée de ses cousines par une rentabilité ex-

(1) J.-F. Picard & al., *Histoire de l'EDF*, Dunod, 1986.

(2) En estimant un facteur de charge de 70 %.

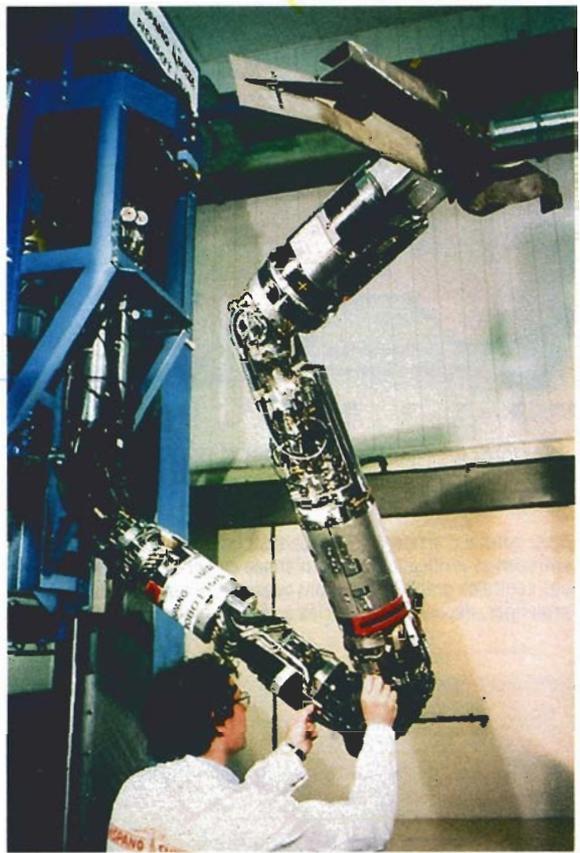
ceptionnelle, et qu'il serait dommage de ne pas lui accorder le droit de survie qu'elle mérite. Mais ce n'est pas du tout le cas ! Elle figure bonne dernière au palmarès du rendement nucléaire. Au total, elle n'a fonctionné, depuis 1966, que pendant la moitié de ses heures de service théoriques (89 793 au lieu de 160 560 depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1968). Encore n'a-t-elle, la plupart du temps, fonctionné qu'aux deux tiers de ses capacités affichées. Avant son arrêt en mai 1984 — arrêt que d'aucuns crurent définitif — elle ne fournissait pas plus d'1% de l'électricité d'origine nucléaire en France.

Le plus étrange dans cette obstination à renflouer ce vieux navire est qu'il fait eau de toutes parts. Comme nous l'avons dit, c'est probablement la moins sûre de nos centrales. C'est la seule, en tout cas, dont une partie du circuit primaire n'est pas protégée par une enceinte en béton. Comme celle de Tchernobyl, en cas d'incident même relativement bénin dans le cœur, les produits radioactifs qui se répandent dans le gaz carbonique ne sont séparés de l'atmosphère que par les tuyauteries des échangeurs de chaleurs.

Quel type d'incident ? Par exemple, la rupture d'une des quelque 45 000 gaines de magnésium qui forment la paroi des cartouches d'uranium. Ces gaines laissent passer les neutrons qui vont interagir avec le graphite et se ralentir, mais elles sont censées ne rien laisser passer d'autre. Si l'une d'elles se fissure, les produits de fission risquent de se répandre dans le gaz carbonique. Celui-ci entre en contact avec l'uranium et l'oxyde en quelques minutes, ce qui a pour effet de faire gonfler la gaine et de la déchirer davantage. En retour, la gaine gonflée peut obturer le canal où elle se trouve, empêcher le passage du gaz carbonique (qui sert de refroidisseur) et, le cas échéant, provoquer un début de fusion de l'uranium.

C'est pourquoi chacun des quelque 3 000 canaux où sont empilées les cartouches de combustible est équipé d'un dispositif de "détection de rupture de gaine" (DRG). C'est un tube d'acier inoxydable, gros comme le doigt. Quand un de ces tubes contient des produits de fission, on sait tout de suite qu'une gaine s'est rompue et dans quel canal. C'est l'avarie d'un tube DRG qui mit Chinon A3 en panne au moment où le général de Gaulle se proposait de l'inaugurer. C'était une erreur de conception. Lors des essais à chaud, les tubes DRG se déformaient. Il fallut les modifier.

Aujourd'hui, c'est la corrosion par le gaz carbonique des supports métalliques de ces tubes DRG qui justifie l'intervention des robots d'Hispano Suiza. Ce problème de corrosion de l'acier par le CO<sub>2</sub> n'est d'ailleurs pas propre à Chinon A3. Il se rencontre sur toutes les centrales à graphite-gaz. Il oblige depuis dix ans à limiter la température de sortie du CO<sub>2</sub> à 360°, ce qui n'est possible qu'en

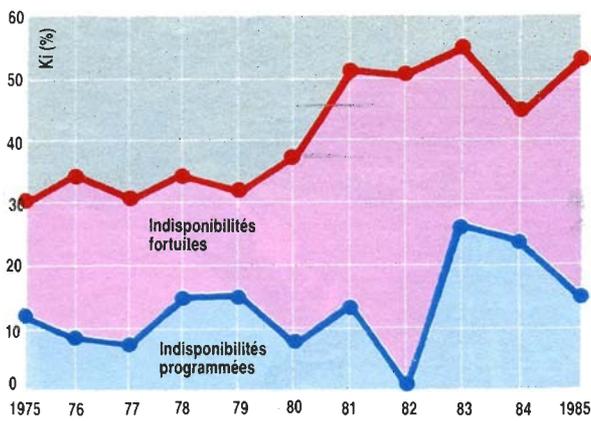


Ces bras articulés de robots géants (12 m) permettent des réparations près du cœur du réacteur de Chinon A3, que les radiations et la température rendent inaccessible à l'homme.

réduisant la puissance des centrales. Encore cette mesure n'est-elle pas suffisante. A Chinon A3, la visite annuelle de 1981 permit de constater que la corrosion s'était aggravée.

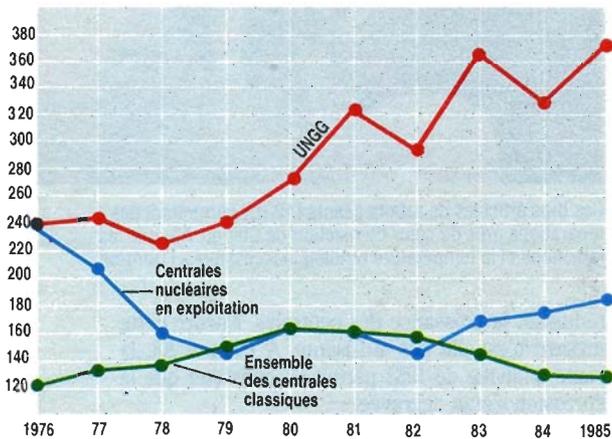
Ce ne sont pas les seuls incidents qui ont perturbé la vie de Chinon A3. Qu'on en juge. 1968 : des vibrations anormales dans les assemblages de combustible obligent à limiter le débit de soufflage du CO<sub>2</sub>. 1969-1970 : il faut remplacer la tuyauterie du circuit secondaire des échangeurs de chaleur (celle où circule l'eau qui reçoit la chaleur du CO<sub>2</sub>). 1976 : on découvre des défauts de soudure et des fissures dans les tuyauteries du circuit primaire. 1982 : une perte d'alimentation électrique entraîne l'arrêt des quatre turbo-soufflantes qui assurent la circulation du CO<sub>2</sub>. 1983 : deux incidents à trois mois d'intervalle provoquent chaque fois un arrêt d'urgence.

Chinon A3 est bien la plus anti-économique et la moins fiable des centrales françaises. Comme elle est unique en son genre, il est exclu que les super-robots qui ont été spécialement conçus pour la retaper soient utilisables dans d'autres centrales, en France ou à l'étranger. Il faut donc se rendre à l'évidence : cette opération n'a aucune justification possible sur le plan civil. En revanche, elle s'inscrit fort bien dans la logique de la modernisation de nos



## CENTRALES GRAPHITE-GAZ : DE PLUS EN PLUS PROBLÉMATIQUES...

Il est normal d'arrêter périodiquement une centrale nucléaire pour entretien et vérification. Mais, d'année en année, les arrêts fortuits des centrales graphite-gaz n'ont cessé de se multiplier ou se prolonger, dépassant de loin les arrêts normaux programmés.



## ... ET DE PLUS EN PLUS COÛTEUSES

Entre 1984 et 1985, les dépenses directes d'exploitation (entretien, contrôles-essais, etc.) ont augmenté deux fois plus vite pour les centrales graphite-gaz que pour l'ensemble des centrales nucléaires en fonctionnement en France : 13,9 % pour les premières (courbe rouge), contre 6,2 % pour les secondes (courbe bleue). Les centrales classiques (courbe verte), elles, ont vu ces dépenses diminuer de 1,9 % pour la même période.

armes nucléaires, surtout si, comme tout permet de le penser, nous nous acheminons vers la fabrication en série de la bombe à neutrons.

Que Chinon A3 ait déjà, dans le passé, servi à la production de plutonium à usage militaire est un secret de Polichinelle. Certes, on n'en voit guère de traces dans la littérature officielle. Qu'EDF travaille la main dans la main avec les militaires, on ne va pas le crier sur les toits. Mais c'est un fait. Quelques documents innocents en témoignent. Ainsi ce rap-

port d'information présenté en 1980 à l'Assemblée nationale par la Commission de la défense nationale, où l'on peut lire : « Les quantités de plutonium produit permettront de réaliser sans difficultés majeures la modernisation qualitative et quantitative de nos forces nucléaires stratégiques et de l'armement nucléaire tactique, bien que rien n'ait été fait de spécifique pour les plutonigènes depuis Marcoule, sauf Chinon 3... » Ainsi encore le rapport d'activité du CEA pour 1985, où la remise en activité de Chinon A3 est annoncée pour la mi-1986 et où est annoncé comme un anniversaire, en avril 1985, le fait que « l'usine UPI de Marcoule retraits la 2 000<sup>e</sup> tonne de combustibles irradiés émanant des centrales de la filière uranium naturel-graphite-gaz ». C'est dans cette dernière usine qu'est extrait le plutonium militaire.

Depuis l'arrêt des trois réacteurs graphite-gaz de Marcoule, la branche militaire du CEA doit officiellement se reposer, pour la production de plutonium militaire, sur ses deux petits réacteurs à eau lourde et uranium enrichi Célestin 1 et 2, également installés à Marcoule. Certes, depuis 1963, date de la mise en service du premier réacteur civil, le CEA a toujours pu compter sur la bonne volonté d'EDF. Chinon 1, Chinon 3, Saint-Laurent 1 et 2, Bugey 1, ainsi que le surgénérateur Phénix, ont apporté leur tribut à la constitution et à l'entretien de notre force de frappe. Mais aujourd'hui, Chinon 1 n'est plus en service, les réacteurs de Saint-Laurent et du Bugey sont optimisés pour la production d'électricité, et les gros bataillons de PWR sont impropres à la fabrication de plutonium militaire. La situation confortable évoquée dans le rapport de l'Assemblée nationale en 1980 appartient au passé. La réalité est que nos forces nucléaires risquent de se trouver tôt ou tard confrontées à un goulet d'étranglement. Risque qui se transforme en certitude si nous décidons, comme c'est probable, d'équiper notre artillerie de bombes à neutrons, grosses mangeuses de plutonium. En fait, il se pourrait bien que le sort de la bombe à neutrons soit lié à celui de Chinon A3.

Pour saisir les données du problème, il faut faire le compte des moyens de production de plutonium militaire et les confronter aux besoins de nos forces armées. Bien qu'il s'agisse d'un domaine rigoureusement confidentiel, il n'est pas interdit de procéder à des évaluations. De nouveau un zeste de physique. Nous avons dit que, dans un réacteur, l'uranium 238 se transforme en plutonium 239 par capture d'un neutron. C'est ce plutonium 239 qui est exploitable pour les bombes nucléaires. Malheureusement, dans un réacteur, le plutonium 239 a tendance à capturer à son tour d'autres neutrons, et à se transformer en plutonium 240, 241, 242 et 243. C'est une question de probabilité, donc de temps. Plus le temps passe, plus le plutonium 239 qui se

concentre aura tendance à se transformer. Or, ces isotopes plus lourds ont la fâcheuse qualité d'être spontanément fissiles. Dans une bombe, ils risquent de provoquer des préarmocages et de dérégler les dispositifs de mise à feu. Il faut en limiter la présence au maximum. Si l'on veut extraire le plutonium 239 d'un réacteur, il faut donc retirer le combustible après un temps d'irradiation relativement court. Dans les centrales PWR, la seule solution est d'arrêter la centrale. On conçoit que ce soit difficilement compatible avec la production d'électricité. C'est pourquoi les centrales PWR ne fournissent pas de plutonium militaire. Le combustible irradié dans ces centrales, qui est traité à l'usine de La Hague, contient bien du plutonium, mais celui-ci a été dégradé et n'a pas de valeur militaire.

Dans une centrale comme celle de Chinon, l'opération est beaucoup plus facile. Il suffit d'ordonner à la machine de chargement-déchargement située au-dessus du cœur de retirer régulièrement, en temps opportun, un certain contingent de cartouches irradiées. La centrale ne s'arrête pas pour autant, et, si le nombre de cartouches retirées à chaque fois reste limité, sa production d'électricité n'en est pas sensiblement affectée. C'est pourquoi l'essentiel du plutonium militaire a été produit par les centrales de la filière graphite-gaz.

Le CEA espérait que la nouvelle filière des surgénérateurs allait permettre de prendre la relève. Sans entrer dans les détails, rappelons que les surgénérateurs produisent du plutonium 239 dans leur "couverture fertile" d'uranium 238. Ce plutonium peut être extrait sans perturber le fonctionnement de la centrale. Malheureusement cette filière se révèle beaucoup moins prometteuse que prévu. Le prototype Phénix, en service depuis 1974, a connu quelques déboires. Le coût de fonctionnement de Superphénix, qui vient d'entrer en service, se révèle sensiblement supérieur à celui des PWR. En outre cette centrale n'est pas purement française: il n'est pas évident, il est même improbable, que le CEA obtienne l'autorisation d'en tirer du plutonium à usage militaire. Enfin, la décision de construire un troisième surgénérateur n'est pas prise. Le suréquipement de la France en centrales nucléaires et les doutes qui pèsent sur la rentabilité de cette nouvelle filière en rendent l'avenir problématique.

On peut essayer de calculer les quantités de plutonium militaire produites par les centrales françaises depuis le début de leur histoire. Marcoule G1, G2, G3, toutes les trois déclassées aujourd'hui, ont pu produire un total de 2 tonnes. Célestin 1 et 2, dont la mise en service remonte respectivement à 1967 et 1968, produisent du plutonium depuis 1976. Mais comme ils fabriquent aussi du tritium, leur production de plutonium n'a peut-être pas dépassé 0,5 tonne. Au total, Chinon 1 et Chinon 3 ont dû fournir 2 tonnes à eux deux. Les premières charges de Saint-Laurent 1 et 2, Bugey 1 et aussi Vandellos (en Espagne) ont été déchargées beaucoup plus tôt que les suivantes et ont permis de récupérer 1 tonne de qualité militaire. Depuis lors, cependant, les deux centrales de Saint-Laurent et Bugey 1 semblent avoir été optimisées pour la production d'électricité. Enfin Phénix, qui est à Marcoule, a dû fournir 80 kg de plutonium par an depuis 1974, soit une tonne en tout.

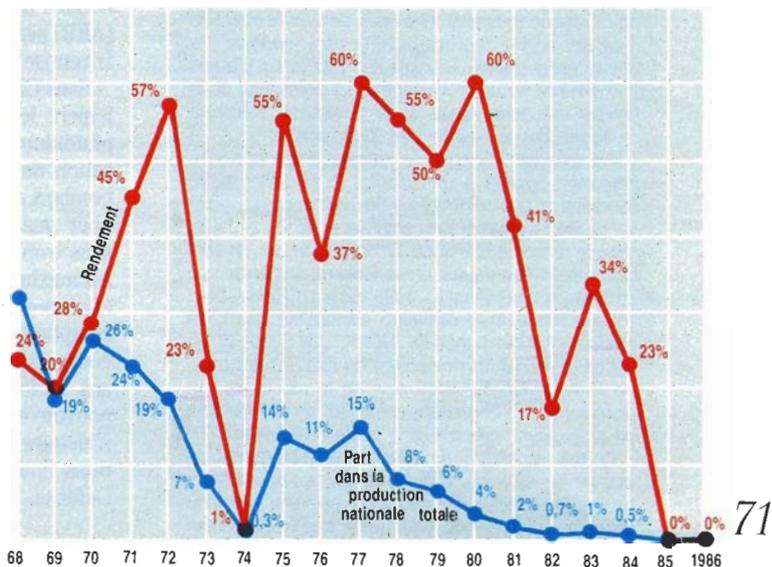
Au total, cela nous donne une production de 6,5 tonnes de plutonium militaire depuis le début du programme nucléaire français (2).

Voyons maintenant quels ont été jusqu'ici les besoins. Les missiles du plateau d'Albion et les

(3) Selon les estimations de J.P. Pharabod, chercheur à l'Ecole polytechnique.

## CHINON A3 : RENDEMENT MÉDIOCRE DEPUIS LE DÉBUT

En moyenne, Chinon A3 n'a fonctionné qu'au tiers de sa capacité. Pour calculer le rendement (courbe rouge) de cette centrale — son coefficient de production — nous avons fait le pourcentage de l'énergie produite par année par rapport à celle qu'elle aurait théoriquement produit si elle avait fonctionné continuellement à plein régime. Nous avons pris pour base de calcul la puissance initiale de Chinon A3, qui était de 480 mégawatts, mais qui a très vite été réduite à 360 mégawatts en raison des problèmes de corrosion, dus à la trop forte température du gaz carbonique. Le graphique montre également (courbe orange) la faible part de Chinon A3 dans la production totale d'énergie d'origine nucléaire.



M-20 lancés par sous-marin ont des bombes à l'uranium, et n'entrent donc pas en ligne de compte. Les 16 missiles M-4 lancés par sous-marin comportent chacun 6 charges nucléaires. Si l'on prend la valeur moyenne de 5 kg de plutonium par bombe (estimation de la Federation of American Scientists), cela donne 470 kg. 21 Mirage IV sont équipés chacun d'une bombe AN-22 contenant environ 7 kg de plutonium, soit 150 kg. 11 Mirage sont équipés d'un missile ASMP contenant chacun quelque 5 kg de plutonium, soit 55 kg. 111 avions tactiques peuvent d'autre part larguer une ou deux bombes contenant 4 kg de plutonium, soit 660 kg. 50 missiles Pluton portent 4 kg par bombe, soit 200 kg. Cela donne un total de 1 535 kg, auxquels il faut ajouter environ 600 kg pour les essais, soit un total général de l'ordre de 2 100 kg. Si l'on en juge par les forces actuelles, on voit que l'on dispose d'un surplus de  $6\,500 - 2\,100 = 4\,400$  kg. On conçoit que le rapport de l'Assemblée nationale ait jugé la situation confortable.

Voyons maintenant les quantités de plutonium exigées par nos futurs armements nucléaires (hors bombe à neutrons). Il faut compter 80 M-4 supplémentaires, soit 480 têtes nucléaires et un total de

2,4 tonnes de plutonium. S'y ajouteront une centaine de véhicules Hadès équipés chacun de deux missiles, ce qui fait 1 tonne, et 76 missiles ASMP supplémentaires, soit 380 kg. Total : 3 800 kg. Si l'on récupère une partie du plutonium des AN-22 et des Pluton, on peut retrancher 300 kg à ces nouveaux besoins. Cela donne 3 500 kg au total. Soit la valeur approximative des stocks disponibles.

Compte tenu du fait que Célestin 1 et 2 ne produisent sans doute pas plus de 50 kg par an, et sont en outre sur le point d'atteindre l'âge canonique de 20 ans ; que Phénix produit au mieux 80 kg par an ; et qu'à part Chinon A3 il n'existe plus d'autre source de plutonium pour l'armée française, cela fait un peu juste. Mais surtout, cela devient tout à fait insuffisant si l'on envisage sérieusement de lancer le programme de la bombe à neutrons.

Rappelons que cette bombe dite à radiations renforcées est destinée, au moins en théorie, à immobiliser des formations blindées en provoquant un minimum de destructions par ailleurs. Pour être efficace, elle doit pouvoir être lancée à partir de pièces d'artillerie ordinaires (canons de 155). Mais cet "obus" est une véritable bombe H miniature, même si les effets de souffle et les effets thermiques sont réduits au minimum. Or pour amorcer la réaction de fusion caractéristique d'une bombe H, il faut une bombe A, donc du plutonium : 2 à 3 kg par bombe à neutrons.

Il semble prévu d'en construire 400. Certains en souhaitent 1 000 à 2 000. En comptant 2,5 kg par bombe, les besoins sont donc de 1 à 5 tonnes. Il semble qu'actuellement le CEA ne soit pas encore tout à fait parvenu à maîtriser la miniaturisation de cette petite merveille, afin de la faire tenir dans un obus de 155. Mais une série d'essais récents à Mururoa aurait permis une avancée décisive. Et d'après nos informations, la décision d'équiper l'armée française de l'arme à radiations renforcées (ARR) serait annoncée à l'automne. Au moment de la remise en route de Chinon A3...

Sans Chinon A3, l'armée française n'a pas actuellement les moyens de produire suffisamment de plutonium pour mener à bien, de front, la modernisation de notre force de frappe et le programme bombe à neutrons. Si Chinon A3 est remise en route pour une dizaine d'années (et si elle fonctionne sans trop d'incidents...), la chose devient possible. Au maximum de ses capacités, Chinon A3 peut en effet produire 240 kg de plutonium par an. En comptant avec un minimum d'incidents de parcours, cela fait 180 kg par an. Soit 1,8 tonne en dix ans. Grâce à EDF, l'armée française va peut-être pouvoir enfin se doter de la bombe à neutrons. L'histoire ne dit pas quelle est la nature des relations financières entre EDF et le ministère de la Défense.

Jacqueline Denis-Lempereur  
et Olivier Postel-Vinay

## COMBIEN DE PLUTONIUM DANS UNE BOMBE ?

C'est évidemment un secret jalousement gardé par ceux qui les fabriquent. On peut néanmoins obtenir un ordre de grandeur correct en se basant sur des calculs à la portée de n'importe quel physicien nucléaire : connaissant l'énergie (185 MeV environ) libérée par la fission d'un noyau de plutonium 239, on peut calculer que la fission complète de 1 kilo de plutonium correspond à 16,5 kilotonnes.

C'est un chiffre théorique, car, dans une réaction en chaîne explosive, toute la masse fissile ne participe pas : lorsque la masse totale des noyaux fissiles (qui n'ont pas encore subi la fission) devient inférieure à la masse critique (celle en deça de laquelle il n'y a pas d'explosion), la réaction s'arrête. La puissance de la bombe est donc égale à sa puissance théorique multipliée par le "rendement de fission".

Par exemple, Gadget, le premier engin nucléaire américain testé à Alamo Gordo, le 16 juillet 1945, contenait à peu près 6,1 kg de plutonium. La puissance de l'explosion fut comprise entre 20 et 24 kt, donc le rendement était de 17 %. Les choses se sont bien améliorées depuis. Yves Rocard, ancien patron du CEA, écrivait ainsi en 1983 dans *La Recherche* : « J'ai plaisir à faire connaître aujourd'hui que cette première bombe française (NDLR : AN-52 de 60 kt) battait le record de rendement de tous les tirs antérieurs en ayant fissionné plus de la moitié de son plutonium. » Cette bombe employait donc 7 ou 8 kg de plutonium, mais c'était à la fin des années 60.

Depuis, le chiffre de 5 kg par bombe paraît un maximum ; au-dessus de 60 kt, les bombes deviennent thermonucléaires car elles peuvent être produites à moindre frais. Elles n'ont besoin que d'une "allumette" atomique qui ne saurait dépasser ce poids.

## LES ALÉAS DE LA BOMBE À NEUTRONS

Jusqu'à présent, la bombe à neutrons n'a donné lieu qu'à un débat émotionnel : c'est la bombe "qui tue les gens mais laisse le matériel intact". C'est aussi l'arme nucléaire qu'un simple général commandant un corps d'armée peut décider, seul, d'utiliser puisque, dans une escarmouche à 30 km de distance, il serait absurde d'attendre la décision du Président, comme pour les armes nucléaires actuelles.

La bombe N est exclusivement anti-chars. Elle n'a pas d'autre objectif que d'arrêter la progression d'une formation blindée. Elle doit donc être comparée avec les armes anti-chars présentes et à venir. Comme c'est une arme nucléaire, elle doit aussi être comparée avec les armes nucléaires tactiques.

Par rapport aux armes anti-chars acutelles, la bombe N présente un avantage quantitatif : elle équivaut à une dizaine d'obus bien envoyés. Par rapport aux armes nucléaires tactiques, elle présente des avantages qualitatifs : 1, elle est miniaturisée (mais on sait aussi miniaturiser les armes nucléaires tactiques) ; 2, à charge égale, les effets de souffle (onde de choc) et les effets thermiques (chaleur) sont réduits ; 3, les radiations sont au contraire maximisées. D'où le vrai nom de la bombe N : "bombe à radiations renforcées" (voir **graphiques ci-dessous**).

Sans entrer dans les détails (d'une grande complexité), rappelons que la bombe N contient une petite bombe A, qui sert d'allumette pour faire exploser une petite bombe H modifiée. Sur le **dessin ci-contre**, la bombe A correspond aux éléments centraux (plutonium 239, etc.). La bombe H correspond aux éléments inférieurs, dont le cœur est la matière fusible (deutérum de lithium et tritium). L'explosion de cette dernière est provoquée par les rayons X issus de la bombe A. C'est cette explosion qui dégage les flux de neutrons. Au total,

les effets de souffle et les effets thermiques de la bombe N correspondent à ceux d'une bombe A de 1 kilotonne (Hiroshima = 12,5 kt). C'est peu, mais ce n'est pas négligeable.

**Effet de souffle.** Dans un rayon de 250 m, rien ne résiste : ni bâtiments, ni chars. D'après les estimations du département d'Etat américain, les chars résistent à 300 m. Mais les maisons individuelles ne résistent qu'à partir de 700 m. A 1 000 m, les vitres se brisent.

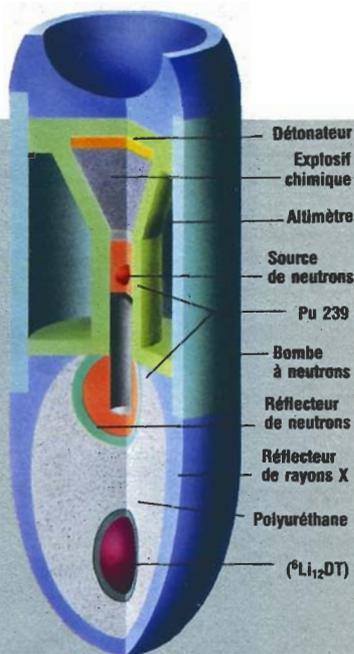
**Effets thermiques.** Les chars résistent à 300 m. Mais à 750 m, le papier journal et sans doute certains rideaux s'enflamment naturellement. C'est dire que les bâtiments qui auraient résisté à l'onde de choc peuvent brûler jusque vers 750 ou 800 m.

Les radiations sont au contraire considérablement renforcées par rapport à une bombe A ou H de même puissance. Elles correspondent à celles produites par une bombe A de 10 kt : on se rapproche d'Hiroshima.

**Rayons gamma.** A 600 m, ils produisent une irradiation de l'ordre de 10 000 rems : tout le monde meurt sur le coup. A 900 m, on a encore 1 800 rems : la mort est assurée entre 2 et 14 jours. A 1 350 m, 200 rems : si l'on ne reçoit pas des soins immédiats, on peut mourir au bout de quelques semaines. Ce n'est qu'à 1 800 m que la dose devient négligeable.

**Neutrons.** A 900 m, on reçoit 12 000 rems : mort immédiate. A 1 350 m, 750 rems : mort en quelques semaines (à moins d'une percée dans le domaine médical). A 1 800 m, les radiations tombent à 50 rems : c'est la limite supérieure du négligeable.

Ces estimations doivent être corrigées du fait que la bombe N, lancée par un canon de 155, est destinée à exploser à environ 200 mètres au-dessus du sol. C'est la raison pour laquelle un altimètre est incorporé. Mais celui-ci est soumis à d'énormes contraintes. S'il



fonctionne mal, la bombe N peut exploser au niveau du sol. En outre, une seule bombe N ne suffit pas pour arrêter une formation moyenne de 30 chars et 10 véhicules blindés rassemblés sur 2 km. Il en faut quatre. En résumé, on peut compter qu'une attaque "neutrons" est capable de détruire tous les bâtiments sur une superficie de 200 ha, les maisons d'habitation sur 300 ha, et tuer tout le monde à plus ou moins court terme sur une superficie de 10 km<sup>2</sup>.

Quels sont les effets des radiations sur l'équipage des chars ? C'est la grande inconnue. D'après le physicien suisse André Gsponer, la technologie des blindages a tellement évolué que l'équipage peut tenir le coup pendant 1 à 3 heures si le char se trouvait à 280 m de l'explosion. Or le char, on l'a vu, est détruit par les effets de souffle à 300 m. Cela voudrait dire que tout le bénéfice attendu de la bombe à neutrons par rapport à une bombe A de même puissance est annulée. Au-delà de 300 mètres, le char n'est pas détruit et l'équipage peut poursuivre son avance.

Soutenue dès 1978 par le physicien George B. Kistiakowski, ancien conseiller scientifique du président Eisenhower, cette argumentation n'a pas à ce jour été sérieusement remise en cause dans la littérature ouverte. Mais l'évolution du blindage des chars fait partie des secrets militaires les mieux gardés...

L'objection la plus solide serait que l'électronique des chars, elle, ne résiste pas à 800 m de l'explosion d'une bombe à neutrons. Mais là encore, cela dépend du blindage. Et de la densité de l'équipage électronique.

