

**ASSOCIATION DES RETRAITÉS DU GROUPE CEA  
GROUPE ARGUMENTAIRE SUR LE NUCLEAIRE**

---

## **SIMULATION ET DISSUASION NUCLEAIRE**

### **1. INTRODUCTION**

Dans le cadre de la politique de dissuasion nucléaire de la France, le CEA est chargé de la conception, de la fabrication, du maintien en condition opérationnelle et du démantèlement des têtes nucléaires. Après l'arrêt définitif des essais nucléaires, il a pour mission de garantir à la France la pérennité de sa capacité de dissuasion en s'appuyant sur un programme de simulation.

### **2. LA FIN DES ESSAIS NUCLEAIRES**

Depuis le 13 février 1960 jusqu'en 1992, la France a réalisé 204 expérimentations nucléaires : au Sahara jusqu'en 1962 puis sur les atolls de Mururoa et Fangataufa.

En 1995, le Président de la République, J. CHIRAC, a pris la décision d'arrêter définitivement les essais nucléaires français après une ultime campagne qui s'est déroulée de septembre 1995 à janvier 1996.

Il a également redéfini les moyens de la dissuasion nucléaire pour les adapter au contexte géopolitique international en respectant le principe de stricte suffisance, ce qui s'est traduit par :

- le seul maintien des composantes océanique et aéroportée
- l'arrêt de la production de matières fissiles (anticipée pour le plutonium de 1993) et le démantèlement des installations de productions associées
- la signature et la ratification du traité d'interdiction complète des essais nucléaires (TICE)
- le démantèlement du Centre d'Expérimentation du Pacifique.
- le programme de simulation

### **3. COMMENT GARANTIR LE FONCTIONNEMENT DES ARMES FUTURES SANS LES ESSAIS NUCLEAIRES ?**

Le fonctionnement et la sûreté des armes en service (TN75 et TN81) sont garantis par les essais nucléaires qui ont conduit à les mettre au point. Mais ces armes vieillissent du seul fait de l'évolution naturelle des matériaux nucléaires qui les composent. Leur durée de vie est donc limitée et leur renouvellement est nécessaire pour assurer la continuité de la dissuasion.

En l'absence d'expérimentations en vraie grandeur, la stratégie de renouvellement des armes a été bâtie en partant de l'absolue nécessité de se donner des moyens de garantir leur fonctionnement et leur sûreté. Cette stratégie repose sur trois éléments :

- Le concept des charges robustes dont l'intérêt réside en un fonctionnement peu sensible aux variations technologiques et qui a été testé lors de l'ultime campagne d'essais nucléaires
- la validation des écarts dus à la militarisation des charges nucléaires ainsi conçues ou susceptibles d'apparaître au cours de la vie opérationnelle de l'arme. Cette validation sera faite grâce à la simulation.
- la formation et la certification des nouvelles équipes qui n'auront pas connu les essais nucléaires.

La simulation consiste à reproduire par le calcul les différentes phases du fonctionnement d'une arme nucléaire. Pour atteindre cet objectif, le programme Simulation a été construit autour de trois volets : la modélisation des phénomènes physiques, la simulation sur ordinateur et la validation expérimentale.

Tant qu'il était possible de réaliser des essais, on pouvait admettre un certain empirisme des modèles physiques et numériques décrivant le fonctionnement de l'arme. Cela n'est plus possible maintenant. Il faut donc mettre au point des modèles prédictifs représentant plus finement tous les phénomènes mis en jeu afin d'évaluer précisément les conséquences. Il faut disposer ensuite de codes numériques permettant la prise en compte de ces modèles. Leur utilisation nécessite des ordinateurs de plus en plus puissants tant en taille mémoire qu'en rapidité de calcul. Le programme d'acquisition de super calculateurs de type TERA répond à ce besoin.

La validation de ces logiciels ne peut se faire qu'avec de nouvelles installations expérimentales permettant :

- des mesures beaucoup plus précises qu'auparavant
- d'aborder en laboratoire des phénomènes physiques qu'il n'était possible d'étudier que très indirectement à travers les essais nucléaires.

Les deux outils expérimentaux majeurs du programme Simulation sont la machine radiographique AIRIX et le laser Mégajoule.

La validation de la chaîne de calcul dans sa globalité sera réalisée grâce à la réinterprétation des essais nucléaires passés.

#### 4. LES OUTILS DE LA SIMULATION

- **AIRIX** (Accélérateur à Induction de Radiographie pour l'Imagerie X)



AIRIX est une machine radiographique, installée à Moronvilliers en Champagne, qui a pour mission de valider les modèles relatifs à la phase de mise en condition par explosif chimique (pyrotechnique + hydrodynamique). Les expériences sont réalisées en remplaçant les matériaux nucléaires par des matériaux inertes aux comportements mécaniques et thermiques très proches. Pour cela AIRIX génère des rayons X extrêmement pénétrants (50000 fois la puissance d'une radio pulmonaire) qui permettent d'obtenir des radiographies, d'une grande finesse

spatiale et temporelle, de la matière en cours de compression.

- **LMJ** (Laser Mégajoule)

Le LMJ, en cours de construction au CESTA, sera indispensable pour simuler le fonctionnement nucléaire de l'arme. Il est dimensionné pour que l'énergie apportée par les faisceaux laser conduise à la fusion de quelques milligrammes d'un mélange de deutérium-tritium. Il permettra d'atteindre en laboratoire des conditions thermodynamiques (densité, pression, température) extrêmes, similaires à celles rencontrées lors du fonctionnement nucléaire de l'arme.



Trois types d'expériences seront réalisables au LMJ :

- *Les expériences de mesures de données de base* : indispensables, elles visent à acquérir des données qui valideront les modèles de matière (équations d'état sous choc, opacités spectrales, lois de comportement des solides)
- *Les expériences de validation par parties* : chacune des expériences met en œuvre un seul des phénomènes physiques intervenant dans le fonctionnement de l'arme.
- *Les expériences globales* : elles mettent en œuvre plusieurs phénomènes interagissant entre eux : cela permet d'évaluer l'outil de simulation dans sa totalité.

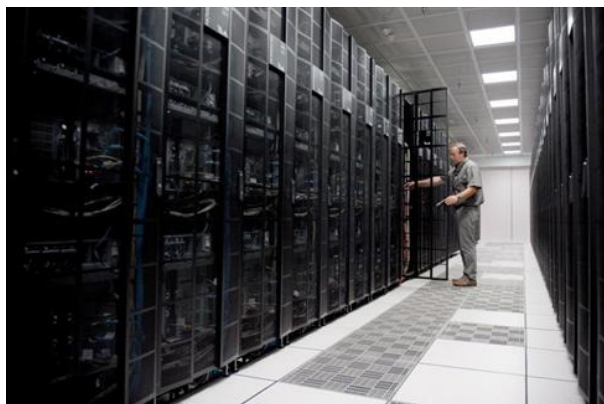
Le LMJ permettra de valider à la fois les modèles et les logiciels utilisés dans la simulation numérique ainsi que les compétences des physiciens chargés d'apporter la garantie de fonctionnement de l'arme.

Il devait comporter jusqu'à 240 faisceaux laser, d'une puissance totale de 500 Terawatts, qui concentreront 1,8 millions de Joules en quelques milliardièmes de seconde sur une cible de taille millimétrique pour produire la fusion du deutérium-tritium. Compte tenu de l'expérience acquise ces dernières années sur la LIL (Ligne d'Intégration Laser, prototype échelle 1 de 8 faisceaux du type LMJ), et d'une modélisation plus précise des phénomènes d'implosions dans les cibles laser (grâce à TERA) l'énergie nécessaire n'est plus que 1,5 millions de Joules que

l'on obtiendra avec 160 faisceaux laser. De plus on garde la possibilité d'ajouter dans l'avenir 80 faisceaux supplémentaires qui pourraient servir à des expériences futures sur la fusion inertielle.

## TERA

Le super ordinateur TERA est au centre du programme de simulation : il doit permettre de reproduire par le



calcul les différentes étapes du fonctionnement d'une arme nucléaire. La modélisation permet notamment d'accéder au calcul des énergies mises en jeu, des déformations des matériaux, des phénomènes de turbulence, des rayonnements induits.

Améliorer la capacité de prédiction des modèles nécessite une description informatique encore plus fidèle de la géométrie et de l'environnement de l'arme. Tout ceci concourt à un besoin d'utilisation en routine de logiciels tridimensionnels qui vont demander beaucoup plus de temps et de puissance de calcul.

### Le programme prévoit l'acquisition de 3 calculateurs :

- TERA, en 2001, constitué de 640 ordinateurs (Hewlett Packard, américains) de puissance totale 5 Teraflops (1Teraflop=1000 milliards d'opérations flottantes par seconde)
- TERA-10, acheté en 2005, constitué de 8000 processeurs de puissance totale 62 Teraflops et fabriqué par BULL
- TERA-100, prévu en 2010, d'une puissance prévue > 500 Teraflops

## CONCLUSION

Pour assurer la pérennité de la dissuasion nucléaire française en l'absence de nouveaux essais, le CEA a mis en place un programme de simulation basé sur des moyens d'expérimentation, LMJ et AIRIX en particulier, associés à des moyens de calculs scientifiques parmi les plus performants actuellement dans le monde.

Le laser Mégajoule et son prototype, la LIL, ainsi que le superordinateur TERA constituent des réalisations exceptionnelles à la fois par leurs caractéristiques techniques et par leurs performances. Conformément à la politique d'ouverture approuvée en 2001 par le ministère de la Défense, ils seront mis à la disposition de la communauté scientifique. Cette ouverture est effective :

- chaque année, une campagne de 2 mois d'expériences sur la LIL pour les universitaires
- à côté de TERA-10, un centre de calcul ouvert qui appartient au CEA et à des industriels ; il dispose d'une puissance de 40 Teraflops
- participation aux pôles de compétitivité avec :
  - la Route des lasers à Bordeaux
  - Systematic en région parisienne, qui prépare la technologie pour TERA-100

Cette ouverture permet l'évaluation scientifique extérieure et favorise l'échange des connaissances. Elle contribue ainsi à la crédibilité des travaux menés à la DAM.

-----