

## Ordinateurs et laboratoires

Le ministère américain de l'Énergie a conçu le programme de surveillance pour éviter les essais nucléaires, mais il a simultanément donné aux États-Unis un moyen de réactiver ses laboratoires militaires. La communauté nucléaire des États-Unis, et ses alliés au Congrès, ont lutté contre l'interdiction des essais pendant toute la guerre froide, mais, en septembre 1992, le Congrès a finalement interdit les tests nucléaires, fixant le 30 septembre 1996 comme date limite des essais américains et comme début d'une négociation d'un traité international d'interdiction des essais. B. Clinton a prolongé deux fois le moratoire unilatéral américain et, en août 1995, il a pris la décision de chercher une «solution zéro» – une interdiction de toutes les explosions expérimentales, quelle que soit les réactions nucléaires utilisées. Cette année-là, les laboratoires américains de recherche sur les armes nucléaires – Los Alamos, Sandia et Lawrence Livermore – n'avaient plus effectué de tir expérimental depuis près de trois ans.

Les budgets alloués aux activités nucléaires militaires décroissaient depuis dix ans, et les personnels des arsenaux nucléaires pensaient à changer d'activité ; toutefois le programme de surveillance a relancé les activités. Le financement annuel, de 27 milliards de francs en moyenne, est aujourd'hui supérieur à ce que dépensait le ministère américain de l'Énergie (22 milliards de francs par an) pour l'armement pendant la guerre froide.

Le programme se fonde principalement sur trois superordinateurs, qui sont parmi les plus rapides du monde. Équipées de plusieurs milliers de microprocesseurs qui calculent en parallèle, ces machines font deux billions d'opérations par seconde. Le ministère américain de l'Énergie prévoit d'utiliser des ordinateurs 100 fois plus rapides en l'an 2005.

Ces ordinateurs traitent des données recueillies en laboratoire : une énorme infrastructure expérimentale indique le comportement des matériaux constitutifs des armes aux températures et aux pressions extrêmes, et les concepteurs d'armes nucléaires font des expériences coûteuses pour

vérifier leurs prévisions informatiques. Par exemple, comme on connaît mal les phénomènes qui ont lieu quand les rayons X issus de la fission explosive du premier étage d'une arme chauffent l'étage secondaire, où a lieu la fusion, un budget de 12 milliards de francs a été alloué à la construction de nouveaux laboratoires, telle l'Infrastructure américaine de fusion, au Laboratoire Lawrence Livermore. Quand cette installation fonctionnera (après 2005), des faisceaux laser puissants tenteront de produire une impulsion de rayons X possédant la forme et la durée nécessaires pour comprimer et chauffer uniformément une minuscule gouttelette gelée de deutérium et de tritium, fusionnant ces isotopes lourds de l'hydrogène selon des réactions observées dans les bombes nucléaires ou dans les étoiles.

## Les risques de prolifération

Un programme de recherches aussi ambitieux favorise la prolifération. Tout d'abord, il est si hypocrite qu'il prive les États-Unis de tout crédit moral dans les discussions internationales : certains signataires du Traité d'interdiction des essais nucléaires ne respecteront celui-ci que s'ils sont convaincus de la bonne foi américaine. D'autre part, des pays qui disposent déjà de l'arme nucléaire et qui n'auraient pas les moyens d'un programme analogue risqueraient de percevoir un déséquilibre stratégique et de se retirer du traité.

Selon les partisans du programme d'essais virtuels, les objectifs visés ne seront atteints qu'au prix d'une collaboration renforcée entre les spécialistes des armes nucléaires et la communauté scientifique. En l'absence d'explosions expérimentales pour valider les performances des armes, des expertises scientifiques s'imposeront, et des arbitrages nécessiteront probablement l'intervention de chercheurs de la recherche civile.

D'ailleurs, le programme actuel prévoit une intervention de la communauté scientifique bien plus vaste que de simples évaluations ou que des présentations occasionnelles, lors de réunions : l'embauche de scientifiques de haut niveau semble être la condition du succès de l'opération. Financés par des subventions quinquennales s'élevant à plusieurs



Pardy, Montoya, Sandia National Laboratories

**2. PLUSIEURS MILLIERS DE PROCESSEURS** fonctionnent en parallèle dans ce superordinateur qui est utilisé pour la simulation des explosions nucléaires, aux Laboratoires Sandia. L'ordinateur est l'un des plus rapides du monde (le technicien représenté ici vérifie les câbles qui relient deux des huit blocs de l'ordinateur).

dizaines de millions de francs, cinq centres de recherches universitaires et de nombreux chercheurs isolés élaborent les modèles mathématiques et les algorithmes informatiques qui analysent les phénomènes physiques qui ont lieu lors des explosions nucléaires. Afin de valider les modèles physiques et les techniques numériques qui serviront dans les simulations des explosions nucléaires, les chercheurs utilisent des systèmes de complexité analogue, tels que turbines à gaz, moteurs de fusée ou étoiles périodiques.

Pour les partisans du programme de simulation, cette dissémination de la recherche scientifique de pointe sur les armes est une forme utile de «dissuasion scientifique», qui remplacera les tests nucléaires dans ce rôle. Toutefois elle a de graves inconvénients : en donnant à tous les pays des compétences qu'ils n'avaient pas toujours, elle menace la paix dans le monde.

## Faux choix

Dans leur empressement à lancer un programme techniquement stimulant de simulation d'armes nucléaires, les organisateurs du programme de surveillance ont mis les pouvoirs exécutif et législatif en face d'un dilemme : soit adopter le programme des essais virtuels et accepter la responsabilité d'une prolifération, soit perdre confiance dans la fiabilité et la sécurité des arsenaux au milieu de la prochaine décennie. Ce dilemme est fondé sur plusieurs idées fausses.

En premier lieu, la sécurité des ogives nucléaires ne justifie pas un programme de plusieurs dizaines de milliards de francs. On assure la sécurité des armes nucléaires à l'aide de clôtures, de gardes, de fusils, de systèmes d'alarme, et le risque de détonation accidentelle d'une arme nucléaire ne s'accroît que si le dispositif est mal

conçu. La sensibilité des explosifs chimiques utilisés dans les ogives nucléaires n'augmente pas avec l'âge, et les circuits qui isolent électriquement le système d'allumage de l'ogive peuvent être testés et remplacés sans essais nucléaires.

Une ogive vieillissante peut exploser avec une puissance réduite, mais les documents du programme de surveillance des arsenaux américains montrent que la partie nucléaire des armes américaines peut être maintenue longtemps sans essais nucléaires : une étude de 1996 a révélé que, sur 830 défauts détectés dans les armes entreposées entre 1958 et 1993, moins de un pour cent ont été découverts lors d'essais nucléaires. Après 1970, 11 tests seulement sur 387 visaient à examiner la fiabilité des arsenaux. À un sénateur américain qui s'inquiétait des conséquences éventuelles d'une interdiction des essais, le directeur des

## Les buts et les inconvénients du programme américain d'essais nucléaires virtuels

Pour mener à bien leurs essais nucléaires virtuels, les États-Unis comptent sur des superordinateurs puissants, sur la participation de la recherche civile et sur des expériences sur la fusion. Les organisateurs du programme prétendent que des capacités de simulation de pointe sont

indispensables pour le maintien de la sécurité et de la fiabilité des armes nucléaires américaines. Cependant le programme actuel est bien plus audacieux, et il débouchera sur la conception d'armes nouvelles plutôt que sur la maintenance des arsenaux existants.

**But annoncé du programme d'intendance :**  
Garantir la sûreté et la fiabilité des armes nucléaires.

**Inconvénient :**  
Sape les efforts américains en faveur du désarmement nucléaire.

### Superordinateurs

**Objectif :** Mettre au point les superordinateurs les plus rapides du monde et les programmes de simulation des explosions nucléaires.

**Inconvénient :** Les capacités actuelles de simulation sont suffisantes pour maintenir ou refabriquer les armes nucléaires existantes.

### Recherche civile

**Objectif :** Étude informatique de systèmes analogues aux explosions nucléaires (moteurs de fusées, supernovae...) et utilisation de ces modèles dans des simulations d'armes.

**Inconvénient :** La dissémination des informations sur les réactions nucléaires nuit à la sécurité globale.

### Expériences sur la fusion

**Objectif :** Étudier les réactions de fusion en laboratoire pour vérifier les simulations informatiques.

**Inconvénient :** La fusion n'a jamais été réalisée en laboratoire, et les armes peuvent être entretenues par des techniques plus simples et moins coûteuses.

## Le programme français de simulation

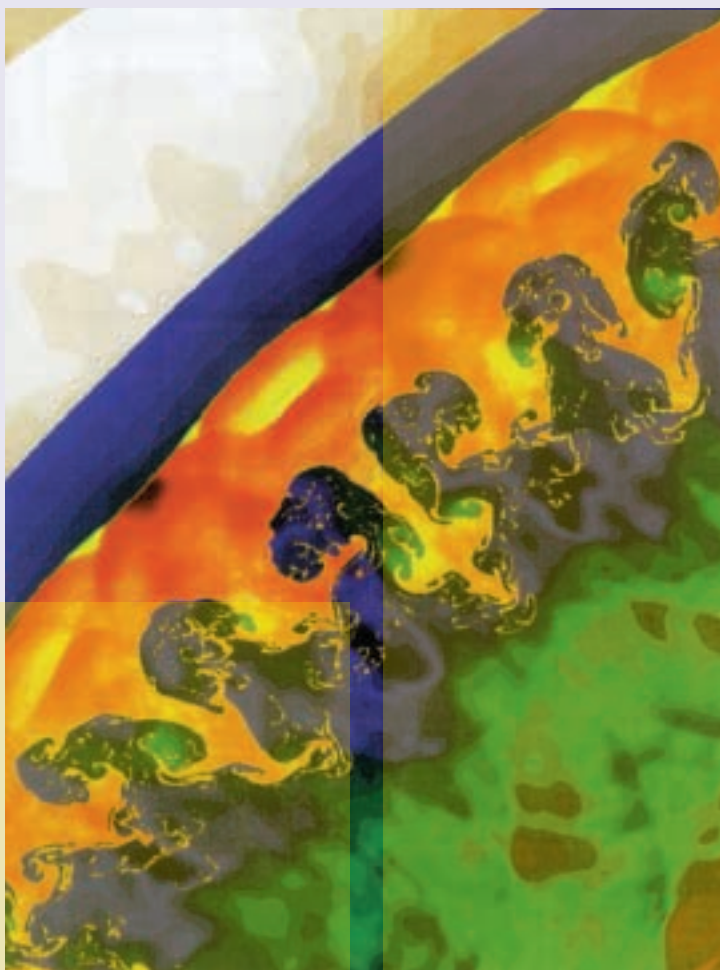
Les positions des chefs de l'État français sont claires et identiques : François Mitterrand voulait «développer et obtenir une simulation complète, qui permettra la mise au point des armes dont nous aurons besoin à l'horizon 2010, sans nouveaux essais nucléaires» ; pour Jacques Chirac, «nous disposons maintenant de tous les éléments pour relever le grand défi technologique de la simulation. Nous nous en donnerons les moyens».

En charge du programme de simulation, la Direction des applications militaires du Commissariat à l'énergie atomique (CEA) a analysé les moyens d'assurer la continuité de la capacité scientifique et technique à garantir la fiabilité et la sûreté des armes nucléaires : «Cette garantie est apportée par

des équipes qui ont acquis une maîtrise de l'ensemble des problèmes liés au fonctionnement d'une arme et qui se sont forgés une expérience à travers la réalisation des essais nucléaires passés. Leur connaissance est en partie empirique, notamment dans le domaine du thermonucléaire, qui n'a jamais pu faire l'objet d'expérimentations en laboratoire. Ces scientifiques chevronnés vont progressivement partir à la retraite et être remplacés. Le programme Simulation vise avant tout à donner aux nouvelles équipes, qui ne pourront pas recourir aux essais en vraie grandeur, des outils leur permettant de maîtriser tous les domaines de fonctionnement d'un engin nucléaire.»

Ce programme comporte trois volets : des études de physique de base, donnant une compréhension et une modélisation de chaque phénomène physique élémentaire intervenant dans le fonctionnement des armes ; la simulation numérique ; la validation expérimentale, fondée sur l'exploitation des résultats nucléaires passés et de deux grands outils expérimentaux (la machine radiographique AIRIX et le laser *Mégajoule*).

Daniel Verwaerde, qui dirige le programme Simulation du CEA, rejoint l'analyse de ses collègues américains, en ce qui concerne l'insuffisance des ordinateurs actuels pour atteindre l'objectif de la simulation ou, encore, pour



l'analyse des phénomènes physiques qui seront étudiés grâce au laser *Mégajoule*. Notamment, on devra modéliser de façon moins fruste qu'aujourd'hui les instabilités hydrodynamiques : celles-ci peuvent se développer dans la capsule de matière plastique de la cible laser (contenant le mélange fusible de deutérium et de tritium) lorsqu'elle est éclairée par les rayons X. Non maîtrisé, ce phénomène générerait la fusion, qui est d'autant plus importante que le mélange fusible est comprimé de façon plus homogène. Lors de l'expérience, les irrégularités initiales de la capsule conduiraient à un mélange hétérogène (voir la photographie ci-contre) du polymère vaporisé avec le mélange fusible ; cette dilution bloque la fusion. Pour bien comprendre les instabilités hydrodynamiques, il

faut des puissances 100 à 1 000 fois supérieures à celles des plus gros ordinateurs actuels. De même, pour comprendre les mécanismes des réactions entre le deutérium et le tritium, une puissance de calcul bien supérieure aux puissances actuelles est nécessaire.

Combien le programme Simulation coûtera-t-il ? D. Verwaerde indique d'abord que le budget français affecté à la dissuasion nucléaire a été réduit depuis 1990. Il coûte moins cher que le programme américain, parce que la France ne possède qu'un seul grand laboratoire «armes nucléaires», la Direction des applications militaires du CEA, alors que les États-Unis en ont trois. De surcroît, la France a choisi une «juste suffisance» des moyens pour la simulation, alors que les États-Unis explorent simultanément plusieurs pistes. Enfin, la France se propose d'utiliser davantage la recherche civile existante, notamment grâce aux accords de coopération signés entre le CEA et les universités. D. Verwaerde ne craint pas que les collaborations puissent engendrer une prolifération nucléaire, car les sciences fondamentales sont, de toute façon, largement partagées par la communauté internationale : «Ce qui empêche un pays proliférant de construire des armes, c'est l'accès à la matière et la possession d'une "bibliothèque d'essais" en vraie grandeur.»