

Le programme français de simulation

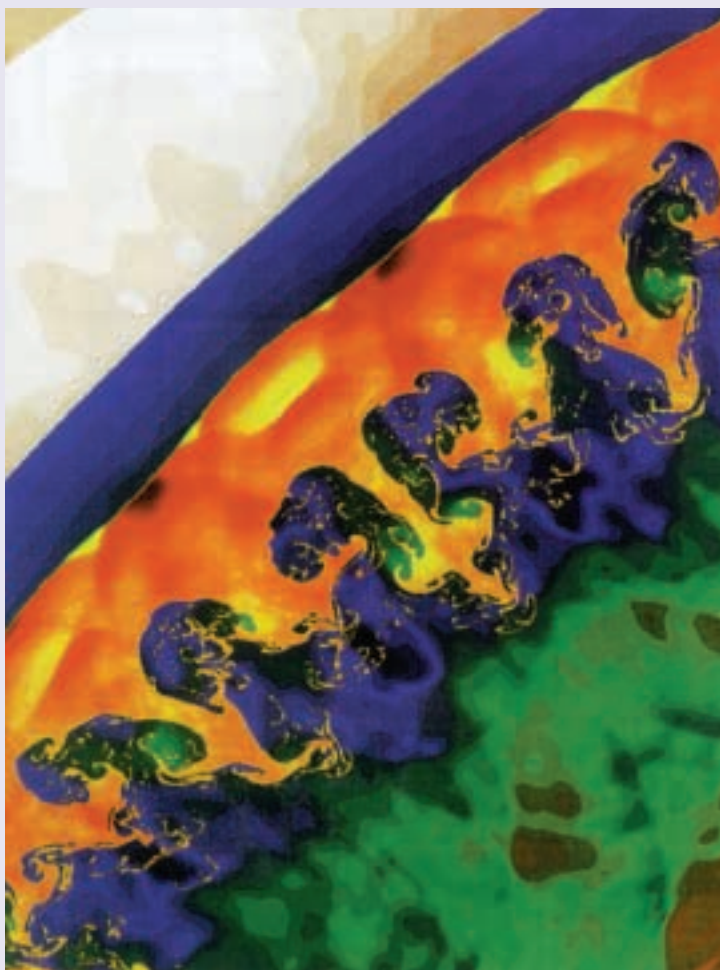
Les positions des chefs de l'État français sont claires et identiques : François Mitterrand voulait «développer et obtenir une simulation complète, qui permettra la mise au point des armes dont nous aurons besoin à l'horizon 2010, sans nouveaux essais nucléaires» ; pour Jacques Chirac, «nous disposons 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.»

Laboratoires *Sandia* a avoué que «seule une faible proportion des essais nucléaires effectués a servi à évaluer l'état des arsenaux, parce qu'on dispose de bien d'autres moyens d'effectuer ces évaluations».

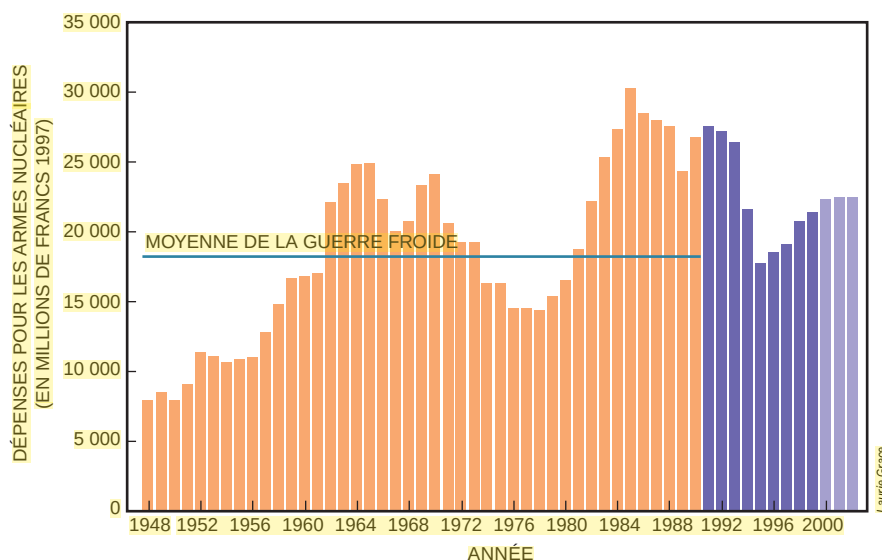
Les explosions souterraines servant peu à la détection des armes vieillissantes, le programme de surveillance n'a clairement pas pour but la maintenance des arsenaux nucléaires. On doit donc conclure que les simulations numériques et les expériences de laboratoire ne servent qu'à accroître les capacités américaines de conception d'armes nucléaires. Pis encore, le perfectionnement des simulations est inutile, puisque les États-Unis ont déjà les compétences techniques pour fabriquer de nouveaux missiles ou de nouvelles bombes, en utilisant les dispositifs nucléaires déjà validés. Les ingénieurs militaires pourraient améliorer les radars, les altimètres, les systèmes de propulsion, les générateurs de neutrons, les détonateurs, les batteries, les circuits intégrés et les autres composants des armes sans changer la partie nucléaire proprement dite.

Les partisans du projet américain d'essais virtuels prétendent également qu'ils ont besoin de calculer le moment où les performances des armes vieillissantes seront dégradées, en raison de la désintégration radioactive des matériaux des ogives ou d'autres processus. Les calculs serviraient à optimiser les calendriers de fabrication de nouvelles ogives, évitant des investissements excessifs dans la production d'ogives (à l'époque des essais souterrains, le problème du remplacement des stocks ne se posait pas : les nouvelles armes remplaçaient les modèles plus anciens).

Toutefois, pour conserver les armes en bon état, on n'a pas besoin de connaître le moment précis où les dégradations sont excessives ; on peut aussi inspecter les armes afin de savoir quand les détériorations semblent nuire aux performances. Un programme de détection, plutôt que de prévision, conduirait à un calendrier de remplacement très admissible, à un coût bien inférieur à celui du programme d'essais virtuels.

Des priorités différentes

Pourquoi la défense américaine accepte-t-elle les risques de prolifération posés par le programme de surveillance ? En priorité, un plan efficace d'intendance des arsenaux devrait



3. LE BUDGET ANNUEL du programme américain de surveillance des arsenaux nucléaires atteint 27 milliards de francs. Il est supérieur au financement qui était accordé aux armes nucléaires, pendant la guerre froide.

envisager les problèmes qui surviendraient après le départ des spécialistes des armes nucléaires. Un seul plan de ce type a été examiné : il envisageait de former une nouvelle génération de concepteurs d'armes en mettant à sa disposition des infrastructures expérimentales et des superordinateurs performants pour créer les explosions expérimentales virtuelles. Autrement dit, on aurait perpétué à grands frais des armuriers plutôt que des armes.

Il serait plus avisé, politiquement et techniquement, de reconnaître que le jugement des spécialistes d'armes nucléaires ne doit pas, ne devrait pas et ne peut probablement pas être formé sans des essais expérimentaux. Si l'on ne modifie pas les armes nucléaires, on n'aura pas à tester les nouveaux modèles. Dans cette hypothèse souhaitable, les personnels existants devraient utiliser leurs compétences pour valider les procédures de fabrication des armes qui

remplacent les systèmes vieillissants. Une analyse attentive fait inévitablement conclure qu'un programme américain de surveillance des arsenaux plus concis, plus limité techniquement et focalisé sur le remplacement des armes actuelles garantirait mieux la défense des États-Unis tout en servant mieux les objectifs de non-prolifération nucléaire. Les contradictions du programme actuel d'essais virtuels semblent être la preuve d'une confusion considérable de la politique américaine de défense.

Dans les négociations internationales, les États-Unis prônent la non-prolifération et l'élimination de toutes les armes de destruction massive, mais ils cherchent, en fait, à conserver une suprématie nucléaire. Le gouvernement actuel et le Congrès n'ont pas pris un parti clair sur cette question qui, à l'approche des élections de l'an 2000, reste au centre d'un débat public vigoureux.

Christopher PAINE est directeur de recherche du Groupe «ressources naturelles» du Conseil américain de défense.

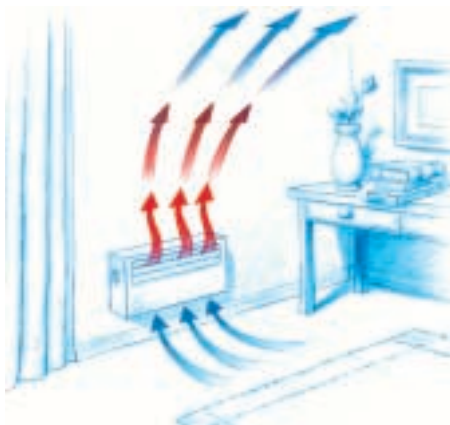
Richard L. GARWIN et Vadim A. SIMONENKO, *Nuclear Weapon Development without Nuclear Testing?*, document pour le Pugwash Workshop on Problems in Achieving a Nuclear-Weapon-Free World, 25-27 octobre 1996.

Christopher E. PAINE et Matthew G. MCKINZIE, *End Run : The U.S. Government's Plan for Designing Nuclear Weapons and Simulating Nuclear Explosions*

under the Comprehensive Test Ban, Natural Resources Defense Council, Nuclear Program, août 1997.

M.G. MCKINZIE, T.B. COCHRAN et C.E. PAINE, *Explosive Alliances : Nuclear Weapons Simulation Research at American Universities*, Natural Resources Defense Council, janvier 1998.

Sidney DRESS, Raymond JEANLOZ et Bob PEURIFOY, *Maintaining a Nuclear Deterrent under the Test Ban Treaty*, in *Science*, vol. 283, pp. 1119-1120, 19 février 1999.



Le fond de l'air effraie

ROLAND LEHOUCQ

La sensation de chaud et de froid dépend de la quantité de chaleur reçue et de la conductivité thermique des matériaux.

« **Q**uelle chaleur ! Mets le ventilateur en route pour avoir un peu d'air frais. » Qui n'a fait cette remarque par une torride journée d'été. Mais pourquoi l'air serait-il plus frais sous prétexte qu'il est agité par les pales du ventilateur ? Avec un peu de mauvais esprit, on peut même affirmer que, le moteur du ventilateur chauffant pendant son fonctionnement, la température de l'air de la pièce augmente légèrement. Pourquoi alors ressentons-nous un courant d'air frais ?

Au sortir d'une douche, une sensation de froid nous étreint. Pourtant l'eau était chaude et la température de la pièce est identique à celle qui régnait au moment où, nu comme un ver, nous sommes entrés dans la douche sans ressentir de fraîcheur particulière.

Le contact avec le plateau de bois du bureau semble plus chaud que celui avec l'un de ses pieds métalliques. Pourtant, bois et métal, situés dans la même pièce, sont *a priori* à la même température.

Toutes ces situations paradoxales résultent de ce que la température ressentie diffère de la température ambiante. Qu'est ce alors que la température d'un corps et comment en ressentons-nous les différents échelons ?

La température du corps

La température interne du corps est de 37 °C et la température ambiante est, dans une atmosphère agréable, de 20 °C. La température de la peau prendra une valeur intermédiaire entre les deux extrêmes qui sera donc légèrement supérieure à la température ambiante (de l'ordre de 25 °C). La température diminue donc de l'intérieur du corps à sa surface, et la peau est surmontée d'une «couche limite» froide où la température rejoint

la température ambiante. C'est pour cette raison qu'après un certain temps, on supporte un bain à 50 °C, par exemple. Même s'il est un peu difficile de rentrer dans un tel bain, après quelques minutes d'immobilité, la fine couche qui surmonte la peau est à une température sensiblement inférieure à 50 °C et le bain ne paraît plus trop chaud. Évidemment, si l'on bouge, l'eau est mélangée et cet effet de couche disparaît.

La température possède deux propriétés importantes. Premièrement, contrairement au volume et à la masse, la température n'est pas une quantité additive : un volume d'eau à 50 °C versé dans un volume d'eau à 20 °C ne fait pas de l'eau à 70 °C. Deuxièmement, chacun sait que la température tend à s'uniformiser, car les zones les plus chaudes réchauffent les plus froides : il y a transfert thermique du chaud vers le froid. À l'aide de ces deux propriétés, on définit l'équilibre thermique d'un corps comme l'état où la température est constante et homogène. La température quantifie alors

l'agitation des atomes composant le corps à l'équilibre thermique : plus ils se déplacent rapidement plus le corps est chaud. À l'équilibre, la température mesure l'énergie cinétique moyenne des atomes du corps ; c'est donc une quantité macroscopique qui reflète la distribution microscopique des vitesses atomiques.

Comment augmenter la température d'un corps ? En lui apportant de l'énergie (on chauffe de l'eau en la plaçant sur du feu ou sur une plaque chauffante) ou du travail mécanique (la compression d'un gaz l'échauffe). Ainsi, en chauffant une barre métallique à l'une de ses extrémités, sa température s'élève de proche en proche sur toute sa longueur. C'est le phénomène de conduction thermique étudié par le mathématicien Joseph Fourier (1768-1830). Empiriquement, Fourier établit que le flux thermique, c'est-à-dire la quantité d'énergie qui passe chaque seconde d'une zone chaude à une autre plus froide, est proportionnel à la section de la barre et à la différence de température entre les deux zones. Le coefficient de proportionnalité, la conductivité thermique du milieu, est d'autant plus grand que le corps transmet efficacement la chaleur.

La conduction résulte de phénomènes microscopiques : à l'endroit chauffé, l'agitation thermique augmente et elle se transmet de proche en proche aux atomes



Dessins de Bruno Vézaro