

TSUNAMIS SANS FRONTIÈRES

« **U**n tsunami n'a pas de frontières... Et en 2004, à Sumatra, le monde entier en prend brutalement conscience. La simulation permet de prévoir de mieux en mieux les effets des séismes et donc définir les zones à évacuer mais, à cette période, cela concernait essentiellement le Pacifique. Le grand tsunami de l'Océan Indien, extrêmement destructeur, n'a pas du tout été anticipé, car il n'y avait absolument aucun système de prévention ni d'alerte dans cette région du monde. Très vite, à partir de 2005, les autorités nationales et internationales équipent alors de systèmes d'alerte tous les océans et les régions potentiellement exposés aux tsunamis », explique Hélène Hébert, experte tsunami à la DAM. En effet, la DAM a pour mission de détecter d'éventuelles explosions nucléaires, en isolant les ondes qu'elles émettent d'un bruit de fond terrestre intense. De sorte qu'une activité de protection civile est née de cette surveillance : la traque des séismes et l'évaluation de leurs effets potentiellement dévastateurs, comme les tsunamis. Cette observation et ces prévisions ont débuté dans le Pacifique dans les années 1960-1970. Mais après la catastrophe de Sumatra, naît à la DAM le Cenalt, le Centre national d'alerte aux tsunamis, où se trouve le laboratoire d'Hélène Hébert, sur le site de Bruyères-le-Châtel (en Essonne). Loin de la mer, ce centre surveille les séismes, évalue les variations des niveaux de la mer, et est responsable de l'alerte tsunami pour les côtes françaises métropolitaines. « Bien sûr, en Europe occidentale, le contexte n'est pas le même que dans le Pacifique et le risque de vagues dévastatrices bien moins grand, précise l'experte de la DAM. Mais l'histoire nous rappelle que des événements rares ne sont pas pour autant impossibles : en 1755, le séisme

TSUNAMI DÛ AU SÉISME D'ALGER EN 2003



HÉLÈNE HÉBERT

de Lisbonne, de magnitude certainement supérieure à 8, a produit un tsunami proche de celui de Sumatra, avec 5 mètres de vagues sur les Antilles françaises et des déferlantes moins importantes en Irlande, en Angleterre et probablement en France. Or les côtes étaient peu occupées à l'époque. Imaginez les dégâts humains et matériels qu'il y aurait aujourd'hui... ». Au quotidien, le Cenalt surveille en permanence, 7 jours sur 7, 24 heures sur 24, les ondes sismiques en Europe, notamment au large de Lisbonne, de l'Algérie et de Nice où se situent des zones sismiques. Et il échange ces données et savoir-faire avec tous les autres centres de prévention des pays voisins. Si un séisme se produit, le Cenalt envoie un message d'alerte en moins de 15 minutes avec les caractéristiques du séisme et les heures d'arrivée estimées du tsunami sur la côte. Une « matrice de décision » a été définie par les services de sécurité civile pour classer les tsunamis en catégorie rouge (risque d'inondation), orange (impact sur la côte) ou jaune (pas d'impact notable). Cette matrice permet de définir rapidement la dangerosité de l'événement en cours. La sécurité civile a alors moins d'une heure (par exemple si le séisme a lieu en Algérie) pour mettre à l'abri les populations.

> déterminer le lieu, la puissance et les conséquences d'un séisme: une forme de science participative.

D'autres dispositifs scientifiques de la DAM, aussi développés pour les besoins de la dissuasion, trouvent des applications civiles, dans la recherche académique et industrielle. C'est le cas par exemple du laser Mégajoule, conçu pour étudier, à très petite échelle, le comportement des matériaux dans des conditions extrêmes de

température et de pression, semblables à celles atteintes lors du fonctionnement nucléaire des armes. Mais ce dispositif a aussi considérablement musclé la filière optique, notamment pour le développement des traitements antireflets des verres, et est utilisé pour des expériences en astrophysique. « Un quart du temps d'utilisation du laser Mégajoule, précise François Geleznikoff, est dédié à la communauté scientifique internationale. »

Une autre réalisation grand public développée au départ pour la dissuasion par les scientifiques de la DAM (en collaboration avec la Direction des recherches technologiques du CEA) est l'électronique « durcie », c'est-à-dire qui résiste à tout type de rayonnements ou de perturbations électromagnétiques... Par exemple, des armes nucléaires pourraient être utilisées pour détruire les têtes nucléaires françaises sur leur trajectoire. Ces armes émettraient en effet des rayonnements, sous forme de photons ou de neutrons, susceptibles d'endommager l'électronique ou de compromettre le fonctionnement de la tête nucléaire. C'est pourquoi la France a conçu des composants électroniques résistants aux rayonnements. Cette électronique dite SoI – pour *Silicon on insulator*, silicium sur isolant – développée par la société Soitec, se retrouve partout : dans les téléphones portables, les satellites soumis au rayonnement solaire, les voitures...

UNE SCIENCE DE POINTE

Bien entendu, pour des raisons de secret-défense, les scientifiques de la DAM ne publient pas tous leurs travaux de recherche... D'autres États pourraient utiliser ces résultats pour développer leur armement nucléaire. Toutefois, les équipes de la DAM publient environ 400 articles scientifiques par an dans des revues à comité de lecture. « Depuis que nous ne pouvons plus faire d'essais nucléaires, le fait de publier certains de nos travaux, explique François Geleznikoff, est une bonne façon de montrer que nous sommes scientifiquement et techniquement au meilleur niveau mondial dans le domaine des armes nucléaires. Ce qui rend la dissuasion crédible. » D'autant que la DAM ne compte pas s'arrêter là. Les progrès en simulation sont réguliers. Aujourd'hui, on ne connaît pas encore parfaitement les forces d'interaction du noyau, qui pourtant sont essentielles pour comprendre et contrôler au mieux la fusion et la fission nucléaires. Mais avec l'augmentation de la puissance de calcul, les ingénieurs espèrent simuler des « objets » de plus en plus volumineux, tout comme ils simuleront avec une précision accrue le noyau. En effet, dans moins de cinq ans, les ordinateurs de technologie Bull de la DAM devraient atteindre, voire dépasser, quelques centaines de petaflops, comme la machine Summit récemment présentée par l'industrie des États-Unis. Un nouveau seuil dans la précision et le réalisme des simulations sera ainsi franchi. ■

Retrouvez l'ouvrage des 60 ans de la DAM
<http://www-dam.cea.fr/dam/#PubliScience>

R

ENDEZ-VOUS

P. 82 Logique & calcul
P. 88 Art & science
P. 90 Idées de physique
P. 94 Chroniques de l'évolution
P. 97 Science & gastronomie
P. 98 À picorer

L'UNIVERS ET LA MORALE VUS PAR LA THÉORIE DU CALCUL

Si l'on considère toute interaction physique comme une sorte de calcul, on est amené à repenser l'évolution de l'Univers, voire à donner des fondements computationnels à l'éthique.

L'AUTEUR



JEAN-PAUL DELAHAYE
professeur émérite
à l'université de Lille
et chercheur au Centre
de recherche en
informatique, signal
et automatique de Lille
(Cristal).

L'Univers n'est pas stable; il s'organise progressivement, se «complexifie». La matière et l'énergie sont des éléments essentiels pour comprendre cette évolution du cosmos, mais leur accorder trop d'importance empêche peut-être de saisir vraiment ce qui se passe.

La théorie du calcul nous aide à évaluer les capacités des ordinateurs, notamment leur puissance, à mesurer et à comparer les algorithmes et à donner un sens au mot «complexité». Elle propose une vision de ce qu'est l'évolution de l'Univers en termes non matériels et non énergétiques.

Les scientifiques qui ont contribué à cette vision informationnelle et computationnelle de l'Univers sont nombreux: ils construisent petit à petit une interprétation nouvelle de l'évolution cosmique, vue comme un progrès du calcul, et certains en ont même déduit des considérations éthiques. Parmi les plus importants de ces chercheurs citons Andrei Kolmogorov, Leonid Levin, Gregory Chaitin, Charles Bennett, John Mayfield, Luciano Floridi, Seth Lloyd et plus récemment Hector Zenil, Cédric Gaucherel et Clément Vidal avec qui j'ai travaillé.

Les astrophysiciens décrivent l'histoire cosmique comme un refroidissement faisant apparaître des composants stables de plus en plus complexes, lesquels interagissent et se combinent selon des règles précises conduisant aux atomes, puis aux molécules organiques et à la vie.

Les théoriciens du calcul interprètent cela sous une forme abstraite: petit à petit, l'Univers

a donné naissance à des structures qui, en interagissant, effectuent des sortes de calculs, et la stabilité de ces structures fait que les résultats des calculs sont conservés et accumulés.

Ainsi, l'évolution biologique élabore des organismes vivants aux formes variées. Les calculs avec mémorisation de la génétique s'effectuent avec une efficacité croissante et donnent naissance à une «complexité organisée». En particulier, les vertébrés supérieurs disposent de cerveaux pour traiter les données fournies par les sens et en garder le souvenir et, chez les humains, le langage et l'écriture accroissent l'efficacité des traitements de l'information et le stockage des résultats. Les technologies de l'information conduisent à leur tour à de nouveaux progrès en efficacité de calcul et de mémorisation massive d'informations. Ces soixante dernières années, la vitesse de calcul informatique et la capacité de stockage de l'information ont été multipliées par plus de un million. Le calcul et le stockage cumulatif de l'information progressent dans l'Univers, en même temps qu'augmente la complexité organisée.

DEUX NOTIONS DE COMPLEXITÉ

Le mathématicien soviétique Andrei Kolmogorov, avec Leonid Levin, et, indépendamment, Gregory Chaitin ont proposé une mesure de la complexité des objets numériques (textes, images, sons, vidéos, etc.), qu'on peut appliquer à tous les objets (discrétisés) de l'Univers. La taille du plus court programme engendrant l'objet *Ob* est cette



Retrouvez la rubrique
Logique & calcul sur
www.pourlascience.fr