

L'EXPERIMENTATION NUMERIQUE

Marie Farge

LMD-CNRS

Ecole Normale Supérieure, Paris

Les premières personnes qui réalisèrent l'incidence que pouvaient avoir les ordinateurs dans le domaine de la recherche fondamentale furent sans doute John Von Neumann et Stan Ulam. Ce dernier raconte dans son autobiographie que: *'Presque immédiatement après la guerre, John et moi avons commencé à discuter des possibilités d'utiliser les ordinateurs de façon heuristique, pour essayer d'obtenir quelques lumières sur des questions de mathématiques pures. En produisant des exemples et en observant les propriétés de certains objets mathématiques, on peut espérer obtenir des éléments de réponse quant au comportement des lois générales'*. On voit ainsi se préciser, dès l'origine, l'apport des ordinateurs en mathématiques et en physique, à savoir: la possibilité d'expérimenter et de 'voir' les solutions des équations ou les conséquences des principes fondamentaux que l'on étudie. En effet, il existe de nombreux domaines pour lesquels on connaît les équations de base, dérivées de principes tels que la conservation de l'énergie ou la conservation de la masse, sans savoir pour autant les résoudre dans la plupart des cas qui nous intéressent. On a par exemple l'équation de Newton pour décrire la mécanique céleste, mais on ne sait déjà plus l'intégrer analytiquement pour un système de plus de deux corps en interaction, et encore moins quand on veut prendre en compte toutes les étoiles d'une galaxie. C'est alors que l'approche numérique prend tout son intérêt.

Dans la pratique, la démarche numérique procède plus de la méthode expérimentale que de l'approche théorique. En quelque sorte, elle réintroduit en physique, mais à une nouvelle échelle, la notion classique d'"expérience de pensée", c'est-à-dire la possibilité de faire des expériences à partir des équations ou des principes gouvernant les phénomènes. Tout comme l'expérience de laboratoire, l'expérience numérique peut conduire à la découverte de comportements inattendus et remettre en cause des hypothèses jusqu'alors admises. C'est ainsi qu'en 1955, Fermi, Pasta et Ulam découvrirent, grâce à une expérience numérique, qu'un système de particules en interaction faiblement non linéaire, au lieu de tendre vers l'équipartition de l'énergie comme le prévoit la mécanique statistique, présente un comportement quasi-périodique, ce qui contredit l'hypothèse ergodique. Au début des années 60, Kruskal et Zabusky, reprenant cette expérience mais en modifiant la non linéarité, mirent en évidence des solutions du genre onde, dont le comportement évoque cependant celui des particules (car elles sont localisées dans l'espace et préservent leur forme ainsi que leur vitesse lors des interactions), qu'ils appelèrent ondes solitaires ou solitons. Depuis, de nombreuses solutions de ce type ont été trouvées, aussi bien en laboratoire que numériquement, et ce pour toute une variété de problèmes. On pense en particulier que la tache rouge de Jupiter pourrait être un soliton bidimensionnel.

L'étude des phénomènes à l'aide d'outils numériques n'est guère plus 'artificielle' que cette même étude effectuée au moyen d'expériences aussi complexes que celles utilisées en physique aujourd'hui: le risque d'illusion n'est pas plus grand quand on regarde le comportement de systèmes dynamiques à l'aide d'ordinateurs que quand on observe celui des particules élémentaires à l'aide d'accélérateurs ou de galaxies à l'aide de télescopes. En effet, la distance entre les phénomènes étudiés et l'observation que l'on en fait est telle que l'on a toujours besoin de principes théoriques pour discerner ce que l'on tient pour vrai du reste des artefacts. L'intérêt de l'approche numérique n'est pas de remplacer l'expérience: le

numérique, tout comme la théorie, a besoin de l'expérience de laboratoire, ou de l'observation des phénomènes naturels, pour confirmer ou infirmer ses prédictions, au moins sur quelques cas tests. Cette confrontation critique est la base de toute démarche scientifique. L'intérêt du numérique est d'ouvrir de nouveaux champs d'expérimentation, inaccessibles en laboratoire, telle la simulation du climat où, jusqu'à présent, on se contentait d'observer. En fait, le numérique est une troisième voie de recherche, interagissant à la fois avec la théorie et avec l'expérience.