



4. LA DISCRÉTISATION. Quiconque calcule avec des billes pour se repérer (comme on le faisait autrefois quand on calculait avec des jetons) n'a pas besoin, à chaque déplacement de bille, de la poser au centre du trou visé. De légères erreurs lors des déplacements se corrigent automatiquement du seul fait de la forme de la surface, qui rectifie les écarts modérés. Ce passage du plan continu à une surface autocorrectrice à trous est analogue à l'introduction des codes correcteurs d'erreur dans les ordinateurs. Ces codes transforment un ensemble de positions infini (difficile à contrôler lors de longues séquences d'opérations), en un ensemble fini de positions. C'est la discrétisation de l'espace d'états. Ces codes correcteurs qui réduisent l'espace d'états de l'ordinateur, correspondent physiquement à un refroidissement du système et produisent donc une dissipation de chaleur. Dans le cas des ordinateurs quantiques — qui en théorie fonctionnent de manière réversible, donc sans dissipation — les codes correcteurs d'erreur seraient le dispositif consommateur d'énergie.

aujourd'hui la cryptographie mathématique, qui se voit mise en concurrence avec la cryptographie quantique et qui, si l'on progresse dans la réalisation concrète des ordinateurs quantiques, devra être revue de fond en comble à cause des algorithmes de P. Shor et de L. Grover.

La théorie de la transmission d'informations de Claude Shannon, qui est essentiellement classique, a été ajustée au cas quantique ; des résultats particuliers concernant la compression de l'information quantique ont été proposés. Tout cela, ajouté à la nouvelle algorithmique, constitue maintenant un ensemble théorique puissant, une nouvelle discipline à l'intersection de l'informatique et de la physique. Cette nouvelle discipline est la véritable informatique

théorique et s'oppose à l'informatique théorique classique, fondée sur une conception en partie erronée de l'information et du calcul qui néglige la réalité physique de notre Univers. Pour Andrew Steane, «Le fait que la théorie classique de l'information s'adapte à la mécanique quantique comme une main dans un gant et la surprenante cohérence générale de la nouvelle discipline donnent l'impression que nous accédons à des vérités profondes de la nature.»

Concernant l'informatique quantique le scepticisme est une attitude raisonnable, mais il semble non moins raisonnable de proclamer, avec J. Preskill, que «la construction d'ordinateurs quantiques est un rêve qui pourrait changer le monde, aussi laissez-nous rêver.»

Jean-Paul DELAHAYE est professeur d'informatique à l'Université de Lille.

J. PRESKILL, *Course Information for Physics 229, Advanced Mathematical Methods of Physics*, California Institute of Technology, Pasadena. Remarquables notes d'un cours donné en 1997-1998. Disponible à l'adresse Internet : <http://www.theory.caltech.edu/people/preskill/ph2>

Andrew STEANE, *Quantum Computing*. 1997. Notes disponibles à la même adresse que le précédent cours.

C. BENNETT, G. BRASSARD, C. CRÉPEAU, R. JOZSA, A. PERES et W. WOOTTERS, *Teleporting an Unknown Quantum State ...*, in *Physical Review Letters*, 29 mars 1993, vol. 70, n°13, pp. 1895-1899.

I. CHUANG, N. GERSHENFELD et M. KUBINEC, *Experimental Implementation of Fast Quantum Searching*, in *Physical Review Letter* (à paraître).

J.-P. DELAHAYE, *Les ordinateurs quantiques*, in *Pour La Science*, n° 209, 100-105, mars 1995.

L. K. GROVER, *A Fast Quantum Mechanical Algorithm ...*, in *Proceedings of the 28th Annual Symposium on the Theory of Computing*. STOC, pp. 212-219, 1996,

P. SHOR, *Polynomial-time Algorithms for Prime Factorization and Discrete Logarithm on a Quantum Computer*, in *Proc. of the 35th Annual Symposium. on Foundations of Computer Science, Santa Fe*, IEEE Computer Society Press, pp. 124-139, 1994.

Aquaculture des crevettes et environnement

CLAUDE BOYD • JASON CLAY

De nouvelles méthodes d'aquaculture des crevettes réduisent les pollutions associées, accroissent les profits et rendent cette activité durable.

L'aquaculture des crevettes se développe depuis les années 1970, surtout dans les zones tropicales. Les étangs d'élevage occupent aujourd'hui environ 1,2 million d'hectares, principalement en Thaïlande, en Indonésie et en Inde. En Amérique centrale et en Amérique du Sud, près de 200 000 hectares de littoral ont été aménagés en fermes à crevettes. Les crustacés ainsi produits sont en grande majorité consommés aux États-Unis, en Europe et au Japon. Toutes les espèces sont, en France, vendues sous le nom de gambas.

Qualifié de «révolution bleue», il y a un quart de siècle, l'élevage des crevettes et les autres formes d'aquaculture devaient réduire la surexploitation des océans : la pêche d'un kilogramme de crevettes nécessite en général la capture de dix kilogrammes d'animaux marins. Malheureusement, non seulement l'aquaculture n'a pas réduit la pression due à la pêche, mais elle dégrade l'environnement de plusieurs façons.

Normalement, les crevettes se reproduisent dans l'océan. Chaque femelle pond, en une seule fois, plus de 100 000 œufs qui, lorsqu'ils ont été fécondés, éclosent en 24 heures : ils produisent des larves qui se nourrissent de plancton. Environ 12 jours plus tard, les jeunes crevettes migrent de l'océan vers des estuaires, riches en nutriments, où elles poursuivent leur développement. Puis elles retournent dans l'océan, où elles deviennent adultes et se reproduisent à leur tour.

L'élevage des crevettes reproduit les principales étapes de ce cycle. Les aquaculteurs déclenchent la ponte des crevettes adultes dans des éclosiers en agissant sur l'éclairage, la tempéra-

ture, la salinité, les cycles hormonaux et les nutriments. Peu après l'éclosion des œufs, les larves sont transférées dans des bassins d'élevage pour y grandir. Elles sont d'abord nourries d'algues microscopiques, puis elles reçoivent de petits crustacés nommés artémia et des aliments industriels. Après trois semaines de cette alimentation, elles sont placées dans des étangs plus grands, généralement des plans d'eau de moins de deux mètres de profondeur, entourés de digues de terre, et dont la taille varie de quelques centaines de mètres carrés à plusieurs hectares.

L'aquaculture qui augmente la pêche

En Asie du Sud-Est, la plupart des étangs d'élevage sont peuplés avec des crevettes issues d'éclosiers, mais, en Amérique latine, de nombreux aquaculteurs préfèrent élever des larves pêchées dans l'océan : elles seraient plus grosses et survivraient mieux dans les étangs d'élevage. Ces larves, qui valent jusqu'au double de celles qui sont produites en éclosier, font l'objet d'une pêche intensive qui semble néfaste pour les populations de crevettes : les patrons des crevettiers d'Amérique centrale affirment que leurs prises ont diminué depuis que l'on collecte massivement les larves dans les estuaires voisins. En outre, les filets à mailles serrées utilisés pour cette pêche capturent au passage de nombreux autres animaux (le chiffre de 100 animaux capturés pour une seule larve de crevette a même été avancé), ce qui menace d'autres espèces.

Les étangs d'élevage sont souvent installés dans des milieux naturels fra-

giles, tels les marais littoraux et les mangroves, les forêts d'arbres qui résistent au sel. Les mangroves absorbent les excès de nutriments qui, autrement, pollueraient les eaux côtières, et elles abritent des larves et de jeunes animaux marins, qui s'y développent avant de partir pour la pleine mer. La section Agriculture et alimentation de l'Organisation des Nations unies a évalué que 50 pour cent des mangroves de la planète ont déjà été détruites par les populations côtières qui y cherchaient du bois de construction et du bois à brûler.

Globalement, l'aquaculture des crevettes n'est directement responsable que de la disparition d'à peine dix pour cent des mangroves, mais les disparités sont fortes : dans quelques zones, la totalité des mangroves détruites le sont par les aquaculteurs. Ainsi, en Équateur, les bassins ont d'abord été construits sur des terrains salés, quasi dépourvus de faune et de flore, mais, à mesure que ces terrains ont été occupés, les étangs à crevettes ont envahi des marais et des mangroves. En Thaïlande et dans de nombreuses régions d'Asie, l'aquaculture des crevettes ne s'est jamais limitée aux terrains salés. Les plus grandes fermes ne se sont pas implantées à l'emplacement des mangroves, mais près de 40 pour cent des petites exploitations, installées sans réflexion ou sans moyens financiers, ont empiété sur ces milieux.

On classe les fermes aquacoles en trois catégories, en fonction de la den-

1. LES CREVETTES *Penaeus vannamei* et *Penaeus monodon* représentent respectivement 22 et 58 pour cent des crevettes élevées dans des étangs d'aquaculture, dans les pays tropicaux.