



LA CHRONIQUE DE
GILLES DOWEK

L'ART DE LA SYNCHRONISATION

De l'informatique à la biologie, coordonner les opérations est impératif. L'étude de la synchronisation dans une discipline éclaire ce phénomène dans d'autres domaines.



Les ciliés se déplacent en bougeant leurs cils. Mais seul un mouvement synchronisé de ces derniers permet une action efficace.

La meilleure façon de marcher, c'est de mettre le pied gauche devant le droit, le pied droit devant le gauche et de recommencer. Mais le plus important, dans cette entreprise, est de ne pas tenter de faire ces deux opérations simultanément. Il est donc nécessaire de synchroniser les muscles qui les commandent. Chez de nombreuses espèces, cette synchronisation est assurée par les nerfs moteurs et le cerveau qui, tel un chef d'orchestre, envoie un signal, d'abord à une jambe, puis à l'autre.

De façon similaire, les différents circuits d'un ordinateur sont synchronisés par une horloge qui bat la mesure en émettant un signal périodique, et par un arbre d'horloge qui, tel le système nerveux d'un animal, distribue ce signal à l'ensemble des circuits.

Mais, de même que dans un orchestre de chambre, les musiciens se synchronisent souvent sans chef, il existe aussi des algorithmes de synchronisation moins centralisés. L'un des plus simples permet à une ligne de fusiliers de faire

feu en même temps, même si chacun ne peut communiquer qu'avec ses deux voisins. Pour cela, il suffit que chaque fusilier compte à rebours, en se synchronisant sur son voisin de gauche, quand il s'aperçoit qu'il n'est pas au même point de son décompte. Ainsi, une vague de synchronisation se propage, de la gauche vers la droite, le long de la ligne de

Certains agents se synchronisent sans autorité centrale ni moyens de calcul importants

fusiliers et, pourvu qu'ils commencent leur décompte assez haut, les fusiliers finissent par faire feu en même temps. Dans cet algorithme, le fusilier le plus à gauche joue, malgré lui, le rôle de chef d'orchestre, bien qu'il se comporte exactement comme les autres.

Dans cet algorithme, chaque fusilier effectue une opération simple: un compte à rebours, ce qui ne lui demande que de mémoriser un nombre et d'effectuer une soustraction. Cela choque sans doute notre intuition, mais un grand nombre d'agents peuvent se synchroniser ainsi, sans autorité centrale ni moyens de calcul importants. Il existe même des algorithmes qui demandent, à chaque agent, des capacités de calcul et de mémorisation plus faibles encore.

L'étude des techniques de synchronisation en informatique éclaire peut-être certains phénomènes du vivant, tel le mouvement des ciliés (*Ciliophora*), organismes unicellulaires qui se déplacent grâce à des cils vibratiles recouvrant leur surface.

Si les cils vibraient indépendamment les uns des autres, le mouvement de ces protozoaires serait aléatoire, comme le mouvement brownien. Or cela est loin d'être le cas: les ciliés se déplacent très efficacement et, dans leurs mouvements, rien ne semble laissé au hasard. Le mouvement de leurs cils est donc nécessairement synchronisé, bien que ces microorganismes n'aient ni nerfs ni cerveau pour jouer les chefs d'orchestre. Ainsi, les ciliés utilisent sans doute un algorithme de synchronisation décentralisé, faisant appel à des canaux de communication, intra ou extracellulaires, entre les cils.

Les cils de ces microorganismes ne sont pas les seuls à se synchroniser ainsi. Les oiseaux migrateurs, par exemple, semblent de même s'organiser en formations sans chef d'orchestre.

Décrire ainsi, à des échelles très différentes, les techniques de synchronisation des lignes de fusiliers, des cils des protozoaires, des formations d'oiseaux migrateurs, mais aussi des essaims d'insectes ou des personnes en mouvement dans une foule, comme des algorithmes décentralisés est un exemple de la façon dont le développement d'une science donne, par porosité, de nouveaux langages et de nouvelles méthodes aux autres sciences. ■

GILLES DOWEK est chercheur à l'Inria et membre du conseil scientifique de la Société informatique de France.

POUR LA SCIENCE

Édition française de Scientific American

COMPLÉTEZ VOTRE COLLECTION DÈS MAINTENANT !



N° 475 (mai 17)
réf. PL475



N° 476 (juin 17)
réf. PL476



N° 477 (juil. 17)
réf. PL477



N° 478 (août 17)
réf. PL478



N° 479 (sept. 17)
réf. PL479



N° 480 (oct. 17)
réf. PL480



N° 481 (nov. 17)
réf. PL481



N° 482 (déc. 17)
réf. PL482



N° 483 (janv. 18)
réf. PL483



N° 484 (févr. 18)
réf. PL484



N° 485 (mars 18)
réf. PL485



N° 486 (avril 18)
réf. PL486

RETROUVEZ L'ENSEMBLE DES ANCIENS NUMÉROS SUR **BOUTIQUE.POURLASCIENCE.FR**

À retourner accompagné de votre règlement à :
Pour la Science – Service VPC – 19 rue de l'Industrie – BP 90053 – 67402 Illkirch Cedex – email : pourlascience@abopress.fr

5,90 € dès le 2^e numéro acheté !

☒ **OUI, je commande des numéros de Pour la Science, au tarif unitaire de 5,90 € dès le deuxième acheté.**

1 / JE REPORTE CI-DESSOUS LES RÉFÉRENCES à 5 chiffres correspondant aux numéros commandés :

1^{re} réf. _____ x 6,50 € = _____ €
2^e réf. _____ x 5,90 € = _____ €
3^e réf. _____ x 5,90 € = _____ €
4^e réf. _____ x 5,90 € = _____ €
5^e réf. _____ x 5,90 € = _____ €
6^e réf. _____ x 5,90 € = _____ €

Frais de port (4,90€ France – 12€ export) _____ + _____ €

Je commande la reliure Pour la Science (capacité 12 n°s) (A0000905) au prix de 14 € _____ + _____ €

TOTAL À RÉGLER _____ €

2 / J'INDIQUE MES COORDONNÉES

☐ M. ☐ Mme

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal _____ Ville : _____

Téléphone _____

J'accepte de recevoir les informations de Pour la Science et de ses partenaires ☐ OUI ☐ NON ☐ OUI ☐ NON

3 / JE CHOISIS MON MODE DE RÈGLEMENT

☐ Par chèque à l'ordre de Pour la Science

☐ Carte bancaire

N° _____

Date d'expiration _____

Clé (les 3 chiffres au dos de votre CB) _____

Signature obligatoire :

Offre valable jusqu'au 31/12/2018. En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès du groupe Pour la Science. **Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'organismes partenaires. En cas de refus de votre part, merci de cocher la case ci-contre.** ☐



PLUS SIMPLE, PLUS RAPIDE
ABONNEZ-VOUS SUR BOUTIQUE.POURLASCIENCE.FR

Groupe Pour la Science – Siège social : 170 bis, boulevard du Montparnasse, CS20012, 75680 Paris
Cedex 14 – Sarl au capital de 32000 € – RCS Paris B 311 797 393 – Siret : 311 797 393 000 23 – APE 5814 Z