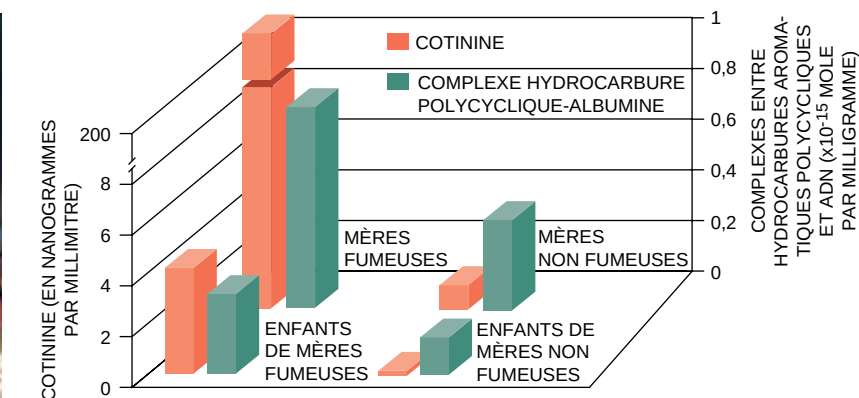




3. LE TABAGISME PASSIF augmenterait le risque que les jeunes enfants aient, un jour, un cancer pulmonaire. L'auteur et ses collègues ont montré que les concentrations en cotinine (un dérivé de la nicotine, qui est un marqueur de l'inhalation de fumée) et en complexes hydrocarbures aromatiques polycycliques-albumine (un marqueur indirect

des lésions de l'ADN) étaient plus élevées chez les mères fumeuses que chez les mères non fumeuses, mais aussi chez les enfants des mères fumeuses (*histogramme de droite*). Ces femmes fumaient moins d'un paquet de cigarettes par jour, ce qui prouve que la fumée de cigarette – même en faible quantité – est une menace pour les enfants.

fréquence des caractères génétiques qui favorisent un type particulier de cancer varie d'une population à l'autre.

De surcroît, l'âge d'une personne au moment de son exposition à un agent cancérigène est essentiel : le risque est supérieur pour les fœtus, les bébés et les enfants exposés aux agents cancérigènes de l'environnement. Toutes les études réalisées sur la pollution atmosphérique, la fumée de cigarette, les hydrocarbures aromatiques polycycliques, les pesticides, les nitrosamines, l'aflatoxine B1 et les rayonnements montrent que le risque de cancer augmente quand l'exposition aux agents cancérigènes commence au stade utérin ou pendant l'enfance. C'est sans doute parce que la période d'incubation est plus longue et que la multiplication cellulaire augmente : or, les cellules qui prolifèrent risquent plus de subir des dommages génétiques que les cellules au repos. Chez les jeunes enfants, les mécanismes d'inactivation des agents cancérigènes et de réparation des anomalies moléculaires sont moins efficaces que chez l'adulte. De plus, les enfants absorbent souvent des quantités d'agents cancérigènes plus importantes que les adultes, si l'on rapporte ces quantités à leur poids.

Ainsi, on estime que les bébés ingèrent 10 à 20 fois plus de dioxine en une journée que les adultes (par rapport à leur poids). Nous avons récemment montré que, chez des nouveau-nés d'une zone polluée de l'Europe de l'Est, la concentration sanguine en complexes ADN-hydrocarbures aromatiques polycycliques est supérieure à celle de leur mère, bien que le fœtus ne soit exposé qu'au dixième de la dose d'hydrocarbures aromatiques polycycliques absorbée par la mère. Nous avons également

montré que de jeunes enfants dont les mères fumaient une dizaine de cigarettes par jour avaient des concentrations sanguines en protéines complexes hydrocarbures aromatiques polycycliques supérieures à celles des enfants nés de mères non fumeuses.

Ces études sur le cancer ont mis en évidence deux points qui auront des conséquences notables en santé publique. Tout d'abord, la plupart des cancers sont partiellement dus à l'environnement ; pour s'en protéger, on devra modifier les comportements à risques et prendre des mesures visant à réduire les expositions involontaires aux substances cancérigènes présentes dans l'air, dans l'eau, dans la nourriture et sur les lieux de travail. On estime qu'en l'absence de facteurs cancérigènes dans l'environnement, l'incidence du cancer diminuerait de 80 à 90 pour cent.

D'autre part, les agents cancérigènes présents dans l'environnement sont plus nocifs pour certains individus que pour d'autres ; pour améliorer la prévention, on devra protéger ces sujets plus vulnérables par diverses mesures, telles que des campagnes d'information ou des lois.

Aujourd'hui, les pouvoirs publics ne prennent pas en considération la disparité des susceptibilités individuelles face aux agents cancérigènes. Pour déterminer les doses d'agents cancérigènes qui entraîneraient un nombre «inacceptable» de cancers, on utilise un facteur de risques global, en admettant que toutes les personnes réagissent de la même façon à ces agents. Cette hypothèse est fautive, et la méthode actuelle sous-estime les risques pour certains groupes de la société. Ainsi, les personnes qui ont des facteurs de susceptibilité pré-

sentent dix fois plus de risques d'avoir un cancer que la population supposée «standard» et homogène.

Pour éviter d'exposer excessivement les populations sensibles (certaines ethnies, les femmes, les enfants, les vieillards), on devrait les avertir et rechercher des normes environnementales et des programmes de santé publique qui ne fassent pas courir les plus grands risques aux personnes les plus sensibles de la population.

Le meilleur traitement du cancer est sa prévention. En évitant ne serait-ce que 20 cancers sur 100, plus de 50 000 vies seraient épargnées, chaque année, en France. Les spécialistes de l'épidémiologie moléculaire pourraient faciliter l'élaboration de mesures préventives, et insister sur la nécessaire protection des plus vulnérables.

Frederica PERERA est directeur adjoint du Centre de cancérologie presbytérien, à Columbia.

F.P. PERERA et I.B. WEINSTEIN, *Molecular Epidemiology and Carcinogen-DNA Adduct Detection : New Approaches to Studies of Human Cancer Causation*, in *Journal of Chronic Diseases*, vol. 35, pp. 581-600, 1982.

Molecular Epidemiology, sous la direction de P.A. Schulte et F.P. Perera, Academic Press, 1993.

C.C. HARRIS, p53 : *At the Crossroads of Molecular Carcinogenesis and Risk Assessment*, in *Science*, vol. 262, pp. 1980-1981, 24 décembre 1993.

J.D. GROOPMAN et al., *Molecular Biomarkers for Aflatoxins and Their Application to Human Cancer Prevention*, in *Cancer Research*, vol. 54, n° 75, pp. 1907S-1911S, 1^{er} avril 1994.

LA CONSULTATION À DISTANCE
Les serveurs de vidéoconférences permettent aux médecins de consulter des confrères, afin d'obtenir plus d'informations sur certains cas.



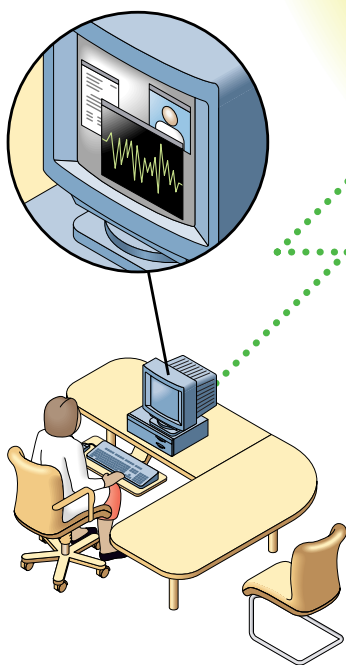
Programmes pour réseaux fiables

KENNETH BIRMAN • ROBERT VAN RENESSE

Les techniques qui permettent aux réseaux d'ordinateurs de se réorganiser peuvent rétablir le fonctionnement d'un réseau quand une partie de celui-ci tombe en panne.

LE MÉDECIN

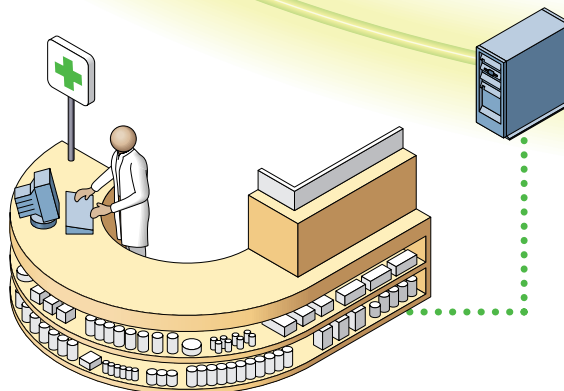
D'un cabinet privé, dans un autre immeuble que l'hôpital, un médecin peut surveiller des patients hospitalisés. Il accède ainsi aux rythmes respiratoire et cardiaque, aux résultats des analyses de laboratoire et aux dossiers médicaux mis à jour.



La navigation sur le réseau *Internet* n'est plus uniquement un passe-temps ludique : un nombre croissant d'entreprises utilisent des services en ligne analogues à ceux qui sont accessibles par le réseau *Internet*. Ces services facilitent la gestion d'informations importantes et accélèrent les prises de décision. Cependant, les entreprises qui se fondent sur ces systèmes se préoccupent des pannes éventuelles des réseaux. Les plus inquiets sont les utilisateurs des systèmes informatiques répartis, c'est-à-dire les systèmes qui relient des programmes, des serveurs et des

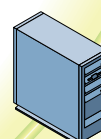
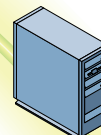
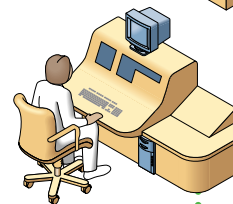
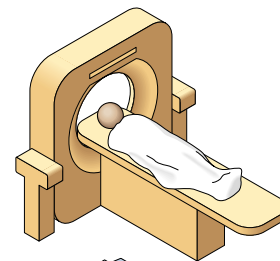
fichiers de données disséminés à travers un vaste réseau d'ordinateurs et de terminaux.

Tous ceux qui utilisent des réseaux savent, ô combien, que les programmes qui opèrent à travers les réseaux sont faillibles. Leslie Lamport, de la Société *Digital Equipment*, définit, avec humour, un système informatique réparti comme «un système où la défaillance d'un ordinateur dont vous ignoriez jusqu'à l'existence peut rendre votre propre ordinateur inutilisable». Cette «toile d'araignée mondiale» qu'est le *World Wide Web* (un réseau de serveurs qui couvre le monde) n'est évidem-



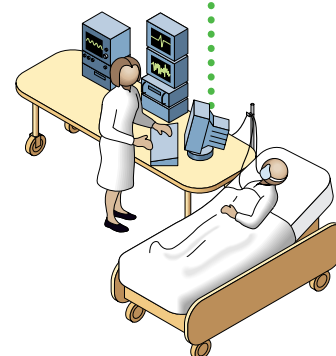
LA PHARMACIE
Le pharmacien hospitalier complète aussi le dossier médical des patients en notant quand les traitements prescrits ont été administrés. En enregistrant avec précision tous les médicaments que prend un malade, on évite les interactions médicamenteuses dangereuses.

AU LABORATOIRE
Pour s'assurer que médecins et infirmières ne prennent pas des décisions fondées sur des données périmées, les fichiers du serveur qui stocke les résultats d'analyses de laboratoire sont copiés sur plusieurs serveurs dans tout le système. Quand le serveur principal n'est plus accessible, les requêtes d'accès aux dossiers sont dirigées vers d'autres sites.



LE SUIVI DES PATIENTS

Le serveur de dossiers médicaux stocke les observations cliniques, les mesures physiologiques (tels leur rythme cardiaque et leur pression sanguine) et la liste des médicaments administrés. Ces informations doivent toujours être à la disposition des médecins et des infirmières ; le système garantit leur accessibilité en dupliquant les données et les programmes qui les gèrent.



ment pas à l'abri (voir l'encadré de la page 84) : en 1995, plusieurs coupures ont bloqué toutes les communications. On a attribué ces défaillances à des erreurs dans les programmes, à l'engorgement du trafic sur les lignes de transmission, à des surcharges des machines ou à des pannes des serveurs, c'est-à-dire les ordinateurs qui stockent les documents auxquels accèdent les utilisateurs ; une combinaison de ces facteurs a vraisemblablement contribué à ces coupures partielles. Sans aucun doute, les blocages se multiplieront à mesure que se développeront les réseaux informatiques, *Internet* lui-même ainsi que tous les autres réseaux informatiques desservant les banques, les universités ou les sociétés.

Une panne d'ordinateur n'a pas toujours de conséquences dramatiques : quand un distributeur de billets ne fonctionne pas, on traverse la rue et l'on s'approvisionne au distributeur voisin. En revanche, l'interruption du fonctionnement de réseaux complexes peut avoir des conséquences désastreuses. Le 15 juillet 1994, le NASDAQ (un marché boursier exclusivement électronique destiné aux entreprises de haute technologie) ouvrit avec deux heures de retard en raison d'un problème mystérieux qui avait bloqué le fonctionnement du système tout entier.

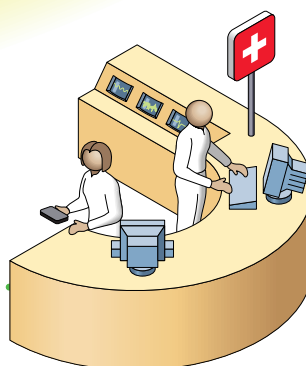
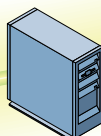
Initialement, les opérateurs du système pensèrent qu'une erreur de programme avait déclenché l'arrêt, mais ils identifièrent que celui-ci résultait du dysfonctionnement d'un disque dur. Comme le début des échanges n'avait été retardé que de quelques heures, peu d'argent fut perdu, mais le marché aurait dû faire face à d'énormes pertes si les échanges n'avaient repris si vite.

Dans un autre exemple datant de janvier 1990, le réseau téléphonique de la compagnie américaine AT&T a connu un dérangement de grande envergure lorsqu'un central électronique du système tomba en panne. Les appels furent automatiquement transférés à un central de secours, mais ce dernier tomba en panne à son tour en raison d'une erreur logicielle. La défaillance se propagea à travers tout le réseau et aboutit à une interruption des communications à l'échelle nationale : neuf heures durant, 60 000 personnes furent privées du téléphone. Pour tous ceux qui sont familiarisés avec la difficulté que représente la gestion d'un réseau même simple, l'étonnant n'est pas que ces incidents surviennent, mais plutôt qu'ils ne soient pas plus fréquents. La France n'a jamais connu de problèmes de ce genre grâce à une mise en place progressive du réseau et à des tests draconiens.

1. DANS LES HÔPITAUX, les réseaux relieront bientôt les patients au personnel médical de l'ensemble de l'hôpital ou de quelque lieu que ce soit dans le monde. Afin que des pannes informatiques ne mettent pas en danger les patients, les réseaux devront utiliser la technique de duplication active décrite dans cet article.

LE PERSONNEL SOIGNANT

Le personnel soignant met fréquemment à jour les dossiers des patients, entrant de nouvelles informations dans le système à partir d'un des terminaux de l'hôpital ou d'un bloc-notes électronique.

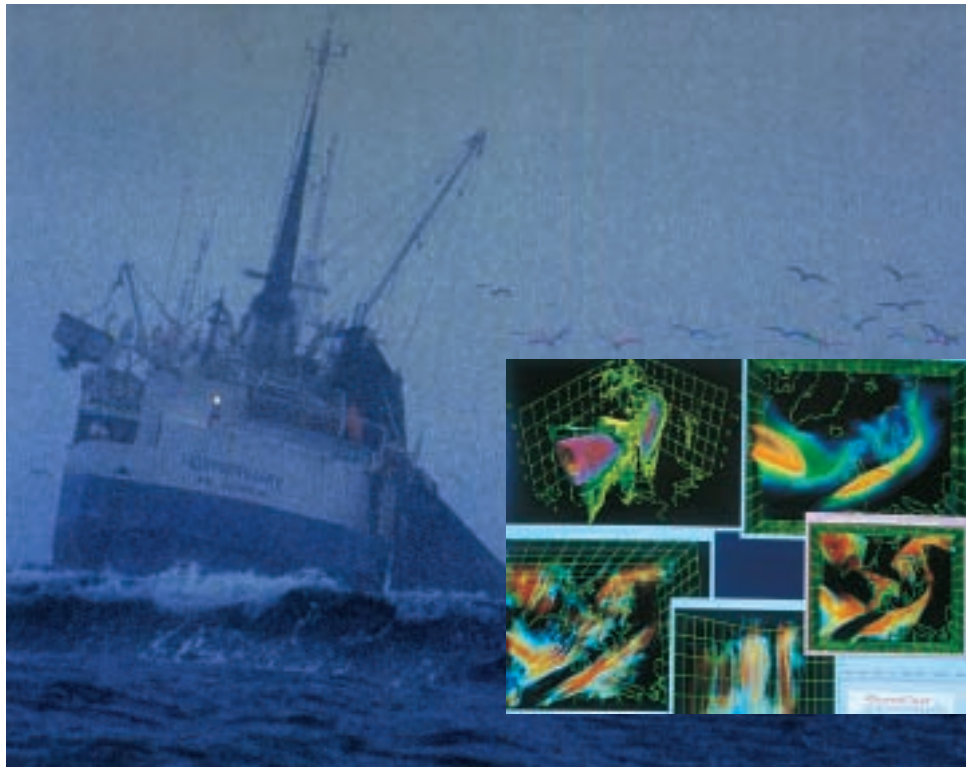


Des passerelles fiables

Même une brève défaillance des systèmes répartis est grave quand les programmes utilisés doivent fonctionner en permanence. Ainsi, les réseaux qui gèrent le trafic aérien ou les opérations bancaires doivent être extrêmement fiables et constamment remis à jour : un message tel que «l'ordinateur central ne répond pas» ou l'affichage d'informations périmées sur le trajet d'un avion en vol ou la cote de valeurs boursières risqueraient de provoquer des accidents ou des désastres financiers. Or les systèmes informatiques répartis se multiplient ; leur fiabilité devient vitale tant pour les entreprises que pour les particuliers. On vante aujourd'hui les avantages considérables des autoroutes de l'information, mais on n'obtiendra les avantages rêvés que si les liaisons entre les ordinateurs sont étudiées de près. Depuis la fin des années 1970, de nombreux informaticiens recherchent des programmes qui rendraient les réseaux plus sûrs et plus fiables, bref plus «robustes».

Pourquoi les réseaux tombent-ils en panne? Habituellement, un problème isolé en un site quelconque se propage dans le réseau, ce qui provoque l'interruption en chaîne des programmes, ordinateur après ordinateur. Il serait vain de renforcer les composants individuels, par exemple en introduisant des ordinateurs et des disques spécialement conçus pour tolérer les erreurs, car on ne parerait pas aux incidents imprévisibles tels qu'une fuite d'eau dans la salle informatique ou une panne de courant ; de surcroît, les communications peuvent être coupées par inadvertance ou par sabotage. Même si les ingénieurs et les programmeurs améliorent sans cesse les matériels et les logiciels, les ordinateurs ne sont jamais totalement fiables.

En outre, des ordinateurs fiables interconnectés et des programmes sans erreur ne conduisent pas nécessairement à des systèmes répartis robustes ; ils constituent seulement des réseaux qui fonctionnent correctement dans la plupart des conditions. Les programmes de gestion du courrier électronique, les tribunes de discussion et le Web ont été réalisés à partir de composants individuellement très fiables. Néanmoins, ces systèmes se bloquent fréquemment lorsqu'un événement inattendu survient dans l'un des composants du système. Le système tombe



2. UN RÉSEAU DE SURVEILLANCE MÉTÉOROLOGIQUE alerte les pêcheurs norvégiens en cas de tempêtes dangereuses (à gauche) ou de marée noire (à droite). Le système informatique StormCast relie des caméras éloignées, des stations météorologiques et des

en panne lorsqu'une machine ou une ligne de transmission est surchargée. D'autres formes de protection sont donc nécessaires.

Depuis 20 ans, les programmeurs fiabilisent les réseaux en mettant au point des logiciels qui tolèrent les erreurs : ces programmes permettent aux systèmes informatiques de quitter une tâche quand un blocage survient. Plus généralement, on cherche à éliminer les chaînes de dépendance internes qui subordonnent le fonctionnement d'un système réparti au fonctionnement de tous ses composants. Les systèmes qui en résultent continuent à fonctionner même lorsque certains sites sont déconnectés : le système change sa configuration de manière à contourner les serveurs indisponibles.

Sauvés par les sauvegardes

Les systèmes qui possèdent cette aptitude sont des systèmes répartis à haute disponibilité. En dupliquant en permanence les informations critiques et en distribuant les multiples copies de sauvegarde à leurs ordinateurs individuels, ces systèmes s'adaptent à des aléas de fonctionnement tels qu'un

lecteur de disque défectueux en un site, une surcharge dans un autre, une connexion coupée, etc. Tant que les défaillances surviennent à un rythme qui laisse aux programmes le temps de s'adapter, ces systèmes peuvent répondre aux requêtes en extrayant d'un site opérationnel une copie du fichier vital ou la copie d'un programme utilisé en ligne. Le système tout entier reste ainsi opérationnel et, dans l'idéal, fournit un service ininterrompu aux utilisateurs connectés.

On obtient, de manière simple, un système réparti à haute disponibilité en associant une machine principale et une machine de secours. Lorsque la machine principale tombe en panne, la machine de secours prend la relève. La commutation d'un système à l'autre est facile lorsque les données ne changent jamais. En revanche, la commutation est difficile lorsque les données ou les fichiers changent alors que le système fonctionne. De plus, dans les grands réseaux, on distingue difficilement les systèmes en panne des systèmes qui n'ont que des difficultés avec les transmissions.

Supposons que, lors de la mise à jour des informations du serveur principal et du serveur de secours, l'un des deux ne réponde plus. Si le problème