



c blanc situé à l'arrière de l'aile, fonctionnant comme un gouvernail de profondeur d'un avion, permet d'ajuster l'angle au vent de l'aile principale. Zefyr (d) est la dernière version monoplane de Walker Wing-



d sail. Cette vue d'avion de Zefyr permet de voir les panneaux solaires installés à l'avant de son aile. Ils alimentent en énergie l'ordinateur de bord et le petit moteur qui détermine l'orientation de la dérive.

V. Radhakrishnan

alors en pierre tombale lorsqu'une voie d'eau perçait la coque. Outre cette diminution de la sécurité, les performances du navire étaient limitées par la longueur de la carène (en vertu de la loi de Froude): dépasser la vitesse de vague équivalait à courir avec un boulet attaché à la cheville.

Mais le pire est que, contrairement au lest humain (ou tout autre lest mobile) capable de fournir un (contre) moment de gîte même lorsque le navire est horizontal, l'action du poids fixé à la base du navire n'est proportionnelle qu'au sinus de l'angle de gîte. Aussi le bateau navigue-t-il dans une position artificielle hautement inconfortable pendant des jours, voire des semaines.

En revanche, les embarcations polynésiennes et mélanésiennes, grandes ou petites, qui utilisent des balanciers ou des doubles coques pour assurer leur stabilité, restent horizontales et sont insubmersibles. Durant des siècles, elles ont permis d'accomplir de vastes périple. On reconnaît, parfois avec beaucoup de réticences, que ces précurseurs des multicoques actuels présentent à de nombreux égards des qualités de navigation supérieures.

Une bien meilleure manière de contrecarrer le moment de gîte exercé par la voile serait d'engendrer un tel moment à l'aide d'un hydrofoil convenablement incliné et décalé par rapport à l'axe longitudinal de rotation du navire. Cet équilibre est réalisable même pour un angle de gîte nul et peut être ajusté pour suivre les variations de la vitesse du vent qui affectent à la fois la

vitesse du bateau et le moment de gîte. Les hydrofoils multicoques sont habituellement conçus de cette manière, ce qui leur permet d'atteindre en toute sécurité des vitesses fantastiques tout en gardant leur quille verticale!

Nous avons mentionné qu'il faut du vent pour extraire de l'énergie du mouvement relatif de l'air et de l'eau. Le vent est la seule chose qui soit imposée; le choix de la forme des voiles ou du navire, autrement dit des portions situées au-dessus et en dessous de la ligne de flottaison, ne dépend que de l'inventivité du concepteur. Un certain nombre d'expériences dans le domaine des vaisseaux à voiles futuristes ont déjà été effectuées. Nous allons les évoquer en conclusion.

La gîte d'un voilier tient en général au fait que la voile est fixée sur le mât, lui-même rigidement fixé au bateau. On peut assouplir cette contrainte et transformer la voile en un cerf-volant relié au navire par de simples cordages en un point situé légèrement au-dessus de la ligne de flottaison. Il n'y a alors plus de mât tiré sur le côté et responsable de la gîte. Cette forme de navigation à voile est utilisée par exemple lorsqu'une personne chaussée de skis nautiques tient un énorme cerf-volant dont elle contrôle la position à l'aide d'un cordage. Un tel dispositif, baptisé KITESKI, permet d'atteindre des vitesses supérieures à 72 kilomètres/heure sous fort vent. La figure 6 montre les diverses forces en action sur ce système lorsque les skis ont une vitesse d'environ 90 kilomètres/heure.

Le lien avec l'eau n'est pas nécessairement un corps glissant à sa surface, comme des skis ou des coques, mais pourrait être un sous-marin guère plus soumis à la résistance de vague que les dauphins ou les requins. Le marin ou le pilote se trouverait dans le sous-marin. Dans une option plus intéressante encore, le pilote est suspendu à un cerf-volant, ou monté à bord d'un ballon ou d'un objet volant analogue, relié à une sorte d'ancre traînant dans l'eau à l'extrémité d'un câble. Didier Costes a déposé plusieurs brevets sur de tels dispositifs baptisés *Chiens de mer*. Un aviateur survolant une masse d'eau et contraint de quitter son avion en sautant en parachute pourrait larguer un tel dispositif au bout d'une corde avant d'atteindre la surface de l'eau et utiliser la force exercée par le vent sur son parachute pour se maintenir hors de l'eau. En outre, cet «aquaviateur» pourrait, en contrôlant le dispositif au dessus de lui et celui en dessous, se diriger vers un lieu où il pourrait atterrir.

Nombre de telles innovations sont actuellement au même stade que l'étaient, il y a quelques dizaines d'années, les multicoques, les hydrofoils et les ailes. Grâce à notre imagination féconde nous pouvons rêver d'un avenir prometteur.

V. RADHAKRISHNAN est Directeur Emeritus du Raman Research Institute à Bangalore.

Les ordinateurs passeront l'an 2000

PETER DE JAGER

De nombreux informaticiens avaient négligé le changement prochain de millénaire : ils n'ont utilisé que les deux derniers chiffres pour indiquer les années. Les corrections qui s'imposent aujourd'hui sont les plus longues et les plus coûteuses de l'histoire de l'informatique.



Dans *Alice au pays des merveilles*, le Chapelier fou demande : «Votre montre vous indique-t-elle quelle année nous sommes?» Alice répond : «Bien sûr que non, mais c'est parce que nous restons très longtemps la même année.» Les informaticiens ont longtemps raisonné comme Alice : pourquoi les dates dans les ordinateurs et dans les programmes indiqueraient-elles le siècle où nous sommes, alors que nous restons si longtemps dans le même siècle? Ils ont donc représenté les années avec deux

chiffres seulement : 55 pour 1955, et 23/10/76 pour le 23 octobre 1976.

Il y a quelques décennies, ils avaient d'excellentes raisons pour procéder ainsi : les ressources informatiques étaient restreintes, la mémoire des ordinateurs coûtait cher, les données étaient enregistrées sur des cartes perforées à 80 colonnes seulement, et la saisie des dates avec deux chiffres en moins faisait gagner du temps. L'absence de normes a favorisé la pérennisation de cette pratique même quand les ressources informatiques sont devenues pléthoriques, car nous avons été nombreux à croire (à tort) que les programmes que nous écrivions seraient hors d'usage bien avant le nouveau millénaire.

Le «bogue de l'an 2000» est directement imputable à cette négligence. Les ordinateurs sont aujourd'hui truffés de représentations ambiguës de dates. Comment sauront-ils si 00 signifie 1900 ou 2000? La confusion a déjà provoqué des erreurs. En 1993, la Société *Boeing* en a relevées dans un programme qui traite des commandes dont le délai d'exécution est de sept ans. Un programme de la Société *Amway*, qui fabrique du savon et des produits d'hygiène, a rejeté des matières premières qu'il considérait, à tort, comme périmées depuis presque un siècle. Des caisses enregistreuseuses se sont bloquées lorsque des clients ont utilisé leur carte de crédit, dont la durée de validité expirait en 00. Selon une étude effectuée il y a un an, plus de 40 pour cent des sociétés ont déjà souffert au moins une fois du bogue de l'an 2000.

Comment ces problèmes apparaissent-ils? Supposons un dépôt sur un compte d'épargne effectué en 1999, et un retrait en 2000. Si le programme qui gère les comptes de la banque calcule les intérêts acquis en soustrayant 99 de 00, l'ordinateur considère que la durée de dépôt est de -99 ans.

D'autres erreurs sont plus graves : les compagnies d'assurances doivent archiver les contrats annuels qui n'ont pas été consultés depuis plus de cinq ans. Pour identifier les polices inutiles, certaines utilisent des programmes qui se fondent sur la dernière date à laquelle elles ont été consultées : on ajoute cinq aux deux chiffres de l'année et, si le résultat est inférieur à l'année en cours, on archive le contrat. Ainsi, si le dernier accès date de 1993, 93 plus 5 est inférieur à 99, et le contrat est archivé. Toutefois, si le dernier accès date de 1996, le programme calcule 96 plus 5, soit 01, qui est inférieur à 99 : le contrat est indûment archivé. De telles erreurs semblent caricaturales, mais elles se sont déjà produites.

Le bogue de l'an 2000 peut aussi avoir des conséquences fatales. Si un médecin code par deux chiffres seulement l'année de naissance d'un enfant dans un programme qui détermine le dosage de médicaments, il risque d'administrer une dose recommandée pour un centenaire, probablement mortelle pour le nourrisson.

Voilà l'essence du bogue de l'an 2000 : on a mal codé les années, et les problèmes commencent à surgir dans tous les domaines. De nombreuses entreprises ont simplement

Quelques erreurs qui se sont déjà produites

La Société d'assurance-vie *Unum* a perdu 700 enregistrements d'une base de données de ses courtiers, parce qu'un ordinateur a confondu 00 et 1900.

Une centenaire, Mary Bandar, a reçu une convocation de la maternelle de Winona, au Minnesota.

En 1993, la Société *Boeing* a subi les conséquences d'une erreur dans un système de gestion des commandes : celles qui étaient planifiées sept ans à l'avance n'étaient pas enregistrées.

Dans une usine de la Société *Amway*, un système informatique commandant le mélange de produits chimiques a rejeté un lot de composés parce qu'il considérait que la date de péremption était 1900.



remplacé les programmes défectueux par d'autres où le codage a été amélioré, mais, pour les systèmes qui contiennent des puces électroniques (voir l'encadré de la page 82), cette stratégie a parfois été la seule possible. Mais remplacer les myriades de logiciels utilisés coûterait trop cher et prendrait trop de temps. Comment éviter les catastrophes?

2 + 2 = 4

La solution la plus évidente est l'ajout des deux chiffres manquants. Toutefois, sans parler de la difficulté technique du remplacement de milliards de données dans les fichiers des sociétés multinationales, la mise en œuvre de cette solution nécessite une reconnaissance des dates. Cette difficulté est considérable : avant d'ajouter deux chiffres aux années, on doit d'abord repérer les chiffres qui indiquent une date. Or les ordinateurs ne savent pas quelle information représentent les chiffres qu'ils enregistrent. La signification des données est attribuée par les humains et n'est compréhensible que d'eux. Les programmeurs n'ont pas suivi de normes lorsqu'ils ont créé les noms identifiant les dates : ceux-ci sont explicites, tels DATE_DE_NAISSANCE

ou DATE_DEBUT_EMPLOI, ou non, tels SNARK ou WUMPUS.

On ne peut pas non plus se fier totalement à l'information numérique. L'une des méthodes consiste à passer au crible les données et à choisir les triplets de colonnes avec des valeurs comprises entre 1 et 31, puis entre 1 et 12, puis entre 0 et 99 : on suppose que la dernière colonne contient une indication d'année. Malheureusement, cette hypothèse n'est pas toujours vérifiée. Les valeurs comprises entre 0 et 99 peuvent représenter des

pourcentages. En outre, les deux derniers chiffres des années sont souvent noyés dans d'autres données, par exemple dans de longs numéros de série.

Des informaticiens ont mis au point des programmes de recherche automatique des dates. Parmi les plus perfectionnés, certains utilisent un raisonnement déductif et atteignent des pourcentages de réussite étonnants, mais ils commettent tous quelques erreurs.

En outre, le dépistage des dates n'est que la première étape de la correction.



L'extension des années à quatre chiffres oblige les programmeurs à refaire la mise en page des rapports, des formulaires ou des affichages d'écran. En outre, les logiciels qui utilisent les données des programmes corrigés doivent aussi être modifiés, même s'ils ne contiennent pas de dates. Ainsi, dans une base de données d'une entreprise où les noms des employés sont enregistrés dans les colonnes 1 à 30, leurs dates de naissance dans les colonnes 31 à 36, les salaires dans les colonnes 37 à

42, et ainsi de suite, si on allonge les dates de naissance pour loger les quatre chiffres des années, les informations relatives aux salaires et toutes les données suivantes seront décalées de deux colonnes vers la droite. On devra donc modifier tous les programmes qui récupèrent ces informations.

Les évolutions rapides de l'informatique compliquent aussi l'ajout des deux premiers chiffres aux années. Les programmeurs travaillent, en général, sur le «code source» des programmes,

qu'ils écrivent dans des langages relativement compréhensibles, tels le COBOL et le langage C. Le code source est ensuite traduit, par un programme nommé compilateur, sous une forme purement numérique, nommée module objet, que l'ordinateur exécute. Or, les compilateurs évoluent rapidement, et des techniques de programmation acceptées par un compilateur d'il y a quelques années peuvent être rejetées par les compilateurs d'aujourd'hui : d'anciens codes sources corrigés ne sont plus compilés correctement en un nouveau module objet, à moins d'être modifiés encore plus profondément.

Pis encore, de nombreuses entreprises ont perdu des parties de leurs codes sources. Bien que le volume de programme perdu reste en général inférieur à trois ou quatre pour cent, l'absence de cette partie est parfois très gênante, car elle impose la modification fastidieuse des modules objets. Les programmeurs doivent alors recréer le code source, soit à partir de documents de travail (mais la documentation manque souvent), soit à partir du module objet (un travail comparable à la reconstitution d'un cochon à partir d'une saucisse).

Enfin, lorsque le code source a été modifié et recompilé, on doit le tester à nouveau. Les révisions de logiciels introduisant presque toujours de nouveaux bogues, la vérification des programmes modifiés constitue aujourd'hui le plus gros du travail de leur mise en conformité.

Au début des années 1990, l'extension des années à quatre chiffres semblait être la meilleure solution contre le bogue de l'an 2000, mais la nécessité de recompiler tout programme qui se réfère à une date dans un fichier quelconque, même s'il ne réalise pas de calcul de dates, a rendu cette méthode trop onéreuse et trop longue pour la plupart des entreprises (cette modification reporte en outre le problème à l'an 10 000, mais cette fois nous avons le temps).

Une fenêtre pour l'avenir

Une autre solution consiste à enseigner aux ordinateurs que, lorsqu'une valeur désigne une année, 00 signifie 2000. Les programmeurs ont mis en œuvre cette idée par une technique nommée fenêtrage. Ils séparent les nombres de 00 à 99 en deux groupes, de part et d'autre d'un nombre pivot : les années dont les deux derniers chiffres sont

Le contentieux

Des caisses enregistreuses informatisées d'un hypermarché du Michigan tombaient en panne lorsque des clients utilisaient une carte de crédit qui expirait en 00. L'hypermarché a intenté un procès au fabricant des caisses.



Chip East, Sygma

1. LES PROGRAMMEURS s'activent pour corriger les problèmes du bogue de l'an 2000. Dans cette «usine» informatique de Caroline du Nord, plus de 250 informaticiens corrigent des millions de lignes de programmes chaque mois. La majeure partie de ce travail concerne les 500 entreprises les plus riches des États-Unis.

supérieurs ou égaux à ce pivot sont attribuées au siècle en cours (si le pivot est 45, par exemple, 68 devient ainsi 1968) ; les autres années sont attribuées au XXI^e siècle (13 devient 2013).

Pour appliquer cette technique, on doit d'abord chercher dans le code source tous les calculs qui utilisent des dates, puis les modifier convenablement. Les données n'étant pas modifiées, le fenêtrage nécessite moins de travail que l'extension à quatre chiffres ; c'est aujourd'hui la technique la plus utilisée.

Le fenêtrage a toutefois des inconvénients. Il est évidemment inapplicable pour les données qui s'étendent sur plus de 100 ans, telles les dates de naissance et les baux de longue durée. En outre, le choix de pivots différents pour deux programmes qui échangent des informations est source d'erreur. Ainsi, 25 peut être un bon pivot pour un programme qui traite les factures d'une société fondée en 1928, tandis que le programme qui gère les projections des ventes à long terme dans la même société pourrait utiliser un pivot de 70 : si ces deux programmes communiquent, l'année 2031 risque de devenir 1931, ou *vice versa*, ce qui peut perturber les calculs.

Pour compliquer les choses, les programmeurs ont aussi depuis longtemps utilisé des fenêtres déplaçables, c'est-à-dire des pivots qui changent en fonction du temps. Cette stratégie est valable pour certains types de programmes, tels ceux qui traitent les hypothèques de 30 ans sur l'immobilier. Pour de telles applications, le pivot pourrait être fixé à 40 ans à compter de l'année en cours. Manifestement, il est impératif de conserver une trace des pivots déplaçables, afin d'éviter tout éventuel conflit avec d'autres systèmes. En outre, les programmeurs doivent tenir compte du fait que la représentation de l'année 1968 dans un programme avec un pivot de 70 nécessitera une adaptation supplémentaire du logiciel (car 68 signifie 2068 dans ce cas).

Les cycles du calendrier

Une troisième technique de résolution du bogue de l'an 2000 utilise l'arithmétique élémentaire. Considérons le calcul $00 - 99 = -99$. Si l'opération représentait 2000-1999, alors la réponse -99 serait fautive. Toutefois, $00 - 99$ est équivalent à $(00 + 7) - (99 + 7)$. Si cette expression est calculée avec des nombres à deux chiffres, elle donnera

$5 - 4 = 1$. Ainsi l'ajout de 7 à 00 et à 99 décale les deux dates dans le même siècle, de sorte que le calcul 2000 - 1999 peut s'effectuer correctement sur deux chiffres seulement.

Cependant, les dates sont plus que de simples nombres. Le 1^{er} janvier 2000 est un samedi, mais pas le 1^{er} janvier 2007. La solution consistant à ajouter 7 à toutes les années n'est pas admissible pour les programmes qui distinguent les différents jours de la semaine : on doit affiner la méthode. Comme une année normale a 365 jours, et que 364 est un multiple de sept, le jour de la semaine auquel tombe une date donnée se décale d'un jour par an, sauf en cas d'année bissextile ; sans ces dernières, on retrouverait les mêmes dates aux mêmes jours tous les sept ans. Comme la périodicité des années bissextiles est de quatre ans, le cycle est en fait de 28 ans (et, heureusement, 2000 est aussi une année bissextile, contrairement à 1900, 1800 et 1700, qui ne l'étaient pas) : le 1^{er} janvier 2000 sera donc un samedi, comme l'était le 1^{er} janvier 1972 et comme

D'autres dates à problème

Le 22 août 1999, le système de positionnement par satellite (GPS) reviendra à la semaine 0 après 1 023 semaines de fonctionnement.

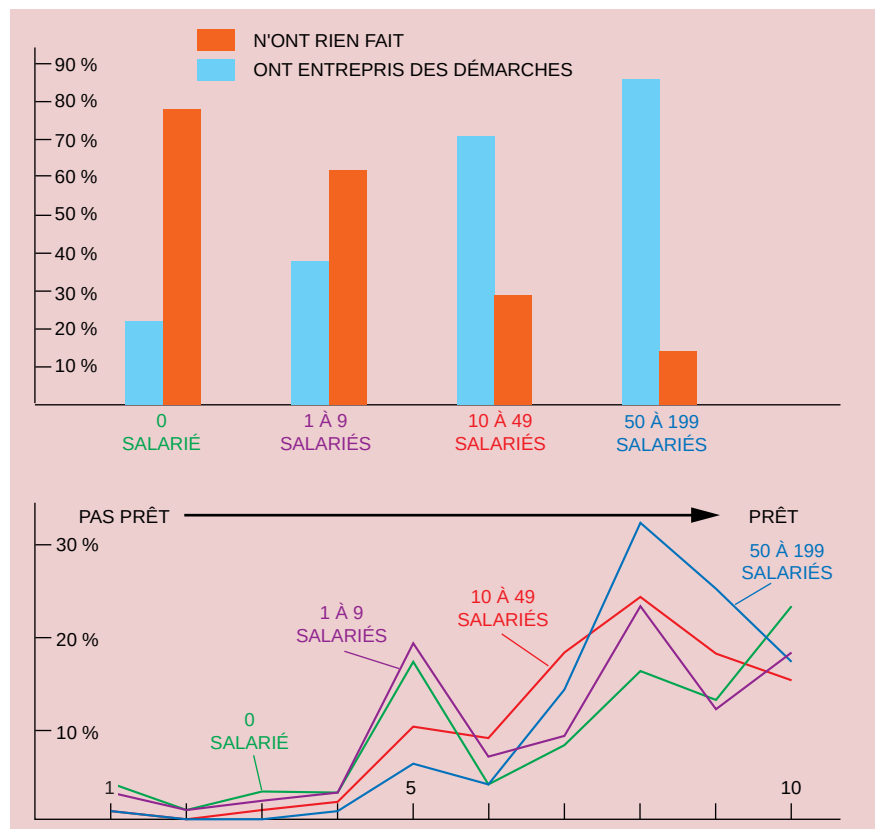
Le 19 janvier 2038, les systèmes Unix se dérègleront, car on sera 2³¹ secondes après leur date de mise en service, le 1^{er} janvier 1970.

Le 6 février 2040, les anciens ordinateurs *Macintosh* reviendront à la date du 1^{er} janvier 1904, soit 2³² secondes en arrière.



le sera le 1^{er} janvier 2028. Dans la technique dite d'«encapsulation», on ajoute donc 28 aux deux derniers chiffres des années avant de procéder à des calculs ; puis, une fois les calculs effectués, on retranche 28.

Bien que l'encapsulation résolve de nombreux problèmes, son emploi est compliqué dans certains calculs. Ainsi, quand un programme fonctionne en



2. LA PRÉPARATION DES PETITES ET MOYENNES ENTREPRISES FRANÇAISES pour le passage à l'an 2000 a été évaluée en décembre 1998 par l'IFOP pour le ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie. Les plus grosses entreprises sont celles qui ont le plus souvent entrepris des démarches pour adapter leurs systèmes techniques et informatiques (en haut). En revanche, toutes tailles confondues, ces entreprises estiment majoritairement qu'elles seront plutôt prêtes (en bas, on leur a demandé de se noter de un à dix, de pas prête du tout à complètement prête). Leurs dirigeants restent lucides : très peu osent affirmer qu'ils passeront l'an 2000 sans dommages.

Le bogue au Japon

Le Japon a été critiqué pour son inaction face au problème de l'an 2000.

Il a pourtant des raisons d'être serein : de nombreuses entreprises utilisent le système impérial des dates de l'ère Heisei, dans laquelle 1999 est Heisei 11.



parallèle avec d'autres et qu'il envoie des informations pendant ses propres calculs (comme dans l'exemple du programme de projection des ventes, qui utilise des informations d'un programme de facturation), les résultats sont parfois combinés et recombinaisonnés à différents intervalles, d'où la nécessité pour les programmeurs de déterminer quand il faut ajouter et soustraire 28, et d'en garder les traces.

En outre, l'encapsulation ne fonctionne pas quand les dates sont associées à d'autres valeurs. Ce cas se rencontre notamment dans les fichiers de numéros de série de produits : dans 7289-47-99-5, par exemple, 99 est l'année de péremption, et le dernier chiffre, 5 est le dernier chiffre de la somme de 7289, de 47 et de 99 ; il sert à vérifier l'ensemble de la séquence. De tels chiffres de «contrôle» sont souvent utilisés pour la vérification des cartes de crédit, des codes-barres et des numéros de Sécurité sociale. L'ajout de 28 aux deux chiffres de l'année empêcherait une telle validation des calculs.

Les trois techniques d'extension des dates, de fenêtrage et d'encapsulation ont résolu plus de 95 pour cent des bogues de l'an 2000 dans les logiciels existants. De nombreuses grandes entreprises, qui utilisent des milliers de

programmes informatiques, ont appliqué des solutions mixtes. Les informaticiens ont employé des outils informatiques pour automatiser les trois solutions, mais des erreurs subsistent.

Il est piquant de constater que la prise en compte du changement de siècle par certains logiciels bien faits complique les corrections du bogue de l'an 2000 ! Les programmeurs ont utilisé leurs propres techniques de fenêtrage ou d'encapsulation pour anticiper le changement de siècle. Si l'on corrige automatiquement ces logiciels, on introduira des erreurs, des doubles fenêtrages, des additions d'années pivots, ou des combinaisons d'encapsulation et de fenêtrage sur les mêmes données.

La détection de ces programmes, ou de ces morceaux de programmes, déjà corrigés peut être difficile, notamment si le code source est écrit de façon

Des problèmes enfouis partout

Dans certains appareils de radiothérapie, une puce informatique déterminait la dose à administrer au patient en calculant la décroissance d'activité des radioéléments au cours du temps. Comme les calculs étaient faits sur les deux derniers chiffres des années, l'appareil ne calculait pas correctement la radioactivité des échantillons après l'an 2000. Heureusement, le fabricant s'est rendu compte du problème et a contacté ses clients pour retirer le produit.

Le bogue de l'an 2000 menace surtout les puces préprogrammées qui ont été intégrées dans divers équipements électroniques, notamment des machines industrielles, des appareils de surveillance, des feux de circulation, des alarmes, des outils de navigation et d'innombrables produits de consommation (horloges pour automobiles, montres, magnétoscopes, fours à micro-ondes). Le Groupe *Gardner*, une société américaine de conseil, estime que 32 à 40 milliards de telles puces équipent les usines, les sociétés et les foyers du monde entier.

Bien sûr, beaucoup de systèmes fonctionnent indépendamment de la date, et ils ne pâtiront pas du changement d'année, et même ceux qui ont besoin de la date ne seront pas tous en panne. Néanmoins, ce faible pourcentage représente tout de même quelques millions de systèmes.

La prévision du nombre exact d'appareils menacés est difficile parce que même les ingénieurs expérimentés savent mal prévoir les pannes des systèmes intégrés. Des équipements qui *a priori* ne semblent pas dépendre de la date pour fonctionner sont parfois sensibles au problème : un appareil pourrait, pour des raisons de sécurité, cesser de fonctionner le 1^{er} janvier 2000, parce que la dernière inspection semble, par erreur, dater de près d'un siècle. Dans un système de surveillance qui signale les situations d'urgence, des messages critiques datés 00 pourraient être ignorés et éliminés de l'écran de surveillance par des messages «plus récents» datés de 99.

Les ordinateurs personnels sont parmi les produits les plus faciles à corriger. La plupart de ceux qui ont été achetés avant 1996 ne posent pas de problème : le 1^{er} janvier 2000, beaucoup repasseront automatiquement en 1980, date de réinitialisation. Des logiciels corrigent ce défaut.

Malheureusement, d'autres corrections ne sont pas aussi simples. Un grand nombre de sociétés qui ont fabriqué des systèmes intégrés ne sont plus en activité ou, si elles le sont toujours, les concepteurs des produits défectueux sont partis, et la documentation correspondante manque, ou est incomplète. De surcroît, certains systèmes bogués ont été installés sur des sites d'accès difficile, telles des plates-formes pétrolières en mer.

La solution la plus simple est le remplacement des puces fautives et, notamment, des horloges (qui conservent l'heure en mémoire à l'aide d'un oscillateur à quartz), des microprocesseurs et des contrôleurs (qui pilotent les systèmes). Parfois on peut retirer certains composants des cartes mères et y insérer les nouveaux composants où sont implantés les logiciels révisés. Très souvent, toutefois, on doit remplacer la totalité de la pièce.



Kenneth Kizer, du Service de santé des anciens combattants américains, a alerté le Congrès des États-Unis en juillet 1998 : en raison du bogue de l'an 2000, certains matériels médicaux, notamment des défibrillateurs cardiaques, ne fonctionneront pas correctement.

peu explicite et avec peu de commentaires. On peut passer des heures à chercher ce qu'un programme d'une dizaine de lignes de code seulement est censé accomplir. Des programmes de correction automatiques risquent de supprimer aveuglément des morceaux de code, sans chercher à comprendre leur utilité.

D'autres sources de confusion compliquent le problème. Ainsi les programmeurs utilisent souvent 99 ou d'autres nombres plus grands écrits seulement avec des 9 pour marquer la fin d'un fichier ou d'un enregistrement destiné à être effacé ou archivé. Un programme de recherche des dates risque de confondre avec 1999, septembre 1999, etc. Par exemple, j'ai vu des logiciels de saisie de commande qui invitaient le vendeur à entrer 99 dans la case réservée à l'année pour effacer la commande client correspondante : de tels programmes doivent maintenant être réécrits.

Les années bissextiles compliquent aussi la tâche des informaticiens La Terre tournant autour du Soleil en un peu moins de 365,25 jours (le chiffre exact est 365,242199), les années bissextiles ne suivent pas exactement un cycle de quatre ans : le calendrier prévoit ainsi que les années multiples de 100, telles 1700 et 1800, ne soient pas bissextiles, sauf celles qui sont divisibles par 400. Ainsi, il y aura un 29 février en 2000 (même s'il n'y en avait pas en 1900), ce qui compliquera d'autant la situation pour les programmes qui ne tiennent pas compte de ce fait.

Tous n'en mourront pas, mais tous seront frappés

La situation est si variée que l'inquiétude règne. Les experts débattent, et le public doute. Au cours d'une récente conférence, un intervenant affirmait que « nous perdrons peut-être la capacité de produire du courant électrique à tout jamais ». D'autres pensent que le bogue de l'an 2000 est un problème que l'on aura résolu en un week-end.

Le bogue et la finance

Anticipant sur les réserves d'argent liquide que fera la population, le conseil de la Réserve fédérale américaine a prévu d'augmenter de 50 milliards de dollars le volume de monnaie en circulation.



Le bogue de l'an 2000 aux États-Unis

	Situation favorable	Situation attendue	Situation défavorable
Logiciels ayant des problèmes de passage à l'an 2000	10 millions	12 millions	15 millions
Pourcentage de problèmes liés à l'an 2000 qui ne seront pas résolus à temps	5 %	15 %	25 %
Incidents liés au passage à l'an 2000			
Énergie	5 %	15 %	75 %
Transports	5 %	12 %	50 %
Téléphone	5 %	15 %	65 %

Bryan Christie, d'après Software Productivity Research/Altiris Management Systems

Ces deux opinions sont naïves. La première ignore la capacité d'adaptation des individus et des sociétés. Elle ignore que les organisations et les institutions financières ont déjà préparé efficacement l'arrivée du 1^{er} janvier 2000. Pendant l'été 1998, la Bourse de New York a simulé son état au 3 janvier 2000 et n'a détecté que des problèmes mineurs. Des tests complémentaires sont prévus pour le printemps 1999.

Inversement, ceux qui dédaignent le problème ignorent la vulnérabilité technique de certains équipements. Dans les gros systèmes fortement connectés, des pannes isolées peuvent rapidement se propager et engendrer des catastrophes. Au printemps 1998, une panne du satellite de communication *Galaxy IV* a ainsi mis hors service des millions d'appareils de radiomessagerie. De même, la rupture d'un câble à Auckland, en Nouvelle-Zélande, a suffi pour provoquer une surcharge du système et priver la ville de courant électrique pendant six semaines.

Contrairement à ces événements inattendus, le bogue de l'an 2000 est prévu. À ce jour, les informaticiens du monde entier modifient la plupart des logiciels existants. À la banque canadienne *CIBC*, 1 000 personnes travaillent sur le projet (le budget atteint 120 millions d'euros). De même, la Société *AT&T* a déjà dépensé plus de 500 millions d'euros pour lutter contre le bogue, et la Société *Citicorp* va en déboursier 650 millions.

Les efforts sont considérables, mais on sait bien que la plupart des grands projets informatiques ne sont pas terminés dans les délais et que, parmi les programmes qui seront rectifiés à

temps, peu fonctionneront parfaitement. N'oublions pas les débâcles informatiques du passé, notamment les Jeux olympiques d'Atlanta ou l'ouverture de l'aéroport international de Denver. Les installations de systèmes informatiques complexes exempts d'erreurs et prêts à temps sont rares. Or l'an 2000 surviendra, que les travaux soient achevés ou non.

Si l'on tient compte notamment de la quantité de travail déjà effectuée, ainsi que des mesures d'urgence qui seront prises, on prévoit de graves perturbations pendant environ un mois. Des problèmes variés, de la simple contrariété à des ennuis plus graves, continueront à surgir tout au long de l'année 2000.

Peter de JAGER est consultant en informatique.

Leon KAPPELMAN, *Year 2000 Problem : Strategies and Solutions from the Fortune 100*, International Thomson Computer Press, 1997.

W. ULRICH et I. HAYES, *The Year 2000 Software Crisis: Challenge of the Century*, Prentice Hall, 1997.

Peter de JAGER et Richard BERGEON, *Countdown Y2K : Business Survival Planning for the Year 2000*, John Wiley & Sons, 1998.

Howard RUBIN et Brian ROBBINS, *Evaluating Success of a Y2000 Project*, Economics Press, 1998.

Michael D. SCOTT et Warren S. REID, *Year 2000 Computer Crisis : Law, Business, Technology*, Glasser LegalWorks, 1998.

Capers JONES, *The Year 2000 Software Problem : Quantifying the Costs and Assessing the Consequences*, Addison-Wesley, 1998.

ADN et évolution

RICHARD MOXON • CHRISTOPHER WILLS

*Des séquences répétées dans l'ADN
interviennent dans l'adaptation des bactéries
à leur environnement et, également,
dans l'apparition de maladies humaines.*