

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<sup>e</sup> 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<sup>er</sup> janvier 2000 est un samedi, mais pas le 1<sup>er</sup> 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<sup>er</sup> janvier 2000 sera donc un samedi, comme l'était le 1<sup>er</sup> 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.

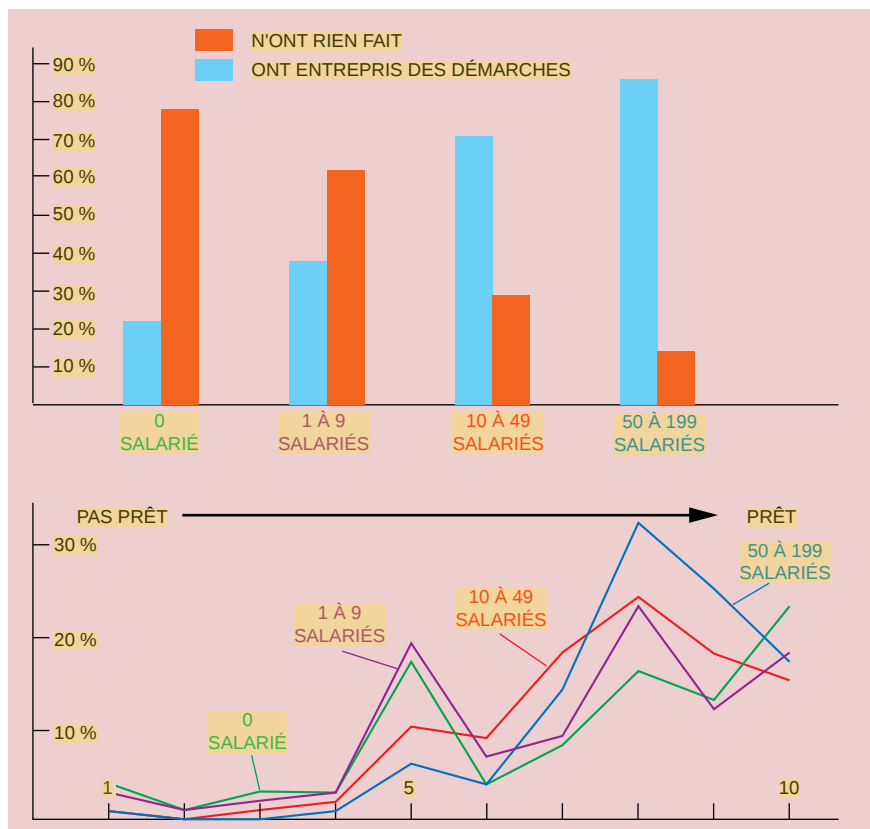
Le 19 janvier 2038, les systèmes Unix se dérèglent, car on sera 2<sup>31</sup> secondes après leur date de mise en service, le 1<sup>er</sup> janvier 1970.

Le 6 février 2040, les anciens ordinateurs *Macintosh* reviendront à la date du 1<sup>er</sup> janvier 1904, soit 2<sup>32</sup> secondes en arrière.



le sera le 1<sup>er</sup> 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 recombinaison 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

**D**ans 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<sup>er</sup> 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<sup>er</sup> 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<sup>er</sup> 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.