

déchargent progressivement les transistors et effacent donc les données. On considère souvent que la durée de vie est de l'ordre de cinq ans.

La troisième catégorie est constituée par les disques optiques numériques (DON), tels que les CD, les DVD et les disques *Blu-ray*. Les temps d'accès aux données enregistrées sont bien plus longs que ceux des disques durs et des mémoires flash. De plus, leur capacité est nettement inférieure à celle des disques durs. On fabrique pourtant chaque année des milliards de disques optiques numériques, encore que leur nombre soit en constante diminution chaque année; beaucoup pensent qu'ils sont en voie d'extinction progressive. En termes de longévité toutefois, ce sont les meilleurs supports disponibles actuellement: les disques «pressés» fabriqués en grande série ont une durée de vie qui serait comprise entre 20 et 30 ans. Cependant, ce n'est pas le cas des disques enregistrables, qui reposent sur des principes physiques plus délicats (inscription dans un colorant composé de molécules photosensibles ou, pour les disques réenregistrables, un changement de phase qui rend la surface plus ou moins réfléchissante). Les études du Laboratoire national de métrologie et d'essais en France et du Laboratoire lutherie acoustique musique de l'Université Paris 6 ont montré que certains disques enregistrés perdent leurs données en un an seulement! D'autres, heureusement, ont des durées de vie dix fois plus longues.

Les disques optiques offrent des perspectives très intéressantes en termes de longévité. Il y a une vingtaine d'années une société française, *Digipress*, a commercialisé un CD ayant une excellente durée de vie, puisque les données étaient directement gravées dans du verre. Hélas, l'invention devait être trop en avance sur son temps, à une époque où beaucoup croyaient encore à la longévité des supports numériques. Ce produit n'a pas trouvé son marché. Mais, depuis deux ans, une société allemande, *Syplex*, a repris l'idée et propose des DVD gravés dans le verre dont la longévité est remarquable, comme l'ont montré des études du Laboratoire national de métrologie et d'essais (voir l'encadré page 82). L'avantage d'une telle solution est que les données sont stockées dans le format DVD, très répandu dans le monde, et qu'elle ne demande

aucun lecteur plus spécifique qu'un lecteur standard. Quelques autres produits sont proposés sur le marché et annoncés avec une grande longévité, mais à notre connaissance, aucun n'a subi des tests aussi soigneux que ces disques. Il faut espérer que les esprits aient maintenant suffisamment évolué pour que ce nouveau produit se répande rapidement, en particulier par des commandes institutionnelles, mais rien ne le garantit.

Graver dans le verre

Quelles stratégies peuvent être adoptées pour préserver l'information numérique à long terme avec les dispositifs existants? Deux approches sont possibles: la stratégie dite passive, qui consiste à écrire l'information sur un support pérenne et à le stocker dans un endroit sûr; la stratégie dite active, qui consiste à écrire l'information sur un support numérique standard et à en suivre constamment l'évolution, afin d'effectuer une migration vers un support neuf lorsque nécessaire. La stratégie passive est celle que l'humanité a pratiquée depuis toujours, mais elle utilisait des supports analogiques – que l'on songe à la bonne conservation des parchemins anciens, voire aux écritures cunéiformes sur des pierres! Elle semble donc la plus naturelle, mais dans le cas du numérique, elle demande un investissement initial, par exemple pour la confection de DVD gravés dans le verre.

La stratégie active ne demande pas un tel investissement. Dans la plupart des cas,

LES AUTEURS

Franck LALÔÉ est directeur de recherche au Laboratoire Kastler Brossel de l'École normale supérieure. Il est président du Groupement d'intérêt scientifique SPADON. Il a été rapporteur du groupe Pérennité des supports numériques.

Erich SPITZ est membre de l'Académie des sciences et de l'Académie des technologies. Il a présidé le groupe Pérennité des supports numériques.

BIBLIOGRAPHIE

J. Zhang *et al.*, 5D data storage by ultrafast laser nanostructuring in glass, compte rendu de conférence CLEO: Science and Innovations, 2013.

J. Perdureau, Tenue dans le temps des disques enregistrables DVDR et DVD en verre (Syplex) à température et hygrométrie élevées, rapport du GIS DON, LNE, 2012.

J.-C. Hourcade *et al.*, Longévité de l'information numérique; les données que nous voulons garder vont-elles s'effacer?, rapport à l'Académie des Sciences et à l'Académie des Technologies, EDP Sciences, 2010.

L'altération, un processus mal compris

Les différents supports numériques ont des durées de vie relativement courtes. De nombreux facteurs entrent en jeu et il est difficile de dire précisément quels phénomènes sont en cause et lesquels sont les plus importants. Pour les disques durs, les pannes mécaniques sont une difficulté majeure. Mais d'autres problèmes peuvent surgir: certains éléments du disque stockant l'information peuvent devenir défectueux et illisibles.

Les rayons cosmiques peuvent décharger les transistors des mémoires flash et modifier l'infor-

mation. Les supports optiques, les CD et les DVD, correspondent à un empilement de couches de protection en plastique, de couches contenant les données et d'une pellicule métallique qui sert de réflecteur pour le laser de lecture des données. La pellicule plastique est sensible à la surexposition aux ultraviolets de la lumière du Soleil et à la chaleur. Les tests de longévité de ces supports ont aussi montré qu'ils sont sensibles aux réactions d'oxydation par l'eau et par l'air. Les supports optiques enregistrables sont encore moins stables.

Les facteurs externes ne sont pas les seuls à influencer la durée de vie des supports. La qualité des matériaux utilisés et les précautions prises lors de la fabrication sont aussi importantes. Le Laboratoire national de métrologie et d'essais a montré que sept pour cent des DVD enregistrables du commerce présentaient des microtaches. Elles seraient dues à des impuretés présentes dans la couche réfléchissante et accéléreraient le processus d'oxydation, réduisant la durée de vie du support à un an.

l'archivage ne se fait pas localement, mais dans des centres de données spécialisés, ou « fermes », contenant de nombreuses armoires remplies de disques durs. Ces centres sont gérés par du personnel spécialisé, dont une des missions est de procéder aux migrations de supports quand cela est nécessaire. Cette solution fonctionne de façon satisfaisante, et elle est bien dans la ligne de l'engouement actuel pour le *cloud*. Elle pose néanmoins des difficultés. La première est que, sauf s'il dispose d'un centre informatique évolué, le propriétaire des données perd le contrôle de l'archivage; il doit faire confiance à un prestataire de service, sachant que toute erreur de sa part peut engendrer une perte de données irréversible. Il faut aussi prévoir à l'avance le cas où ce prestataire viendrait à cesser ses activités, et les procédures de restitution des données. Le second problème est celui de la confidentialité: il est évident que des données sensibles sont mieux protégées si elles sont à l'abri dans un coffre-fort sur place que si elles sont transportées à des milliers de kilomètres.

La comparaison des coûts des deux stratégies est bien sûr déterminante. Celui de la stratégie passive est facile à évaluer: le coût de transfert des données sur des supports spéciaux et de très grande longévité peut être élevé; par exemple, un DVD de cinq gigaoctets de données gravées dans le verre coûte actuellement à peu près 150 euros, soit plus de 100 fois le prix d'un DVD enregistrable standard! Il est clair que la stratégie passive implique une dépense initiale importante. Ensuite, les coûts sont réduits: celui lié à l'immobilisation d'un espace d'archivage, par exemple dans une cave ou un coffre-fort.

La méthode passive, plus économique

Pour la stratégie active, il en va tout autrement. L'erreur classique est de ne prendre en compte que les coûts des supports nécessaires pour les migrations, coûts qui sont négligeables. Les coûts réels sont en fait induits par la nécessité du suivi technique (salaires des informaticiens,

locaux avec environnement technique) et la consommation électrique des « fermes » de disques durs. Ces coûts croissent donc linéairement avec le temps, contrairement à ceux de la stratégie passive, qui restent quasi constants; chacun comprend donc qu'il existe un certain délai à partir duquel c'est la stratégie passive qui devient la moins onéreuse.

Des comparaisons entre les coûts des deux méthodes ont été effectuées. Ainsi, pour l'archivage de 500 gigaoctets, la stratégie active sur bande magnétique est la moins chère pendant six à sept ans, puis c'est la stratégie passive sur DVD gravés en verre; pour l'archivage de un téraoctet, le point de croisement est repoussé à 10 ans environ. Il est intéressant de noter que cette étude montre que la stratégie active sur disques durs RAID, pourtant la plus répandue aujourd'hui, n'est jamais la moins onéreuse, que ce soit à court ou à long terme.

À partir de ce simple constat, les organismes et entreprises qui ont besoin de conserver d'importants volumes de données pendant plus de dix ans devraient opter

Évaluation de la tenue dans le temps du DVD en verre Syllux

Des études menées par le Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE) sur le vieillissement naturel des disques optiques numériques enregistrables CD-R et DVD-R ont montré une grande disparité de comportement des disques dans le temps, avec des durées de vie comprises entre un an et plus de 20 ans selon les modèles. C'est en contradiction avec les durées de vie de 50 à 300 ans annoncées par les fabricants.

Les membres du Groupement d'intérêt scientifique SPADON ont souhaité étudier des solutions différentes des DVD-R classiques, tel le DVD *GlassMasterDisc* de la Société Syllux. Il n'utilise ni polycarbonate ni de couche d'enregistrement organique, points faibles potentiels des DVD-R classiques. L'information est directement gravée dans du verre.

L'estimation de la durée de vie de ce disque aurait pu se faire en utilisant la méthode normalisée par vieillissement accéléré en température et humidité (ISO/CEI 16963). Cependant, d'une part, cette norme n'a pas été validée expérimentalement, d'autre part, elle ne semble pas applicable aux DVD, au vu des résultats de plusieurs études antérieures, probablement parce que les facteurs d'altération physico-chimiques sont multiples. Il n'est donc pas possible d'estimer la durée de vie réelle des DVD à partir d'un test de vieillissement accéléré. Pour étudier l'efficacité du *GlassMasterDisc* pour l'archivage, le GIS-SPADON et le LNE ont

choisi d'évaluer la tenue dans le temps de ce support exposé à des températures et des taux d'humidité élevés et de comparer les résultats aux DVD enregistrables classiques. Les six modèles choisis comme éléments de comparaison sont réputés comme ayant une bonne tenue dans le temps (cas des DVD-R utilisant une couche enregistrable inorganique) ou ont montré dans les études précédentes du LNE une tenue au vieillissement accéléré (80 °C et 85 pour cent d'humidité) supérieure à celle des autres modèles.

L'étude a consisté à placer les DVD dans une enceinte climatique (voir la photographie ci-contre de l'enceinte CLIMATS) dans des conditions dites très sévères de température et d'humidité, pour une durée maximale de 1 000 heures, et cela par tranches de 250 heures. Le DVD *GlassMasterDisc* étant en verre, la température a été choisie égale à 90 °C, soit 10 °C de plus que pour les précédentes études de DVD, tout en maintenant l'humidité relative à 85 pour cent. La fin de vie des DVD correspond à un taux de données numériques erronées dépassant les limites normalisées ou à l'illisibilité du disque.

Il ressort de cette étude, qu'en vieillissement accéléré, le DVD *GlassMasterDisc* a une durée de vie nettement supérieure à celle des DVD-R existants sur le marché. Après 1 000 heures d'exposition dans ces conditions délétères, le DVD *Glass-*



MasterDisc ne présente pas d'altération significative de sa qualité, alors que le meilleur des autres modèles de DVD-R a une durée de vie maximale de 250 heures.

Le DVD *GlassMasterDisc* présente donc le meilleur potentiel, parmi les DVD enregistrables existants sur le marché, pour réaliser un archivage de très longue durée des données numériques.

Jacques Perdereau,
Ingénieur au LNE