

L'ORDINATEUR INDIVIDUEL

Info PC

HORS-SERIE N° 15 5€

Matériel, multimédia et Internet

Spécial Technos

Comment ça marche

PC, imprimantes, appareils photo :
tous les composants détaillés en infographies

Mieux choisir

Processeurs multicœurs, TV haute
définition ou Internet très haut débit :
les principaux standards décryptés

Dans les labos

L'informatique du futur dévoilée
par les chercheurs du monde entier

Les machines

- Processeurs Core 2 Duo et KBL
- Disques durs PMR ou Flash
- Graveurs Blu-ray et HD DVD
- Les puces de demain
- Le futur de la mémoire vive
- Quand les ordinateurs penseront

Images et son

- Les techniques de stabilisation
- Sublimation et laser couleur
- Les meilleurs formats de compression
- Les capteurs intelligents
- Le papier électronique arrive
- Le retournement temporel

Internet

- La VoIP, la nouvelle téléphonie
- Les débuts de la fibre optique
- Mimo, le super Wi-Fi
- Wi-Max, l'onde à tout faire
- Les défis d'Internet 2
- La ligne de cuivre a de l'avenir

T 04935 - 15 H - F : 5,00 € - RD



FRANCE MITHRONLINE - F. LUXEMBOURG : 1384 € - BELGIQUE : 3,94 €
ESPAGNE : 3,94 € - ITALIE : 3,94 € - SUISSE : 3,94 € - AUTRICHE : 3,94 €
CANADA : 15 \$ CAN - JAPON : 500 ¥

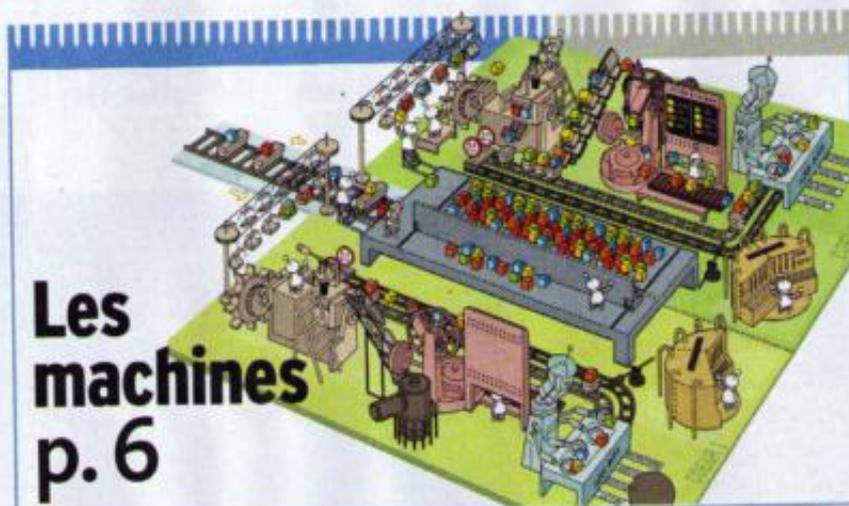


Eric Connehaye
Rédacteur
en chef délégué

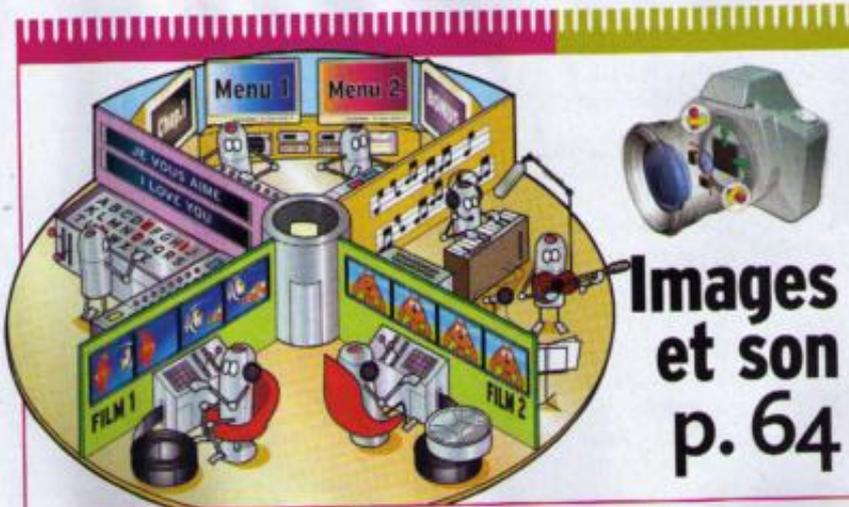
L'aventure intérieure

Il a suffi de dix ans ! De simple outil, l'ordinateur est devenu, au tournant du millénaire, machine multiple, voire protéiforme. Depuis longtemps, il calcule, stocke, analyse. Désormais, il écrit, compose, dessine. Mieux, ces dernières années, il diffuse, communique, échange. Dans le même temps, toutes les unités informatiques de puissance, de vitesse et de taille ont été bouleversées, révolutionnées. Oubliés les centimètres, les minutes, les mégahertz. Place aux millimètres, secondes et gigahertz. On fait tout plus vite, mieux, et on construit de plus en plus petit ! Ce qui tenait dans une armoire tient dans la main. Ce qui tenait dans la main ne se voit déjà presque plus... Le fonctionnement de ce nouvel environnement centré sur l'ordinateur est-il pour autant si complexe qu'il faudrait se contenter de l'utiliser sans vraiment le comprendre ? Bien sûr que non. Une technologie, quelle qu'elle soit, mérite qu'on la dissèque, qu'on la détaille et surtout qu'on l'explique. Comment ça marche ? Comment est fabriquée, structurée même, l'informatique d'aujourd'hui embarquée dans nos micros, nos écrans, nos baladeurs ? Et ensuite... Comment, demain, les scientifiques vont-ils continuer à réduire les tailles, augmenter les puissances et les capacités ? Comment ? Ce quinzième hors-série de *l'Ordinateur individuel* vous offre toutes les réponses. Ici, on pénètre au cœur du PC et de ses composants, du processeur à la mémoire vive, en passant par le disque dur et les batteries. Là, on explore l'intérieur des objets de notre vie quotidienne, bourrés d'informatique, de capteurs ou de miroirs intelligents. Voyage en images dans l'infiniment petit. Enfin, les plus grands laboratoires, les meilleures universités, les plus éminents chercheurs nous ont montré l'informatique du futur. Celle du nanomètre et de l'atome, celle des bactéries et de la poussière. Celle aussi des téraoctets et des millisecondes. Invisible et surpuissante.

Illustration de couverture : Andy Sutirou



Les machines p. 6



Images et son p. 64



Internet p. 98

Glossaire p.116

Index p.120

Illustrations : Francis Teillard-Studio Groupe Text

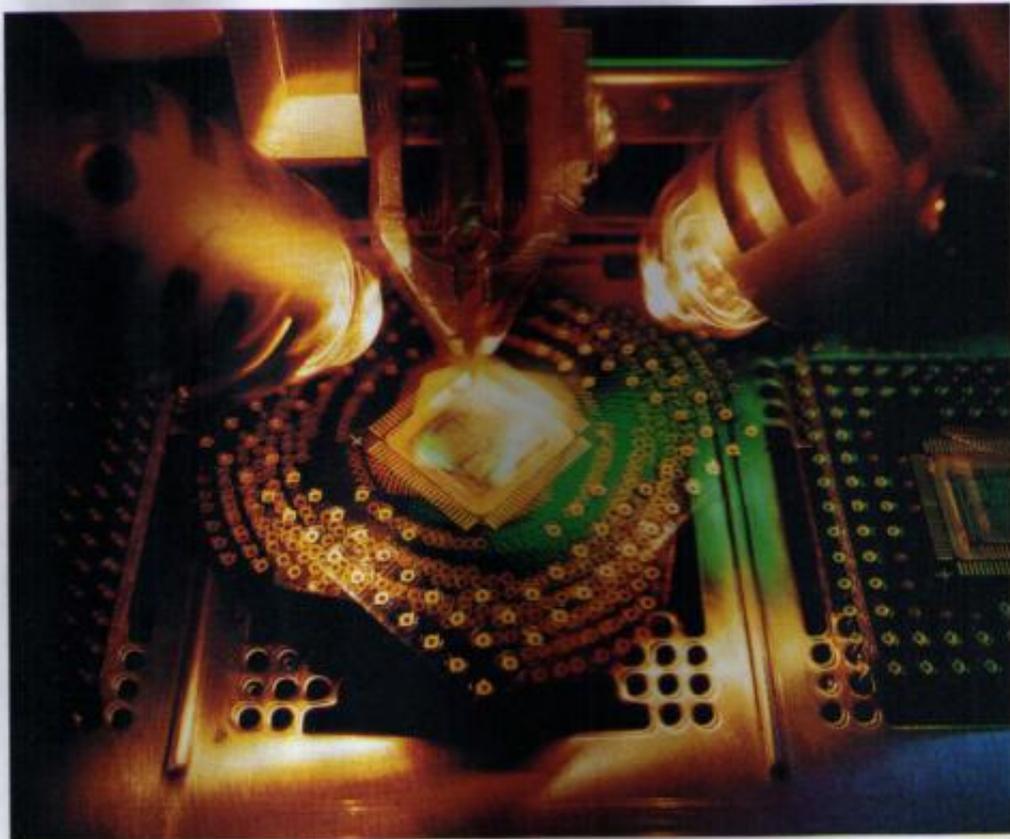
TECHNOLOGIES

Plongée au cœur de l'inform

Dans ce guide spécial, vous trouverez deux grandes familles d'articles explicatifs et pédagogiques. Les technologies actuelles sont tout d'abord décryptées en images. Ensuite, les grands laboratoires du monde entier nous ouvrent leurs portes pour dévoiler les recherches à venir.

Surfer sur Internet à partir d'une connexion permanente en haut débit. Jouer à des jeux réalistes sur un écran plat. Ecouter de la musique à peine téléchargée et la transférer sur un baladeur. Enregistrer un film sur le disque dur de son PC portable pour le regarder dans l'avion. Peu nombreux sont ceux qui imaginaient cela possible il y a seulement dix ans, à l'époque où l'ordinateur ne se vendait pas encore en grandes surfaces.

En l'espace d'une décennie, l'ordinateur s'est imposé comme incontournable, et presque toutes les familles le considèrent comme indispensable pour l'éducation de leurs enfants. L'informatique elle-même n'est



plus une discipline technologique. C'est devenu un mode de vie, presque un art de vivre. Les images, les sons, le savoir sont désormais numérisés. Il suffit d'observer le dégradé d'une photo, la trame d'une vidéo pour mieux assimiler finalement toutes ces améliorations, toutes ces évolutions qui ont profondément changé nos loisirs.

L'informatique est désormais au cœur de toutes les technologies. Vous allez donc, dans les pages suivantes, en avoir la preuve par l'image. Par des images, sous forme d'illustrations pédagogiques qui racontent, mieux qu'un long discours, le cheminement d'un paquet de données, la courbe d'un faisceau, la composition d'une structure, etc.

Cependant, cette informatique d'aujourd'hui est aussi au carrefour de toutes les recherches de demain, voire d'après-demain. Après s'être imposée à tous, l'informatique va s'imposer partout. Pour cela, elle va changer d'échelle. Aujourd'hui, on mesure un disque dur ou une clé USB en centimètres, demain il s'agira de millimètres.

Cette miniaturisation extrême n'est pas un détail, car, en plus

d'autoriser des gains de puissance, elle ouvrira la voie à de nouveaux usages, comme le Lifelog, un projet du département de la Défense américain. Son but : numériser tous les éléments de la vie quotidienne d'une personne à l'aide de centaines de capteurs. On portera donc sur soi son ordinateur, mais on voyagera sans ses données, car le réseau – Internet ou un autre – sera disponible en tous lieux et permettra de les consulter, à n'importe quel moment.

Pour vous, avec vous, nous ouvrons ainsi les portes des plus grands laboratoires de recherche du monde. Histoire de découvrir les nouveaux domaines de recherche, parfois aboutis jusqu'au prototype, ou d'évoquer simplement de multiples pistes à suivre dans le futur. ■





Les prochaines pistes de la recherche

Nous avons choisi de mettre en avant, dans les pages qui suivent, les travaux de différents laboratoires de recherche à travers le monde. Mais d'autres pistes de recherche sont également suivies en parallèle et débouchent déjà parfois sur des prototypes. En attendant, là aussi, des applications précises, des technologies stables. Voici les plus originales.

Des batteries au sucre

Des scientifiques de l'université de Saint-Louis, aux Etats-Unis, ont mis au point une batterie très originale qui s'alimente au sucre ! En fait, elle utilise des enzymes pour oxyder le sucre et le convertir en électricité. Les chercheurs espèrent la commercialiser d'ici trois à cinq ans. Elle pourrait alimenter les PDA ou des mobiles, en leur offrant une autonomie plus de trois fois supérieure à celle de nos batteries actuelles.

Une puce ultrarapide

IBM vient de présenter une puce capable de transmettre des données à une vitesse de 20 Go/s : de quoi transférer un film en haute définition en seulement une seconde. Son secret : elle véhicule les données par pulsations lumineuses, sur fibre optique et non par circulation d'électrons. Encore à l'état de prototype, elle n'arrivera pas avant plusieurs années sur nos PC ou dans nos box. Elle pourrait commencer à apparaître sur les serveurs des entreprises d'ici trois à cinq ans selon les chercheurs.

Une imprimante sans encre

Une équipe de centre de recherche canadien de Xerox travaille à l'élaboration d'un système d'impression sans encre employant un papier effaçable. Constitué de composants photochromiques (dont la sensibilité à la lumière est réversible), il serait réinscriptible une cinquantaine de fois. Les impressions sont réalisées sur une imprimante multifonction modifiée, où le laser est remplacé par une source de lumière ultraviolette. Les chercheurs doivent toutefois résoudre le principal défaut de ce système : le papier s'efface de lui-même au bout d'une vingtaine d'heures.

Un transistor à l'échelle atomique

Des chercheurs de l'université de Manchester, en Angleterre, ont mis au point le plus petit transistor du monde. Elaboré à partir de graphène (dérivé du carbone), il ne mesure qu'un atome d'épaisseur et cinquante de largeur. Contrairement au premier transistor en graphène mis au point il y a deux ans, il ne subit pas de fuites d'électrons et pourrait être employé dans des composants électroniques. La production de ce successeur éventuel du silicium n'est pas envisagée avant 2025.

Une explosion des fréquences théoriques

Processeurs (en gigahertz)

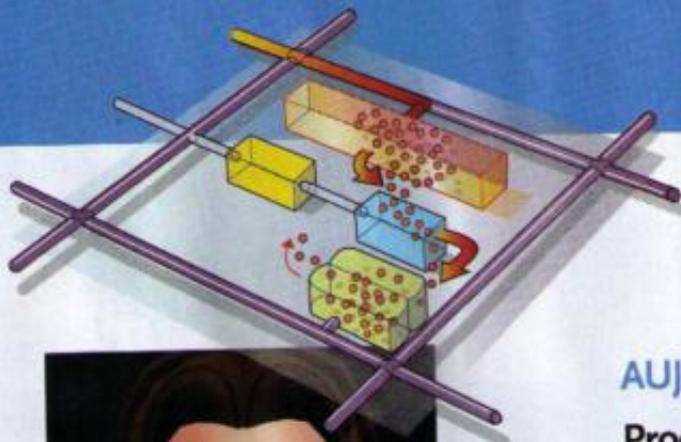
1,7	2,5	3,5	6	10	13,5
2001	2003	2005	2008	2011	2014

Circuit de mémoire DRam (en gigahertz)

0,49	0,89	1,63	4,03	9,94	24,5
2001	2003	2005	2008	2011	2014

La mémoire vivante

L'ADN, support de stockage du futur ? Pourquoi pas. Son intérêt, par rapport à nos CD, DVD et autres mémoires actuelles : une durée de vie illimitée. Des scientifiques de l'université japonaise de Keio ont réussi à coder un message en traduisant des données alphanumériques en données chimiques sur l'ADN d'une bactérie. Or, si son environnement reste stable, une bactérie se reproduit quasiment à l'identique. Ses descendants sont donc dotés du même ADN et héritent tous au passage du message de leur parent. En l'état actuel des recherches, cet espace de stockage offre une capacité limitée à quelques centaines de bits. Mais ce n'est qu'un début.



AUJOURD'HUI

Processeur

- Le Core 2 Duo d'Intel p. 8
- K8L: l'Athlon 64 puissance quatre p. 10

Composants

- Chipset: le chef d'orchestre du PC p. 12

Disque dur

- PMR: des capacités en inflation p. 14
- Dopé à la mémoire Flash p. 18

Carte d'extension

- DirectX: le donneur d'ordres p. 20

Blu-Ray et HD-DVD

- Les prouesses du laser bleu p. 22

Intelligence artificielle

- Les probabilités au service des logiciels p. 25

Imprimante

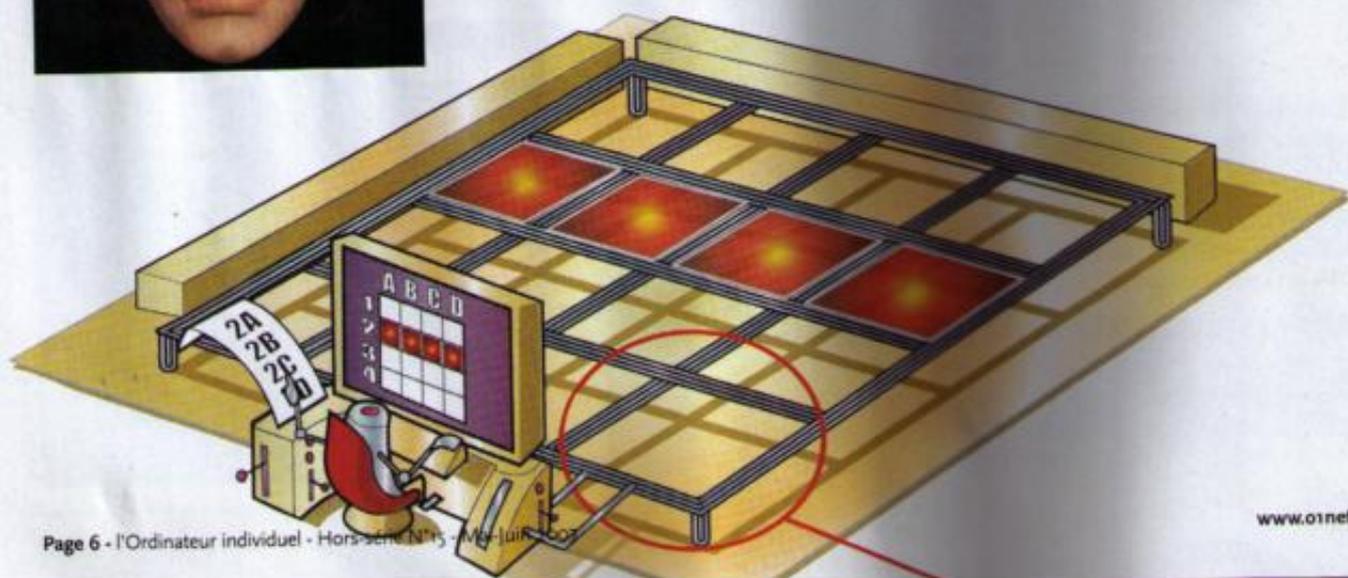
- Le laser couleur contre-attaque p. 28

Batteries

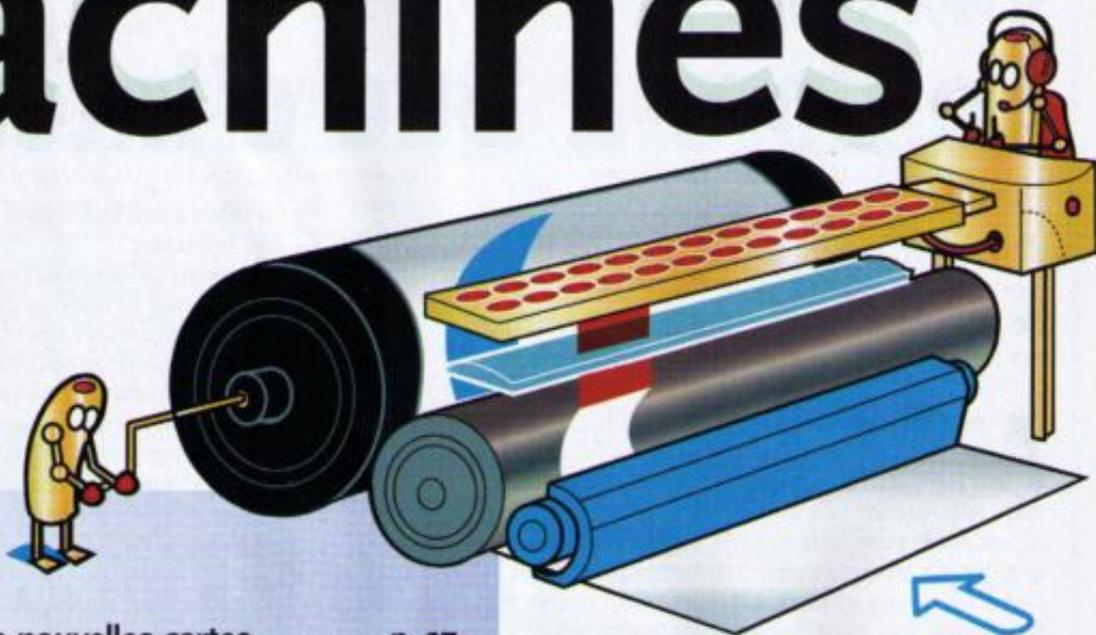
- Au cœur des Lithium-ion p. 31

Mémoire Flash

- Des données stockées en permanence p. 34



smachines



DEMAIN

Circuits

— En piste pour de nouvelles cartes p. 37

Ecran

— Au doigt et à l'œil p. 40

Nanobiotechnologies

— Des bactéries électroniciennes p. 44

Transistors

— Des puces superpuissantes p. 46

Sans-fil

— L'invasion des puces communicantes p. 48

Batteries

— Recharge accélérée et autonomie augmentée p. 50

Robotique

— Le règne des animats p. 52

APRES-DEMAIN

Interface homme-machine

— Des ordinateurs fins psychologues p. 54

— Je pense donc l'ordinateur me suit p. 57

Circuits

— Le royaume du minuscule p. 60

Mémoire

— La Ram prépare son futur p. 62



■ PROCESSEUR

Le Core 2 Duo d'Intel

Déclinée sur la nouvelle gamme de puces d'Intel, l'architecture Core multiplie les astuces pour optimiser le travail des cœurs de processeurs. A la clé, des performances en hausse et une consommation en baisse.

A dieu Pentium, vive Core! Tel pourrait être le slogan d'Intel, qui a complètement revu l'architecture interne de ses puces pour sa nouvelle génération de processeurs. Oubliée la course effrénée à la fréquence, qui avait fait les beaux jours des différentes séries de Pentium depuis 1993, mais qui avait fini par poser des problèmes physiques liés à la consommation électrique et à la dissipation thermique. Intel s'était retrouvé dans une impasse technologique lui empêchant d'atteindre la barrière symbolique des 4 GHz avec le Pentium 4.

Le multicœur après les gigahertz

Désormais, les gigahertz ont moins d'importance, et c'est sur l'optimisation de l'organisation interne des processeurs que les ingénieurs concentrent tous leurs efforts. A l'instar d'IBM et d'AMD, Intel a ainsi misé sur le principe du multicœur. La puce contient plusieurs processeurs élémentaires, appelés cœurs. Le premier processeur double cœur Intel, baptisé Pentium D, a débarqué à la mi-2006. Conçu à la va-vite, à partir de cœurs de Pentium 4, pour contrer l'Athlon 64 X2 d'AMD, il a vite été abandonné au profit du processeur Core Duo, plus performant, car bâti sur des cœurs de Pentium M (développé pour la plate-forme Centrino). Mais c'est avec l'architecture Core qu'Intel innove vraiment. Déclinée sur toute la nouvelle gamme de processeurs Intel, sous la dénomination commer-

ciale Core 2 Duo (série E6xxx pour les PC de bureau, séries T7xxx et T5xxx pour les portables et Xeon 51xx pour les serveurs), elle introduit plusieurs techniques visant à optimiser les performances et la consommation électrique.

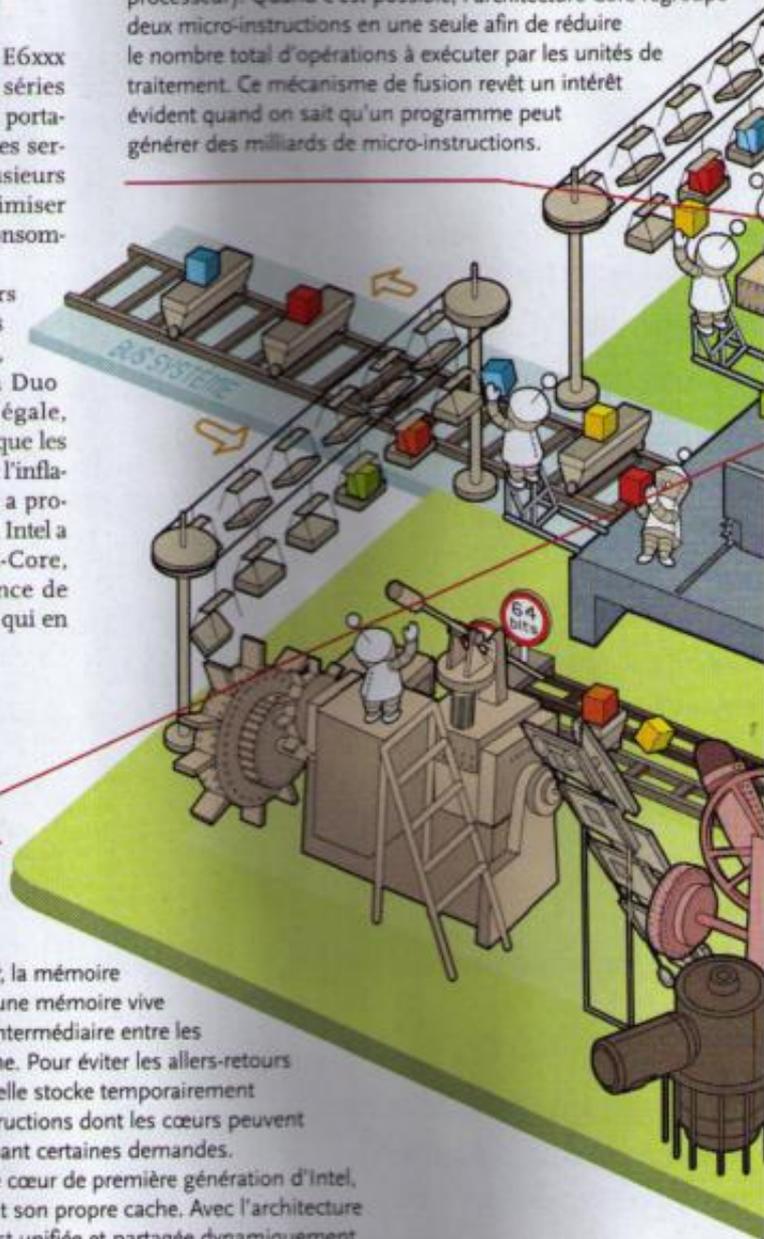
Le travail des ingénieurs d'Intel a payé: selon les premiers tests effectués, les processeurs Core 2 Duo seraient, à fréquence égale, 20 % plus performants que les Core Duo... Depuis, c'est l'inflation du cœur. AMD en a proposé quatre (voir page 8). Intel a répondu par les Quad-Core, mais aussi par l'annonce de l'architecture Nehalem, qui en autorisera huit! ■

2 Certaines micro-instructions sont fusionnées

Les instructions provenant du système d'exploitation sont transformées en une suite de micro-instructions (des commandes élémentaires adaptées aux unités de traitement du processeur). Quand c'est possible, l'architecture Core regroupe deux micro-instructions en une seule afin de réduire le nombre total d'opérations à exécuter par les unités de traitement. Ce mécanisme de fusion revêt un intérêt évident quand on sait qu'un programme peut générer des milliards de micro-instructions.

1 Les cœurs se partagent la mémoire cache

Intégrée au processeur, la mémoire cache de niveau 2 est une mémoire vive ultrarapide qui sert d'intermédiaire entre les cœurs et le bus système. Pour éviter les allers-retours avec la mémoire vive, elle stocke temporairement les données et les instructions dont les cœurs peuvent avoir besoin en anticipant certaines demandes. Dans les puces double cœur de première génération d'Intel, chaque cœur possédait son propre cache. Avec l'architecture Core, cette mémoire est unifiée et partagée dynamiquement entre les deux cœurs: chacun peut s'en octroyer à volonté une portion de taille variable pour stocker les informations qu'il veut garder sous la main. S'il en a besoin, l'autre cœur peut accéder directement à ces données, sans passer par le bus système externe.



3 Les accès à la mémoire sont optimisés

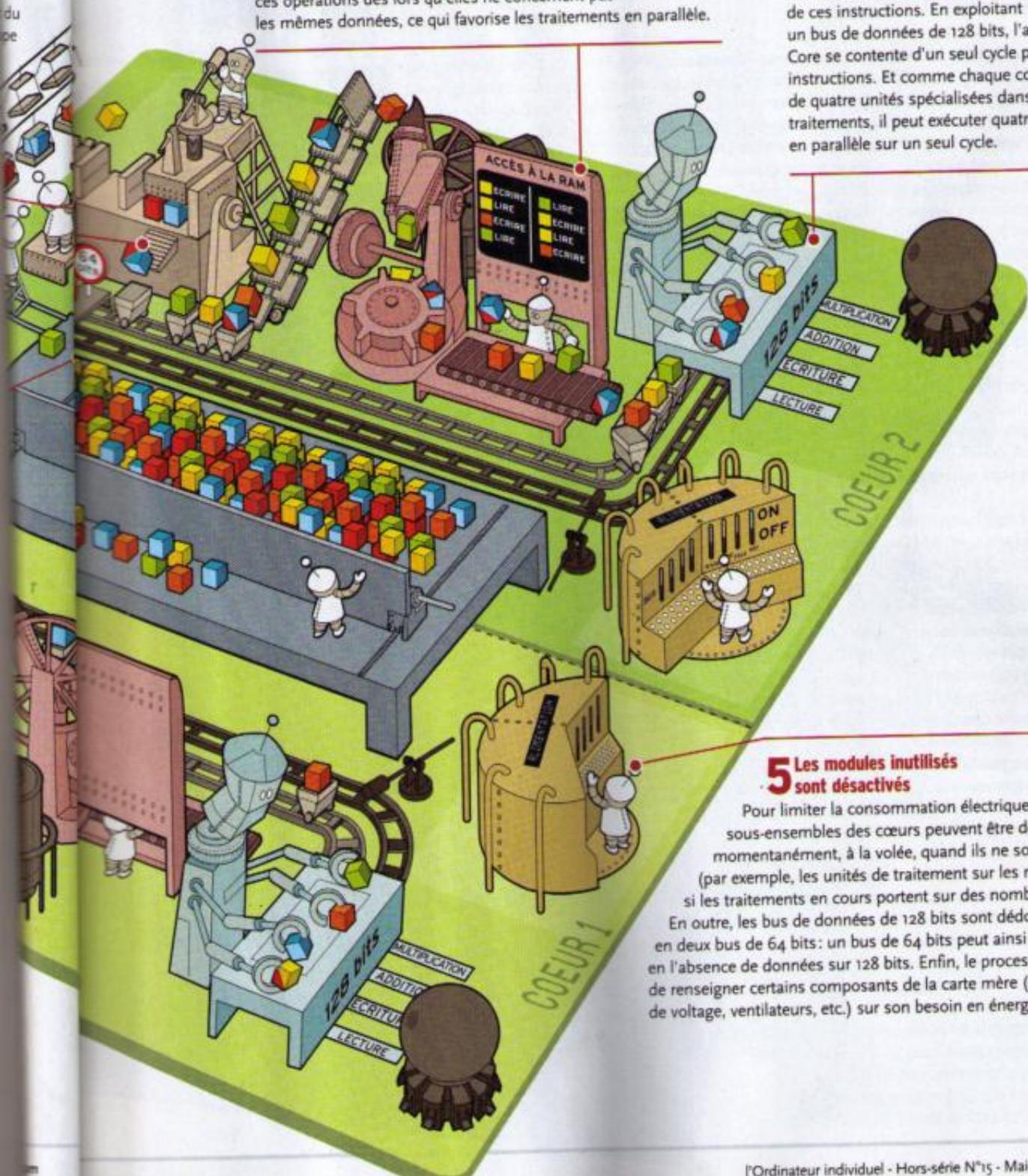
Sur les précédents processeurs Intel, les instructions de lecture et d'écriture en mémoire vive (Ram) étaient exécutées scrupuleusement dans l'ordre où elles apparaissaient. Du coup, un processus A ayant besoin de lire en mémoire pouvait être interrompu temporairement en attendant qu'un processus B ait fini d'y écrire ses données, et ce même si les données de ces deux processus étaient totalement indépendantes. L'architecture Core est capable de découpler ces opérations dès lors qu'elles ne concernent pas les mêmes données, ce qui favorise les traitements en parallèle.

4 Les données de 128 bits sont traitées en parallèle

Les instructions destinées aux traitements multimédias (de type SSE2 ou SSE3) manipulent des données codées sur 128 bits. Comme les bus véhiculant les données à l'intérieur de chaque cœur étaient limités à 64 bits sur les précédents processeurs, il fallait deux cycles pour traiter une seule de ces instructions. En exploitant un bus de données de 128 bits, l'architecture Core se contente d'un seul cycle par instructions. Et comme chaque cœur dispose de quatre unités spécialisées dans ce type de traitements, il peut exécuter quatre instructions en parallèle sur un seul cycle.

5 Les modules inutilisés sont désactivés

Pour limiter la consommation électrique, certains sous-ensembles des cœurs peuvent être désactivés momentanément, à la volée, quand ils ne sont pas utilisés (par exemple, les unités de traitement sur les nombres réels si les traitements en cours portent sur des nombres entiers). En outre, les bus de données de 128 bits sont dédoublés en deux bus de 64 bits : un bus de 64 bits peut ainsi être désactivé en l'absence de données sur 128 bits. Enfin, le processeur est capable de renseigner certains composants de la carte mère (régulateur de voltage, ventilateurs, etc.) sur son besoin en énergie du moment.



■ PROCESSEUR

K8L: l'Athlon 64 puissance

Grâce à une architecture finement remaniée, le futur processeur quadricœur d'AMD promet des performances supérieures à celles du Core 2 d'Intel.

Face aux Athlon 64 d'AMD, bâtis sur l'architecture K8 à 64 bits, les performances des derniers Pentium 4 d'Intel restaient à la traîne. Obligé de revoir entièrement sa copie, Intel a repris l'avantage sur son éternel concurrent avec ses processeurs Core 2, sortis il y a quelques mois. On attendait donc logiquement la réplique d'AMD. Celle-ci a désormais un nom de code: K8L. Il s'agit d'une architecture nativement quadricœur, c'est-à-dire conçue dès le départ pour tirer parti de quatre cœurs intégrés au sein d'une même puce – des déclinaisons allégées, dotées d'un ou de deux cœurs sont également prévues.

Bien sûr, tout ne change pas fondamentalement, et AMD n'est pas reparti de zéro: comme son nom le suggère, le K8L reprend nombre d'éléments de l'architecture K8. Ainsi, comme ses prédécesseurs, le K8L est conçu pour exécuter un nombre élevé d'instructions par cycle d'horloge et n'a donc pas besoin d'une fréquence de fonctionnement très élevée pour offrir de bonnes performances.

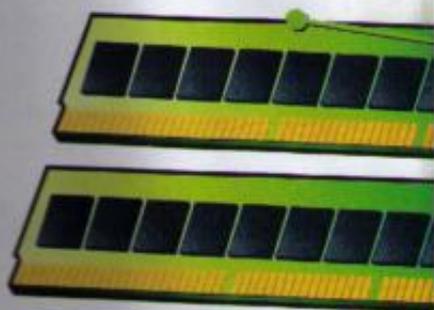
Une meilleure gestion de l'énergie

Bien entendu, le K8L apporte aussi un lot de nouveautés. La structure des cœurs a été améliorée grâce à des transferts avec la mémoire cache de premier niveau optimisés et des unités de calculs plus puissantes. AMD a également mis en place plusieurs techniques pour faire collaborer de façon plus efficace les quatre cœurs du K8L. En plus de leurs deux caches pro-

pres, les cœurs disposent d'une mémoire cache partagée (dite de troisième niveau), et ils communiquent par l'intermédiaire d'un commutateur gérant les échanges croisés.

Enfin, comme Intel dans le Core 2, AMD a soigné la gestion de l'énergie, qui conditionne la dissipation thermique, un élément de plus en plus important à l'heure actuelle – surtout quand il s'agit de décliner un processeur dans des versions pour ordinateur portable –, le K8L étant capable de mettre en veille certains sous-ensembles non utilisés. En conséquence, la dissipation thermique devrait être maintenue à des niveaux raisonnables (environ 125 W avec les quatre cœurs actifs, et moins de 80 W dans les déclinaisons double cœur).

Cadencées à des fréquences allant de 1,9 à 2,9 GHz, les premières déclinaisons du K8L devraient être commercialisées à partir de l'été 2007. En principe, elles devraient s'installer dans le support AM2 des actuels Athlon 64, moyennant une simple mise à jour du Bios de la carte mère. Un moyen élégant d'évoluer en douceur... ■



Un cache commun

L'une des originalités de l'architecture K8L tient à l'introduction d'un troisième niveau de mémoire cache (L3), qui s'intercale entre les cœurs et la mémoire centrale de l'ordinateur qu'est la mémoire vive. Beaucoup plus rapide que cette dernière, elle permet, en théorie, d'accélérer les traitements lorsque plusieurs cœurs travaillent sur les mêmes données. En pratique, son efficacité dépend beaucoup du mécanisme qui gère son contenu, partagé entre les cœurs. Tous les K8L ne seront pas logés à la même enseigne. Les premiers modèles disposeront de 2 Mo de ce type de cache, mais, dès 2008, des déclinaisons en embarqueront 6 Mo, tandis que des versions d'entrée de gamme en seront dépourvues.

Des interconnexions à haute vitesse

Les quatre cœurs du K8L sont interconnectés par l'intermédiaire d'un commutateur ultrarapide, qui assure les échanges croisés entre les cœurs, le cache de troisième niveau, le contrôleur mémoire et le contrôleur HyperTransport. C'est de ce commutateur que dépend la bonne collaboration des cœurs et, partant, l'efficacité du processeur.

ce quatre

Paré pour la mémoire rapide

Comme l'Athlon 64, le K8L intègre un contrôleur mémoire à double canal, capable d'accéder simultanément à deux barrettes mémoire, ce qui permet de transférer deux fois plus d'informations dans le même temps. La différence, c'est qu'il est conçu dès le départ pour gérer les mémoires rapides: l'actuelle de type DDR-2 (dans toutes ses déclinaisons les plus rapides), mais aussi la future DDR-3 «1333», dès qu'elle sera disponible.

Des échanges à haut débit

A l'instar de l'Athlon 64, le K8L utilise un système de communication à haut débit baptisé HyperTransport pour échanger des données avec les autres composants du système (notamment les cartes d'extensions et les systèmes de stockage du PC), mais aussi avec d'autres processeurs. Il utilise toutefois une version plus évoluée (HyperTransport 3.0) qui fonctionne à une fréquence plus élevée, ce qui autorise un débit nettement supérieur à celui offert par la version mise en œuvre dans l'Athlon 64 actuel. Le K8L disposera, en outre, de davantage de «liens» (une connexion HyperTransport) que dans la génération précédente.

Plus fort en calculs

Les cœurs du K8L présentent quelques différences par rapport à ceux de l'architecture K8. Ainsi, la liaison entre chaque cœur et sa mémoire cache de premier niveau (L1) a été doublée de façon à traiter deux fois plus de données par cycle. Chaque cœur comporte un cache de deuxième niveau (L2) de 512 Ko réservé, qui fait office de mémoire tampon entre ses unités d'exécution et le cache de troisième niveau, partagé avec les autres cœurs. Par ailleurs, toutes les unités de calcul en virgule flottante, très sollicitées dans les applications multimédias (vidéo, audio, photo et jeu en 3D), sont capables de traiter des données sur 128 bits, ce qui permet théoriquement de doubler les performances sur certains types de calculs par rapport à l'Athlon 64.



■ COMPOSANTS

Chipset: le chef d'orchestre

Élément-clé d'un micro, le chipset gère l'échange de données entre les composants. Ses caractéristiques influent aussi bien sur les fonctions que sur les performances du micro.

Si processeur, mémoire vive et carte graphique font l'objet de toutes les attentions lors de l'achat d'un PC, le chipset (en français jeu de composants) est, paradoxalement, souvent négligé. Cet ensemble de circuits électroniques joue pourtant un rôle fondamental: chargé de coordonner les composants internes (processeur, disque dur, etc.), il est en grande partie responsable de la stabilité, des fonctions et des performances de la machine.

Soudé sur la carte mère (on ne peut pas le changer), le chipset est généralement composé de deux puces distinctes, appelées Northbridge (Pont nord) et Southbridge (Pont sud). Les processeurs AMD 64 bits font exception: gérant eux-mêmes la mémoire, ils n'ont pas besoin de Southbridge.

A chacun son rôle

Dédié à la gestion des composants les plus rapides, le Northbridge assure les communications entre le processeur, la mémoire vive et la carte graphique. Le Southbridge est chargé des échanges entre le processeur et les périphériques tels que disque dur, cartes d'extension, lecteur-graveur de CD, ports Ethernet, prises USB, etc. Un canal de communication très rapide, par lequel transite un intense flux d'informations, relie les deux ponts: c'est le bus de données.

Pour coordonner tous les composants de l'ordinateur, le chipset joue les interprètes. Chaque élément (processeur, mémoire, cartes d'extension, etc.) utilise en effet un protocole de com-

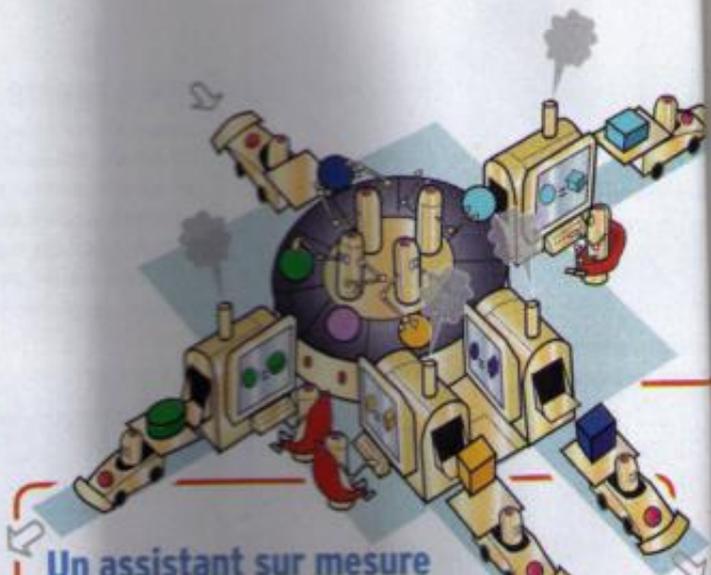
munication distinct pour échanger des données. Le chipset se charge d'encapsuler les données hétéroclites qui lui parviennent des composants pour les faire transiter dans un format unique.

Eviter les engorgements

Le chipset joue aussi les chefs de gare: on peut le comparer à une gigantesque salle d'aiguillage des données, où la moindre erreur provoque aussitôt l'instabilité de tout le système. Responsable du trafic, mais aussi de sa fluidité, il arbitre en permanence les priorités entre les différents flux de données afin d'éviter les engorgements, sources de ralentissement.

Au sein des PC actuels, son rôle est de plus en plus important. Il détermine le type de technologies acceptées et le nombre de prises associées: le processeur, bien sûr (les différents modèles Intel ou AMD, avec leurs particularités), mais aussi la mémoire vive (DDR classique ou DDR-2, par exemple), les bus d'extension (PCI, PCI Express, etc.), et toutes les interfaces (USB 1.0 ou 2.0, Ethernet 100 ou 1000 Mbit/s, IDE ou Sata, fonctions Raid, etc.).

Il se charge d'un grand nombre de fonctions autrefois dévolues à des puces ou des cartes spécialisées: la plupart des modèles actuels gèrent ainsi directement le son, ce qui évite d'avoir à installer une carte audio. Et bon nombre de chipsets modernes intègrent un circuit graphique (avec de la mémoire vive au lieu de la mémoire vidéo) ce qui permet de réduire les coûts et de fabriquer des PC d'entrée de gamme très économiques. ■



Un assistant sur mesure

Le Northbridge transmet les requêtes du processeur soit à la mémoire (dans laquelle il doit lire ou écrire), soit à la carte graphique. Lorsqu'il est sollicité par le processeur, le Northbridge récupère la donnée demandée dans l'un de ces deux éléments et la lui transmet. Ces échanges sont effectués à très grande vitesse. Ainsi, il n'est pas rare de trouver des débits supérieurs à 8 Go/s côté mémoire et 4 Go/s côté carte graphique. A un type de Northbridge correspond un type de mémoire: sur un Pentium 4, par exemple, où le débit du bus processeur est limité à 6,4 Go/s, il est inutile d'utiliser une mémoire fonctionnant plus vite (telle la DDR2 cadencée à 667 MHz): le processeur ne pourra pas en bénéficier.

Chipset graphique intégré: moins cher mais moins performant

La majorité des PC d'entrée de gamme actuels sont dépourvus de carte graphique, l'affichage étant géré par une section du chipset (IGP pour Integrated Graphic Processor, processeur graphique intégré). Une technique qui diminue les coûts... mais aussi les performances. En effet, réduire la taille du circuit incorporé dans le Northbridge contraint son architecture et diminue ses capacités de calcul. De plus, l'absence de mémoire vidéo dédiée oblige à utiliser une partie de la mémoire vive pour stocker les éléments nécessaires au rendu 3D. La Ram du PC se voit ainsi amputée d'une quantité non négligeable (de 32 à 256 Mo!). Et comme les échanges sont plus lents qu'avec de la mémoire vidéo, les performances s'en ressentent. D'où la nécessité d'utiliser une vraie carte graphique pour profiter d'un jeu en 3D exigeant.



Southbridge

re du PC

Au nord, les échanges rapides

Le Northbridge contrôle les échanges de données entre les composants les plus rapides du système: le processeur, la mémoire vive et la carte graphique. Chaque Northbridge est conçu pour un processeur en particulier: travaillant en étroite collaboration, ils doivent communiquer dans le même langage. C'est pourquoi un chipset prévu pour un processeur Intel ne peut fonctionner avec un processeur AMD.

Un réseau à vitesse variable

La principale voie de communication du chipset est une autoroute à double sens reliant le Northbridge au Southbridge: les flux d'informations y transitent à raison de plusieurs gigaoctets par seconde. Mais certaines voies sont encore plus rapides.

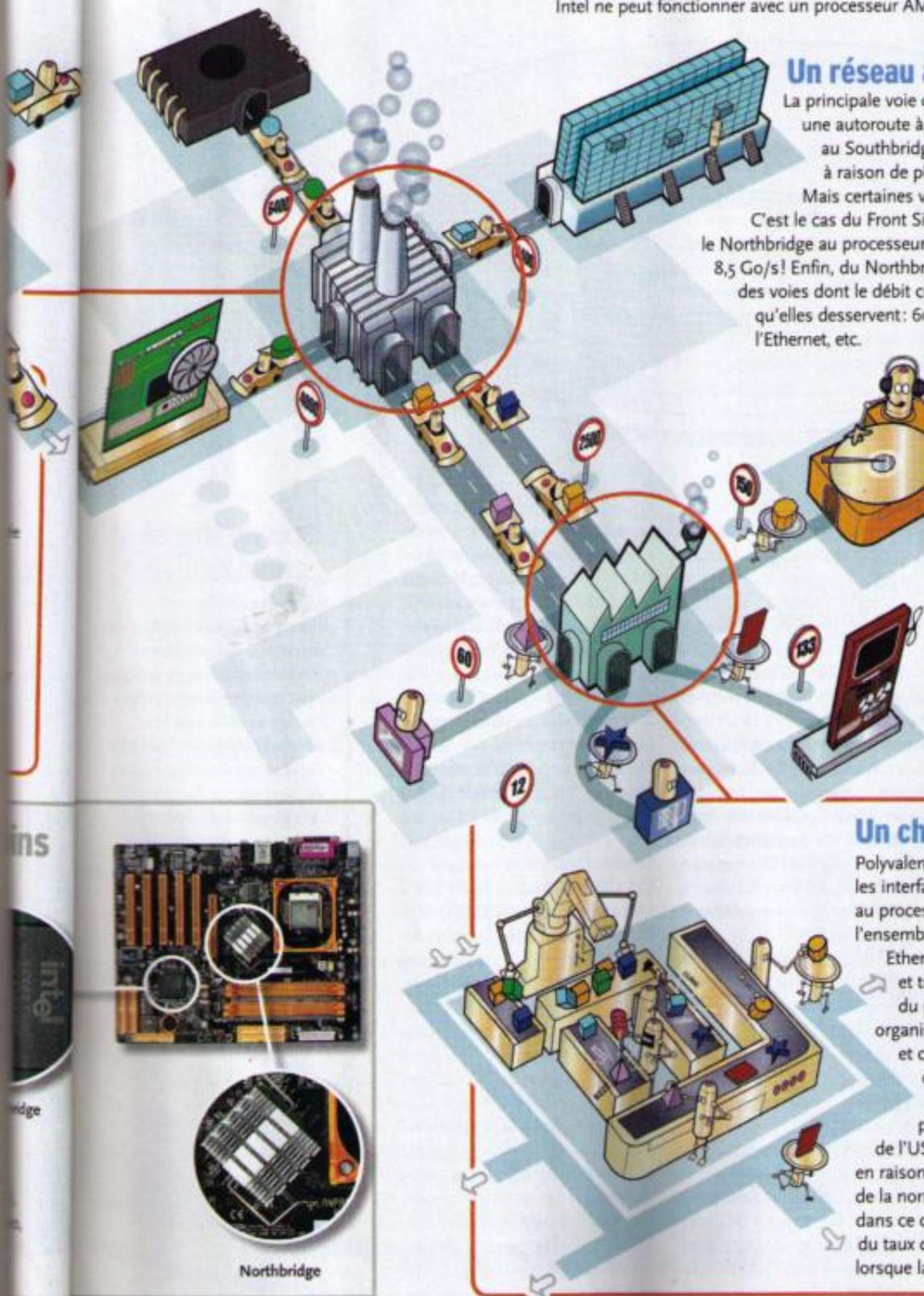
C'est le cas du Front Side Bus (FSB), le bus qui relie le Northbridge au processeur et dont le débit peut atteindre 8,5 Go/s! Enfin, du Northbridge et du Southbridge partent des voies dont le débit correspond à celui des composants qu'elles desservent: 60 Mo/s pour l'USB 2.0, 12 Mo/s pour l'Ethernet, etc.

Au sud, les échanges plus lents

Le Southbridge contrôle les échanges de données entre le processeur et les composants moins rapides que le processeur ou la mémoire vive: interfaces IDE et SATA (disque dur, lecteur de CD, graveur de DVD, etc.), prises USB, interface réseau (Ethernet), connecteurs pour cartes d'extension (PCI, etc.), audio, etc.

Un chef de gare polyglotte

Polyvalent, le Southbridge contrôle toutes les interfaces de communication externes au processeur. Il doit donc maîtriser l'ensemble des protocoles (USB, Ethernet, SATA, etc.) pour comprendre et transmettre les requêtes du processeur. De plus, il doit organiser un trafic de données intense et complexe, dont les éléments circulent avec des débits variables. Mal conçu, un Southbridge peut brider des débits: les 60 Mo/s de l'USB 2.0 peuvent chuter à 40 Mo/s en raison d'une mauvaise implantation de la norme. On constate aussi, dans ce cas, une augmentation significative du taux d'utilisation du processeur lorsque la liaison USB 2.0 est sollicitée.



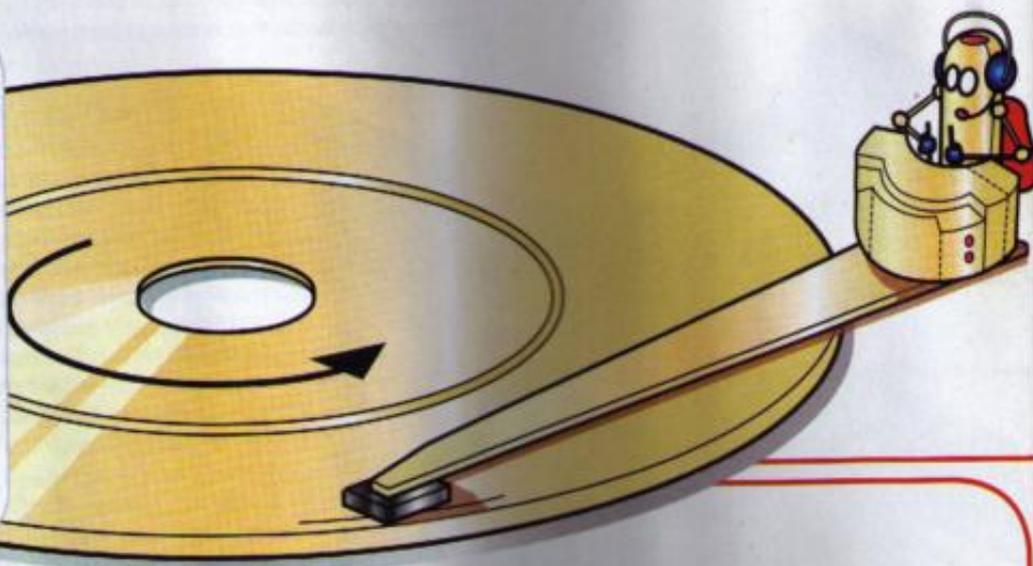
Northbridge

■ DISQUE DUR

PMR: des capacités en infla

La mécanique: pas de changement dans le principe

Qu'ils utilisent la technologie longitudinale ou perpendiculaire, les disques durs stockent les données sur des plateaux qui tournent à vitesse constante (7200 tours par minute, par exemple), dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Les données sont enregistrées et lues par une tête qui balaye la surface des plateaux.



Alors que les limites physiques semblaient atteintes, la capacité des disques durs repart à la hausse grâce au PMR, trouvaille technologique qui permet d'entasser les données debout plutôt que couchées.

Des logiciels plus volumineux, des fichiers à enregistrer plus nombreux (images, musiques, vidéos), nos PC réclament toujours plus d'espace de stockage. Depuis leur apparition en 1956 (près d'une tonne d'électronique pour une capacité de 5 Mo!), les disques durs ont fait de sérieux progrès, les fabricants rivalisant d'ingéniosité pour augmenter les volumes de stockage.

En 1988, le Français Albert Fert découvre un phénomène étrange, baptisé magnétorésistance géante, qui a permis d'augmenter considérablement la sensibilité des têtes de lecture et donc la densité d'informations sur le disque dur, inscrites sous forme de minuscules zones magnétisées. Ces dernières années, les laboratoires de recherche et développement ont cherché à réduire encore la taille de ces zones.

Mais cette course à la miniaturisation atteint aujourd'hui ses limites physiques. Les chercheurs tentent désormais d'améliorer une technique connue depuis longtemps, mais qui n'a été utilisée que sur de très rares modèles de disques durs d'ordinateurs portables: l'enregistrement perpendiculaire, en anglais *Perpendicular Magnetic Recording* ou PMR.

La mécanique demeure la même: comme sur une platine tourne-disque, un plateau circulaire tourne et un bras pivote, portant la tête de lecture et d'écriture. Le principe de stockage reste, lui aussi, globalement identique. L'enregistrement consiste à générer un petit champ magnétique dans la tête de lecture (en lui envoyant du courant). Ce champ pénètre dans l'épaisseur du plateau et atteint une couche métallique (un alliage à base de fer ou de

cobalt) qu'on peut se représenter comme constitué de minuscules particules magnétiques. Sous l'effet du champ sous la tête d'écriture, un ensemble de ces particules s'orientent toutes de la même manière, formant un petit aimant, avec un pôle nord et un pôle sud. A la lecture, la tête recueille ce champ, ce qui génère un courant, orienté différemment selon le sens de l'aimant. Voilà comment coder des 0 et des 1.

Deux fois plus de données à encombrement égal

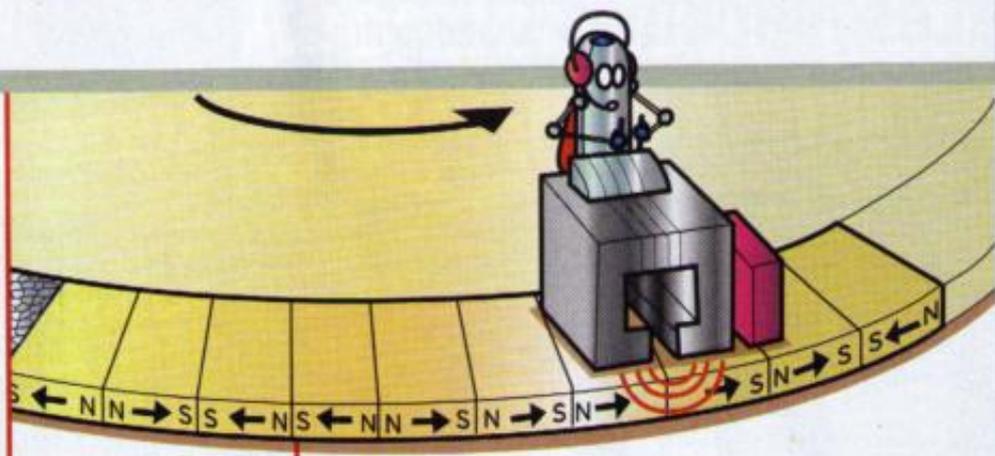
Ce qui change avec la technologie PMR, c'est l'orientation des pôles. Sur un disque classique, à enregistrement dit longitudinal, les petits aimants sont couchés: leur axe nord-sud est parallèle au plateau. Ils occupent donc une certaine place.

Pour augmenter la densité d'information, les fabricants doivent réduire la longueur de ces petits aimants, mais ils butent encore aujourd'hui sur la taille minimale imposée par un phénomène physique: le superparamagnétisme. Il

L'enregistrement perpendiculaire

Comme dans l'enregistrement longitudinal un champ magnétique traverse le plateau et polarise un ensemble de particules situées sur l'une de ses couches. Mais cette fois, les particules sont magnétisées de façon verticale, selon un axe perpendiculaire à la surface du plateau.

la tion



L'enregistrement longitudinal

Lors d'un enregistrement avec la technique classique, dite longitudinale, on produit, entre les deux bornes de la tête, un champ magnétique dont la polarité (nord-sud ou sud-nord) se transmet aux particules métalliques situées sur le plateau. L'ensemble de particules polarisées (groupes d'atomes métalliques) lors de cette opération élémentaire n'exécède pas 250 nanomètres de long sur 30 de large. L'information est ainsi écrite sur le plateau par alternance de polarisations, les pôles nord et sud étant orientés de façon parallèle au plateau.

ent
re

udinal,

polarise
les

es, les
osées

► Un champ magnétique plus puissant

Pour magnétiser les particules perpendiculairement au plateau, le champ magnétique émis par la tête doit être deux fois plus puissant que lors d'un enregistrement longitudinal.

► Une tête plus épaisse à l'arrière

La tête des disques durs comporte deux bornes. Sur les modèles qui utilisent la technologie perpendiculaire, ces bornes ne sont pas identiques. La borne avant, plus fine que

la borne arrière, concentre le champ magnétique pour l'envoyer précisément sur les particules métalliques du plateau. Tandis que la borne arrière récupère ce flux, plus dispersé donc plus large, après son passage à travers les couches du plateau.

► Des couches supplémentaires sur les plateaux

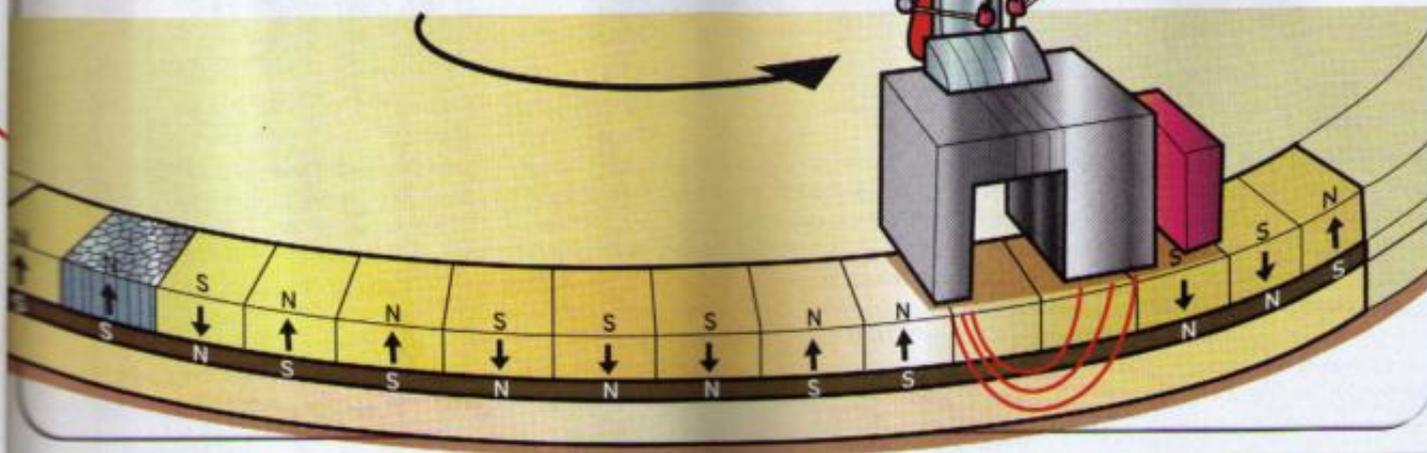
Des strates ont été ajoutées sur le plateau afin de canaliser le flux magnétique. Lorsque celui-ci a traversé la couche

composée de particules, le flux magnétique pénètre dans la couche EBL (*Exchange Breaking Layer*), où il s'incline, avant de se diriger vers la couche inférieure. Il rebondit alors sur la couche SUL (*Soft UnderLayer*), avant de remonter vers la borne arrière de la tête, affaibli, donc sans effet sur les particules déjà orientées.

► Des ensembles de particules plus compacts

Les ensembles de particules magnétisées

utilisés avec la technologie perpendiculaire sont plus petits que ceux de la technologie longitudinale: ils ne mesurent que 120 nanomètres de long sur 25 de large. Du coup, à surface identique, on peut placer plus d'ensembles élémentaires sur un plateau et donc augmenter sa capacité de stockage. Malgré l'ajout de couches supplémentaires, l'épaisseur des plateaux est à peine supérieure à celle des disques durs basés sur la technologie longitudinale.



Les machines AUJOURD'HUI

— se produit lorsqu'on rapproche trop ces petits aimants qui contiennent l'information. Quand un 0 voisine avec un 1, deux pôles identiques sont alors trop près l'un de l'autre, et l'un des deux peut s'inverser... d'où une perte de données.

En PMR, les aimants ne sont plus couchés mais debout et prennent donc beaucoup moins de place. Leur encombrement est divisé environ par deux. De plus, cette disposition atténue les phénomènes d'attraction et répulsion entre pôles voisins. Elle permet en outre de réduire

le nombre de particules nécessaires pour former une donnée, car lorsque les pôles sont orientés à la verticale, la tête capte plus facilement leur champ magnétique au moment de la lecture.

La capacité des disques de 3,5 pouces atteint le téraoctet

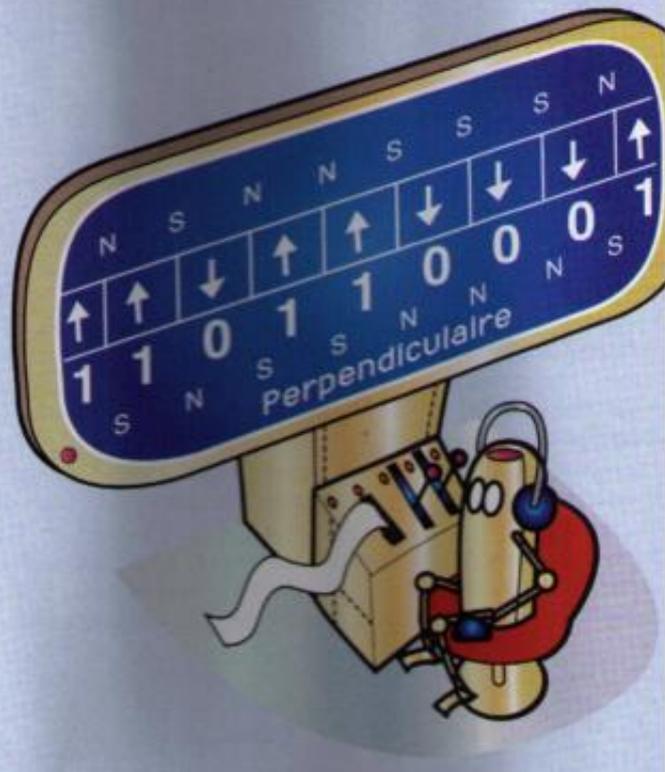
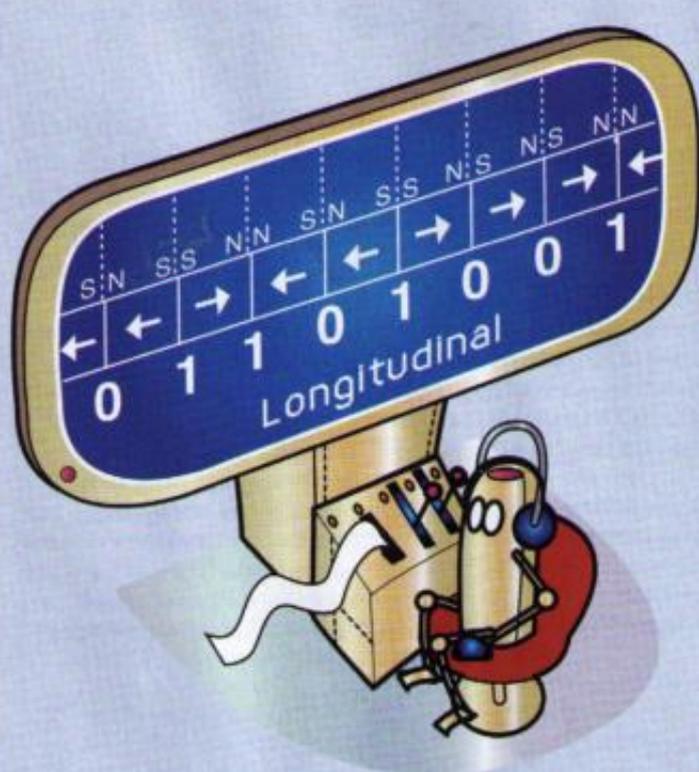
Pourquoi n'y a-t-on pas pensé plus tôt? Parce que le PMR impose des contraintes mécaniques plus fortes et, par rapport aux disques classiques, induit d'importants changements dans la conception des têtes et des

plateaux. C'est donc un processus de fabrication entier qu'il faut développer.

Les premiers modèles PMR sont apparus durant l'été 2006 sous forme de disques durs de 2,5 pouces destinés aux ordinateurs portables, avec des capacités atteignant les 200 Go. En format 1,8 pouce, qui convient bien aux baladeurs MP3, les disques PMR atteignent maintenant 100 Go. En ce qui concerne les ordinateurs classiques, qui en restent aux gros disques durs de 3,5 pouces, les capacités grimpent jusqu'au téraoctet (To), soit 1 000 Go.

La technologie PMR promet beaucoup d'autres avancées techniques. Parmi les évolutions qui sont dès à présent envisagées, deux options semblent retenir l'attention des scientifiques. La première, nommée *Patterned Media*, consiste à modifier la forme des grains magnétisés (les rendre cylindriques, par exemple) afin d'optimiser l'espace de stockage. Une autre méthode, déjà au point, mais jugée trop coûteuse, consisterait à chauffer le plateau à l'aide d'un laser pour dilater la matière et ainsi gagner en précision lors de l'écriture. ■

Lecture des données: de la polarisation à l'information



Enregistrées sur le disque dur sous forme magnétique nord-sud ou sud-nord, les données doivent ensuite être lues et traduites en données binaires, 0 ou 1. Cette conversion n'est pas effectuée par équivalence nord-sud = 0 et sud-nord = 1. Ce n'est pas l'orientation d'un de ces

petits aimants qui portent l'information, mais la différence de polarité entre un aimant et le suivant. Ce procédé permet une lecture plus rapide et plus fiable à vitesse de rotation élevée. En mode longitudinal, quand deux ensembles de même polarité se succèdent, leurs bords mitoyens s'attirent (parce qu'un

pôle nord côtoie un pôle sud), ce qui est interprété comme un 0 (ou un 1, selon le choix du fabricant). Quand deux ensembles de polarité opposée se succèdent, leurs bords mitoyens se repoussent (dans une configuration nord/nord ou sud/sud), ce qui est interprété comme un 1 (ou un 0). Dans

le cas d'un plateau magnétisé selon la technologie perpendiculaire, il n'y a pas de phénomène d'opposition ou d'attraction de pôles. Mais le principe de traduction reste le même: la succession de deux pôles identiques est interprétée comme un 1 (ou un 0), celle de deux pôles opposés comme un 0.

■ DISQUE DUR

Dopé à la mémoire Flash

Avec l'intégration de mémoire Flash ultraperformante, en plus de leurs plateaux magnétiques classiques, les disques durs hybrides accélèrent le démarrage de l'ordinateur tout en économisant l'énergie.

Comparé aux composants électroniques d'un ordinateur (processeur, mémoire vive, circuit graphique, etc.), le disque dur fait figure d'escargot. Normal: celui-ci est constitué de plusieurs éléments électromécaniques (moteur, bras de lecture et d'écriture, plateaux rotatifs) qui sont beaucoup plus lents par nature que les puces. De fait, sa vitesse en écriture et en lecture de données est beaucoup plus faible que celle de la mémoire vive (la Ram).

Pour accélérer ces opérations, les disques durs intègrent depuis longtemps une petite quantité de mémoire vive (quelques mégaoctets) qui fait office de tampon en stockant les données les plus récemment utilisées. Mais, comme la mémoire vive de l'ordinateur, cette mémoire cache est volatile: en l'absence d'alimentation électrique, elle perd tout son contenu! Elle ne peut donc pas servir de système de stockage permanent.

Réduire au maximum la mécanique

Il existe toutefois un type de mémoire électronique non volatile: la mémoire Flash (celle qui est utilisée dans les clés mémoire USB, les baladeurs, les cartes mémoire, etc.). Son prix diminuant avec le temps, plusieurs constructeurs spécialisés (Samsung et Seagate notamment) ont eu l'idée d'en intégrer dans les disques durs en complément de la mémoire cache. On commence à trouver sur le marché les premiers modèles de disques durs hybrides, ou HDD (Hybrid Hard Disk),

équipés de 128 Mo à 32 Go de cette mémoire Flash ultraperformante (dont le débit théorique est de l'ordre de 100 Mo/s et le temps d'accès moyen de 0,2 ms).

Premier intérêt des HDD, ils autorisent un démarrage nettement plus rapide de l'ordinateur. En effet, comme une partie de leur mémoire Flash stocke les fichiers nécessaires au lancement du système d'exploitation du PC (ainsi qu'à sa sortie du mode veille), quelques secondes suffisent pour les transférer en mémoire vive. Elle peut également héberger les logiciels les plus couramment utilisés afin de les rendre immédiatement et constamment accessibles, y compris quand le disque magnétique est au repos.

Deuxième intérêt, non négligeable: les HDD sont sensiblement moins gourmands en énergie que les disques durs classiques, leur partie mécanique étant beaucoup moins sollicitée. Et cela non seulement en lecture, le système d'exploitation et certains logiciels étant directement chargés à partir de la mémoire Flash, mais aussi en écriture.

Le principe est simple: les données à écrire sont d'abord stockées dans une zone dédiée de la mémoire Flash où elles s'accumulent progressivement jusqu'à saturation. Elles sont alors vidées pour être copiées sur le disque magnétique. Ce transfert différé et en masse réduit les opérations mécaniques. Ainsi, dans le cadre d'une utilisation classique de l'ordinateur, les plateaux du disque magnétique d'un HDD seraient au repos

99 % du temps, d'où une réduction de la consommation électrique de 70 à 90 % par rapport à un modèle classique. De quoi prolonger, en théorie, l'autonomie des ordinateurs portables (jusqu'à 12 % selon les constructeurs), le premier marché visé par les fabricants de HDD.

Troisième intérêt enfin, les disques durs hybrides bénéficient d'une durée de vie accrue, avec un MTBF (Mean Time Between Failures, temps moyen entre pannes) jusqu'à cinq fois supérieur à celui des disques classiques. Cette longévité vient d'une moindre utilisation de leurs pièces mécaniques: usure limitée, température de fonctionnement réduite et meilleure résistance aux chocs (cette résistance étant maximale lorsque le disque magnétique est en veille).

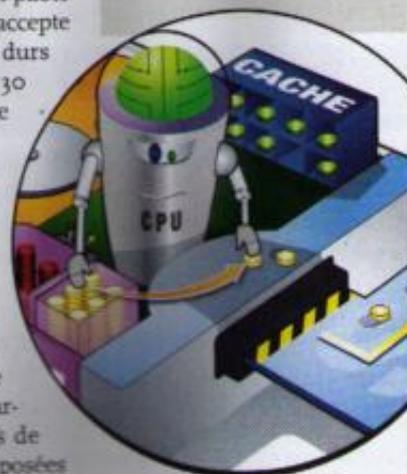
Vista accepte les disques HDD

Côté logiciel, le HDD requiert un pilote exploitant le nouveau jeu de commandes ATA (intégré à la norme ATA 8) mis au point par les constructeurs et Microsoft. Il n'en existe ni dans Windows XP, ni dans Linux, ni dans Mac OS X. Il faut donc installer un pilote particulier. En revanche, Vista, avec son pilote dénommé ReadyDrive, accepte nativement les disques durs HDD, qui réduisent de 30 à 50 % son temps de démarrage.

Malgré ses qualités, le HDD risque de n'être qu'un produit de transition. Car avec la baisse continue du prix de la mémoire flash (1 gigaoctet coûte aujourd'hui moins de 20 euros!), l'avenir appartient plutôt aux unités de stockage de masse composées de puces électroniques, sans aucune pièce mécanique. ■

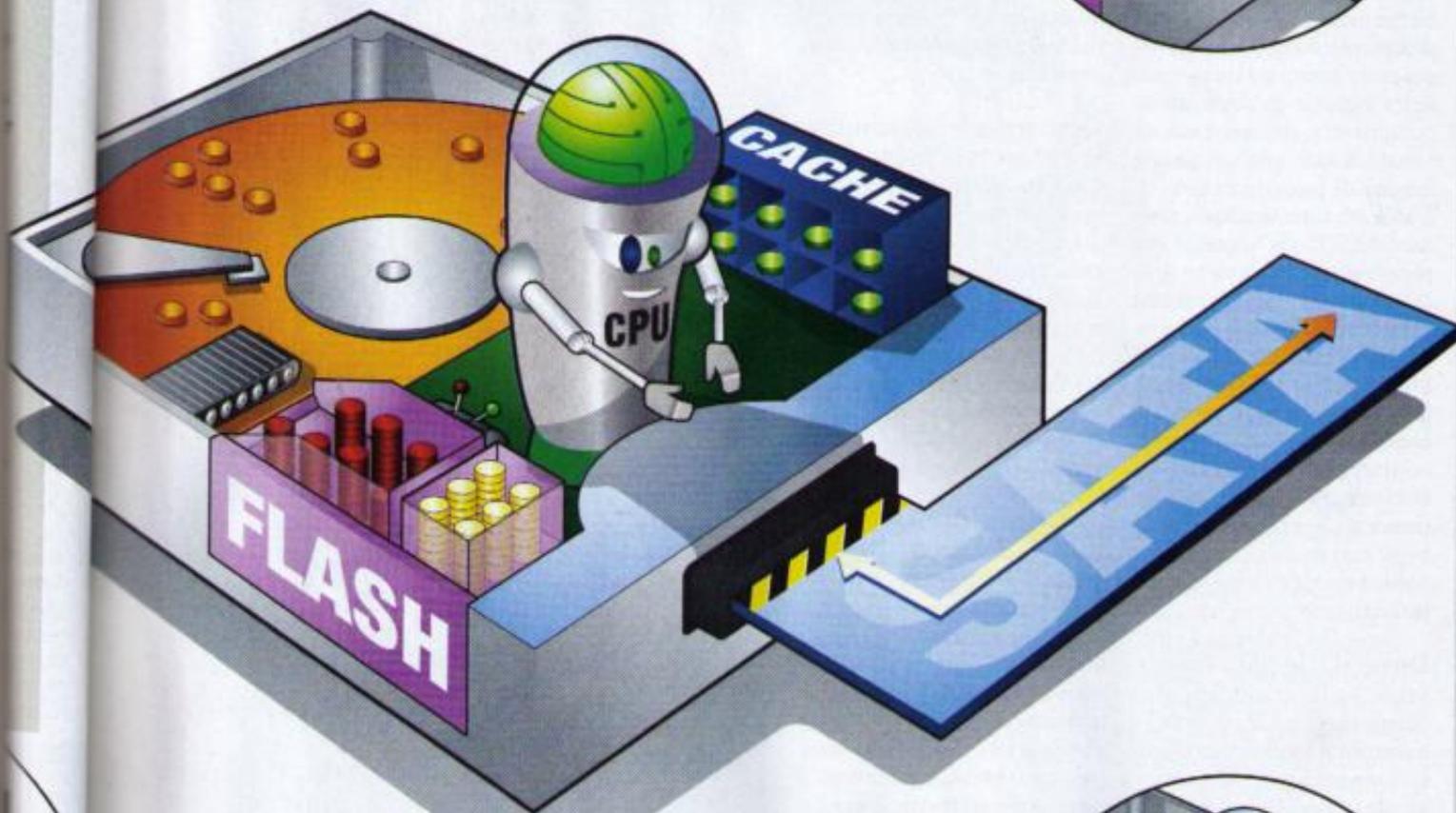
1 Le PC démarre à partir de la mémoire Flash

Lors de la mise en route du PC, le système d'exploitation est chargé directement depuis une partie réservée de la mémoire flash du disque dur qui, par nature, est immédiatement accessible dès la mise sous tension. Et cela sans même attendre que le disque magnétique ait achevé sa phase d'initialisation (lancement du moteur d'entraînement, stabilisation de la vitesse de rotation des plateaux, positionnement des têtes de lecture, etc.). Les logiciels sont ensuite chargés de façon traditionnelle à partir du disque magnétique.



2 Les données sont lues à partir du disque magnétique ou de la mémoire Flash

Lorsqu'il reçoit une commande de lecture en provenance du système d'exploitation, le processeur du disque dur vérifie si les informations demandées sont présentes dans la mémoire Flash. Si tel n'est pas le cas, le processeur commande aux têtes de lecture de se positionner sur le disque magnétique afin de récupérer les données requises. Comme avec un disque dur traditionnel, les informations sont envoyées dans la mémoire cache intégrée (volatile, car de type mémoire vive) afin qu'elles soient disponibles plus rapidement lors d'une demande de lecture ultérieure. C'est à partir de cette mémoire cache que les données sont transmises au système d'exploitation.



3 Les données sont écrites sur le disque magnétique après stockage temporaire en mémoire Flash

Lors d'une opération d'écriture, le processeur du disque dur oriente directement les informations provenant du système d'exploitation vers la mémoire Flash. C'est dans cette mémoire non volatile qu'elles seront stockées temporairement afin d'éviter de mobiliser le disque magnétique à chaque commande d'écriture. Ce n'est que lorsque cette zone de la mémoire Flash est pleine que son contenu est recopié sur le disque. Elle peut alors recevoir de nouvelles données en écriture, tandis que le disque repasse en mode veille.



■ CARTE D'EXTENSION

DirectX: le donneur d'ordres

Simplifiant le travail des développeurs, l'interface de programmation DirectX permet aussi à Windows de mieux exploiter les possibilités d'accélération matérielle offertes par une multitude de composants.

L'arrivée sur le marché des cartes d'extension chargées d'accélérer de façon matérielle certains calculs (audio, vidéo, 3D, etc.) a posé un problème majeur aux développeurs de logiciels. Il leur fallait en effet proposer autant de versions de leurs logiciels qu'il existait de composants, chacun d'eux ne reconnaissant que son propre langage de programmation.

L'idée est alors venue de standardiser la façon d'accéder aux périphériques et aux cartes d'accélération en employant une sorte d'esperanto de la programmation: l'interface DirectX, de Microsoft, était née. Grâce à elle, les logiciels correspondent non plus directement avec le matériel mais avec l'interface DirectX, qui intercepte toutes les commandes. C'est elle qui communique ensuite avec chaque composant matériel à travers son pilote DirectX.

Direct3D, le plus connu

Selon les fonctions prises en charge par le pilote, DirectX lui transmettra les commandes que le composant matériel est capable de traiter. Dans les autres cas, l'interface fera traiter les commandes par le processeur central de la machine par le truchement d'une émulation.

Concrètement, l'interface de programmation DirectX est constituée de plusieurs sous-systèmes logiciels, adaptés à chaque catégorie de matériel. Le plus connu de ces composants est probablement Direct3D, chargé de gérer les puces d'accélération 3D, mais il en existe bien d'autres, comme Direct-

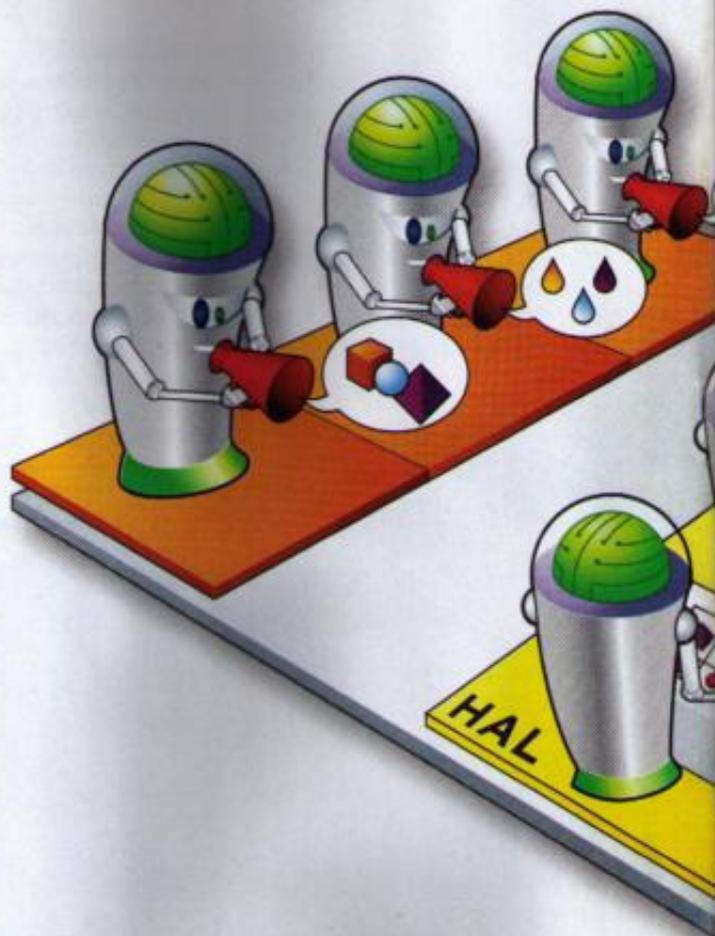
Sound, qui prend en charge les composants audio, DirectInput, qui s'occupe des périphériques d'entrée de type clavier, souris et joystick, ou encore DirectX Media, qui gère le rendu des fichiers multimédias (vidéos, streaming, etc.).

Décharger au maximum le processeur central

Chez les éditeurs, les programmeurs n'ont plus qu'à écrire une seule version de leurs logiciels, capable dès lors de fonctionner sous Windows avec n'importe quel matériel, présent ou à venir. Seule obligation pour les fabricants: mettre à disposition pour leur matériel un pilote compatible DirectX.

Outre la simplification des développements, l'interface de programmation DirectX poursuit un autre objectif: décharger au maximum le processeur central de l'ordinateur afin de profiter au mieux des possibilités d'accélération matérielles offertes par les autres composants présents dans la machine. Cela explique les évolutions successives de DirectX, permettant à une même version de Windows de tirer parti au fur et à mesure de leur disponibilité des nouvelles fonctions offertes par le matériel.

Avec Vista, DirectX évolue encore. La version 10 qui lui est dédiée propose une refonte complète du module Direct3D, capable à présent de prendre en charge de façon matérielle la création des objets en 3D, ainsi que la modélisation des déformations dues à des contraintes physiques... et bien plus encore! ■



Le pilote transmet l'instruction au circuit spécialisé

Une fois que l'instruction DirectX a été traitée par la HAL, elle est transmise au pilote du périphérique concerné. Ce pilote est chargé de traduire des commandes issues du langage de haut niveau utilisé par DirectX en commandes compréhensibles par le circuit spécialisé. A noter que les pilotes graphiques, nécessairement compatibles DirectX pour fonctionner avec Windows, le sont en général aussi avec son concurrent OpenGL, utilisé dans certains jeux comme Quake 4 ou Doom 3.

La HAL intercepte toutes les commandes du logiciel

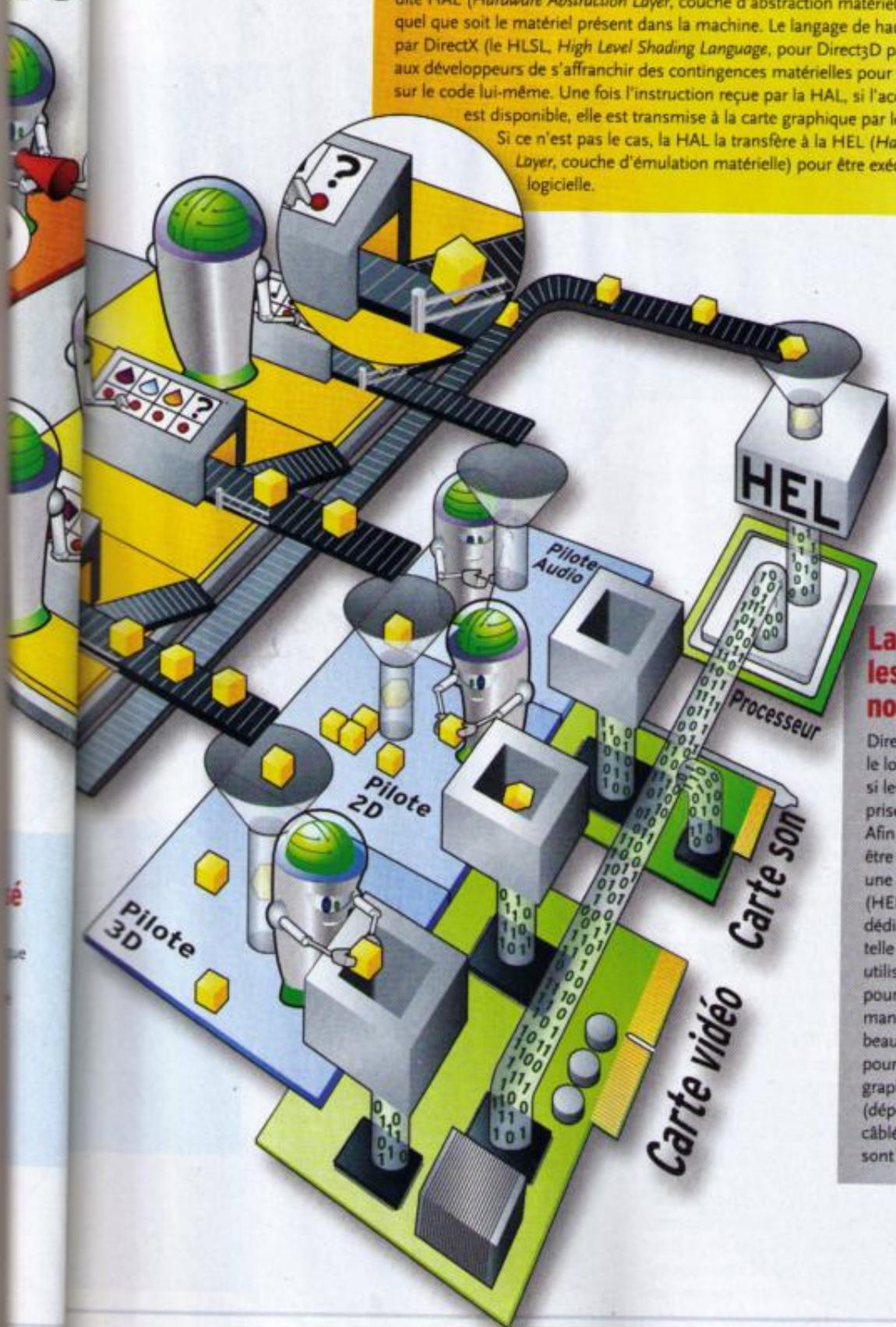
Les logiciels utilisent les bibliothèques de fonctions standardisées de DirectX pour transmettre les commandes au matériel. Pour cela, DirectX utilise une couche dite HAL (*Hardware Abstraction Layer*, couche d'abstraction matérielle), identique quel que soit le matériel présent dans la machine. Le langage de haut niveau utilisé par DirectX (le HLSL, *High Level Shading Language*, pour DirectX3D par exemple) permet aux développeurs de s'affranchir des contingences matérielles pour se concentrer sur le code lui-même. Une fois l'instruction reçue par la HAL, si l'accélération matérielle est disponible, elle est transmise à la carte graphique par le biais du pilote.

Si ce n'est pas le cas, la HAL la transfère à la HEL (*Hardware Emulation Layer*, couche d'émulation matérielle) pour être exécutée de façon logicielle.

La HEL émule les instructions non prises en charge

DirectX utilisant un langage universel, le logiciel qui l'exploite ne sait pas si les commandes qu'il émet sont prises en charges par le matériel. Afin qu'elles puissent quand même être toutes exécutées, DirectX prévoit une couche d'émulation matérielle (HEL), qui se substitue au matériel dédié s'il ne prend pas en charge telle ou telle fonction. Cette couche utilise le processeur central du PC pour lui faire exécuter cette fonction manquante. Mais le traitement prend beaucoup plus de temps. C'est pour cette raison que les circuits graphiques intégrés aux portables (dépourvus de certaines fonctions câblées des circuits haut de gamme) sont souvent très lents.

es

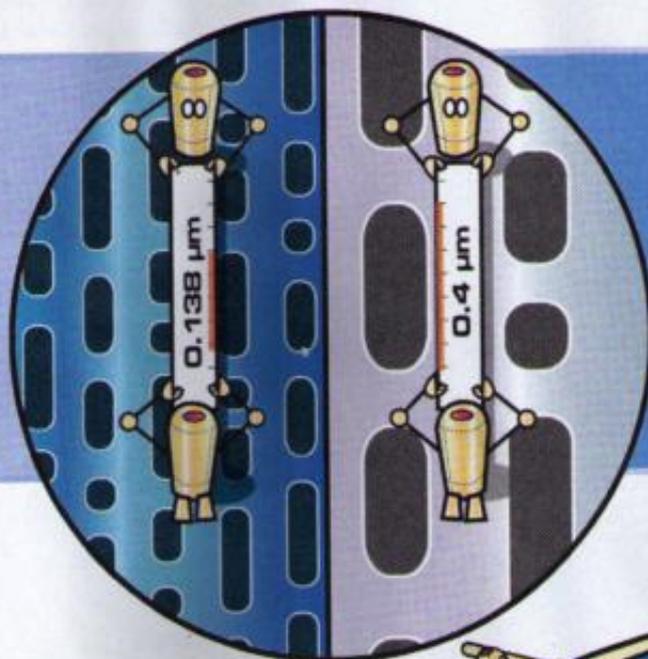


■ BLU-RAY ET HD-DVD

Les prouesses du laser bleu

Des pits deux fois moins longs

Comme sur les DVD, un dénivelé dans la surface entre le bord et le fond d'un trou (à la montée comme à la descente) correspond à un 1. Chacun de ses trous est appelé pit, et leur taille conditionne la densité d'informations. Alors que leur longueur atteint 0,40 micromètre (millionième de mètre) sur un DVD, ils ne mesurent que 0,138 micromètre de long, soit 2,6 fois moins, sur un disque Blu-ray! Ces pits sont disposés sur un sillon (on parle aussi de piste) qui se déroule de l'intérieur vers l'extérieur, dans le sens des aiguilles d'une montre. Sur un DVD, la largeur du sillon est de 0,74 micromètre, contre 0,32 micromètre sur un disque Blu-ray.



La troisième génération de supports optiques vient d'arriver: après le CD et le DVD, place au Blu-ray et au HD-DVD. Développés surtout pour la vidéo haute définition, ils stockent jusqu'à 50 Go de données.

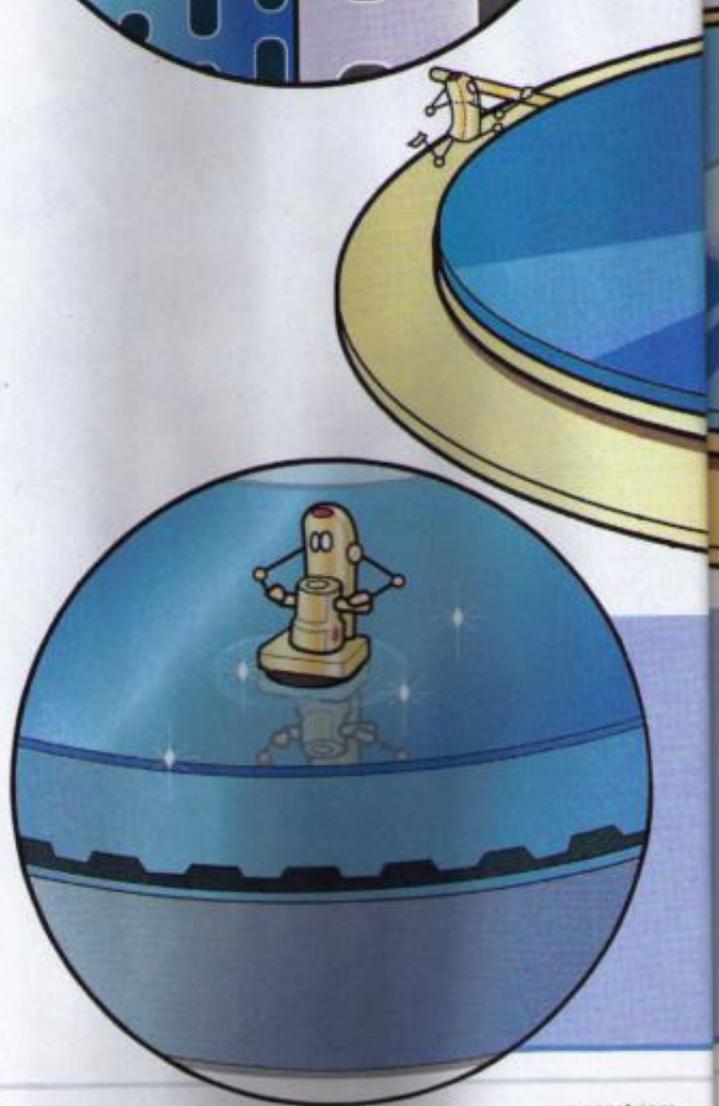
Petite révolution dans le monde de la galette, les successeurs du DVD, le HD-DVD et le Blu-ray, apportent un gain en capacité équivalent à celui qui sépare le CD du DVD. De 4,5 Go, on passe brutalement à 15 Go pour les HD-DVD et à 25 Go pour les Blu-ray (souvent appelés BD).

Ces deux formats concurrents donnent lieu depuis leur apparition à une guerre sans merci entre leurs supporters respectifs. Rappelons que le HD-DVD est soutenu entre autres par Nec et Toshiba et que le Blu-ray compte Sony parmi ses plus ardents défenseurs, lequel a intégré un tel lecteur dans sa console de jeu PS3. Heureusement pour le consommateur, les lecteurs-graveurs compatibles sont aujourd'hui la règle. Entre les deux familles, la lutte fait rage sur deux terrains: éditer le plus possible de films de cinéma afin d'obtenir un standard de fait et augmenter la capacité en explorant deux voies

d'améliorations techniques. L'une consiste à enregistrer les données sur plusieurs couches inscrites dans l'épaisseur du disque. L'autre, plus difficile, pousse dans ses retranchements la densité d'information sur chaque couche.

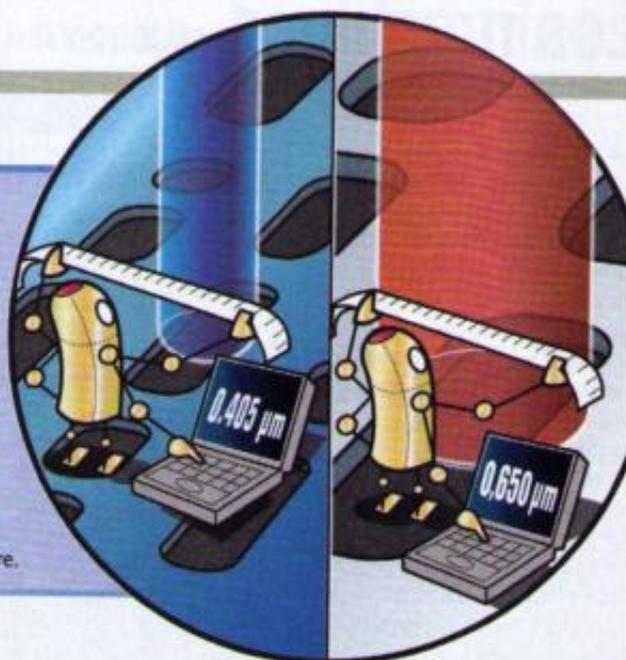
En attente des versions réinscriptibles

Dans cette course très disputée, les annonces se succèdent, mais la disponibilité des lecteurs, des graveurs et des supports eux-mêmes peine à suivre. Les premiers disques doubles couches stockent 30 Go en HD-DVD et 50 Go en Blu-ray. On les trouve déjà en version Rom, c'est-à-dire portant un film de cinéma. Mais les versions réinscriptibles se font attendre. Pour contrer les BD à 50 Go, la famille HD-DVD a rétorqué par l'annonce d'un triple couche à 17 Go par couche, soit 51 Go au total. Qu'importe, TDK exhibe un prototype Blu-ray à quatre couches qui engrangera 100 Go, avant



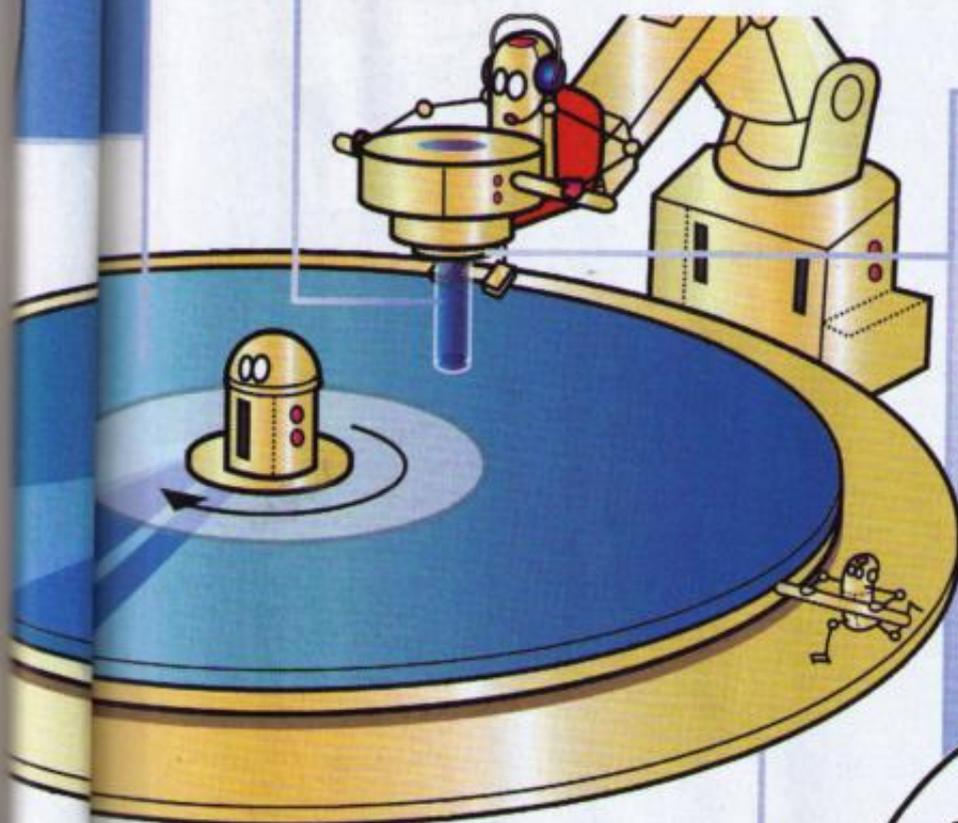
Un rayon plus étroit

Le diamètre du rayon lumineux qui éclaire les pits lors de l'écriture et de la lecture doit être adapté à leur largeur (afin de ne pas déborder sur les parties mitoyennes du sillon). Ce diamètre est lié à la couleur du laser, ou plus exactement à sa longueur d'onde. Celle-ci est comprise, pour la lumière visible, entre 0,380 micromètre pour le violet et 0,780 micromètre pour le rouge. Alors que la technologie DVD utilise un laser rouge, d'une longueur d'onde de 0,650 micromètre, celle du Blu-ray emploie un laser bleu-violet, plus fin que le laser rouge, d'une longueur d'onde de 0,405 micromètre.



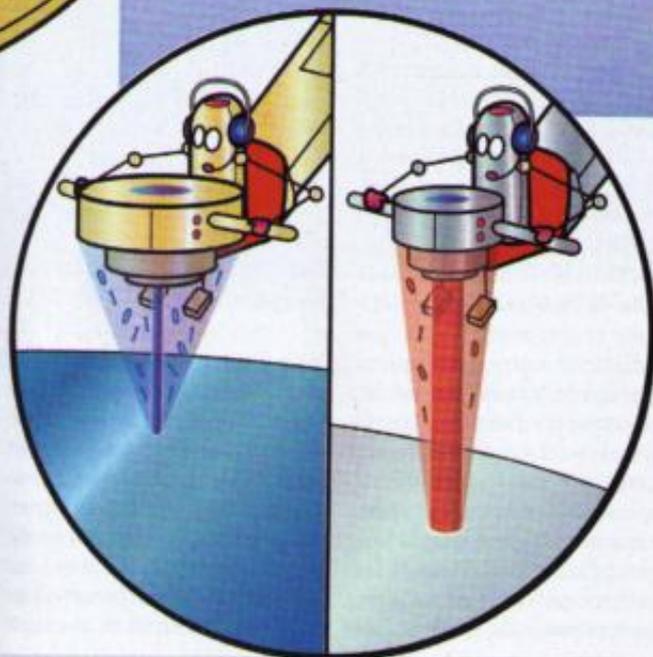
Une lentille qui capte plus de lumière

Le système optique d'un lecteur Blu-ray, comme celui d'un DVD, ne se contente pas de concentrer un rayon laser sur la couche des données : il doit aussi capter la lumière renvoyée par la couche réfléchissante. Cette lumière forme un cône dont le sommet correspond au point d'impact du faisceau laser et dont la base est délimitée par la circonférence de la lentille du système optique. Comme les pits d'un disque Blu-ray sont plus petits et plus rapprochés que sur un DVD, ils renvoient aussi moins de lumière : « l'œil » du lecteur Blu-ray doit donc être plus sensible que celui des DVD. La solution adoptée : augmenter la sensibilité des lecteurs Blu-ray en utilisant une lentille plus large, capable de recevoir plus de lumière.



Des données mieux protégées

A l'instar du DVD, un disque Blu-ray est constitué de plusieurs couches. La première, composée de plastique (du polycarbonate), assure la rigidité du disque (son épaisseur est de 1,1 mm). La couche métallique réfléchissante, placée entre le plastique et la couche de données, est chargée de renvoyer vers le bloc optique la lumière qui transperce la couche de données. Enfin, toutes ces strates sont recouvertes d'une couche de polycarbonate transparent, bien plus fine sur un disque Blu-ray (0,1 mm) que sur un DVD (0,6 mm). Les données sont ainsi plus proches du rayon laser. C'est pour cela qu'un vernis très résistant, conçu pour les disques Blu-ray, protège l'ensemble.



— — — d'évoquer un six couches, chacune poussée à 33,3 Go, ce qui amène à 199,8 Go! Au passage, il faut noter le changement discret d'unité de mesure: ces gigaoctets ne sont pas ceux utilisés pour indiquer la taille d'un fichier, par exemple dans Windows. Ainsi, un Blu-ray annoncé à 25 Go ne contient en réalité que 23,3 Go au sens informatique. Le kilo-octet originel, qui est bien celui des informaticiens, contient en effet 1024 octets et le gigaoctet 1024 x 1024 x 1024 octets. Mais les constructeurs de disques utilisent désormais un gigaoctet commercial et simplifié, valant exactement un milliard d'octets. A vos calculatrices pour vérifier que 23,3 Go informatiques représentent effectivement 25 milliards d'octets...

Transfert de données quatre fois plus rapide

Quelle que soit l'unité de mesure, ces chiffres ont tout de même de quoi impressionner, surtout si on les compare à ceux des DVD classiques. Pourtant, le principe fondamental n'a pas varié depuis le CD: creuser de minuscules trous (les *pits*) par pressage ou par gravure en suivant un sillon (le *groove*). Une zone plane (entre deux trous ou au fond d'un trou) correspond à une succession de 0 et un dénivelé à la valeur 1. La lecture s'effectue en éclairant ces minuscules trous à l'aide d'un laser puis en détectant le rayon réfléchi, qui disparaît momentanément de la vue du capteur quand il éclaire un dénivelé.

Lors du passage du CD et ses 650 Mo au DVD et ses 4,5 Go, les fabricants ont diminué la taille des trous (largeur, longueur et profondeur) ainsi que la distance entre deux spires du sillon de manière à densifier l'information. Conséquence: le rayon laser doit dans ces conditions être mieux focalisé afin de repérer des dénivelés plus petits, ce qui impose de réduire la longueur d'onde de la lumière. De l'infrarouge du CD, on est ainsi passé au rouge du DVD.

Des films enfermés à triple tour

Pas moins de trois systèmes ont été prévus pour protéger le contenu des BD-Rom, les disques Blu-ray préenregistrés, contre les copies illégales.

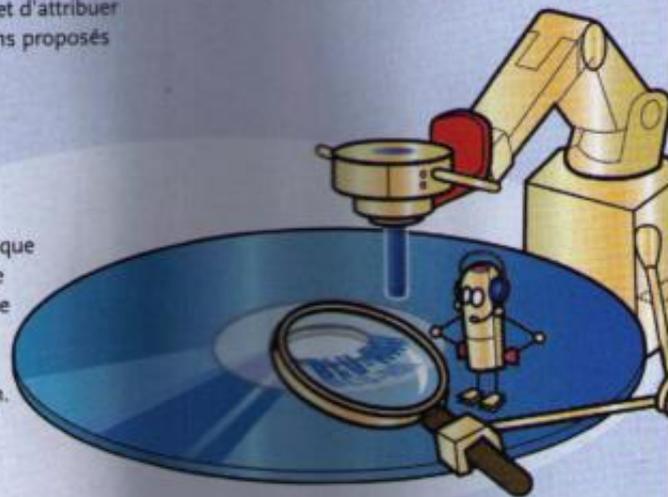
L'AACS

(Advanced Access Content System)
Commun au Blu-ray et au HD-DVD, il s'agit d'un système de gestion des droits numériques associés aux œuvres. Il permettra de définir le nombre de copies autorisées et d'attribuer des droits de visionnage aux films proposés

en téléchargement. Ces droits seront associés notamment au numéro de série du lecteur Blu-ray. Conséquence: il faudra peut-être payer pour regarder un film emprunté à un ami!

Le Rom-Mark

Il s'agit d'une image holographique imprimée à la surface du disque (celle exposée au laser). Invisible pour l'utilisateur, elle devra être détectée par le lecteur pour qu'il puisse lire le BD-Rom.



Le BD+

Les données seront cryptées à l'aide d'une clé en 128 bits, et un double jeu de clés de décodage sera fourni: il y en aura un sur le disque et un dans le lecteur. Si un pirate parvient à casser le système de protection de ce dernier, le fabricant pourra mettre à jour ses matériels et changer de type de protection.

Ce double système permettra de limiter la lecture d'un disque à une marque ou à un modèle de lecteur. Devant un tel arsenal de mesures restrictives, HP a demandé, et obtenu, de la Blu-ray Disc Association (BDA), l'organisation chargée de définir les spécifications du Blu-ray, l'intégration du *Mandatory Managed Copy* (MMC) dans ce format: le MMC permet de copier un film, depuis un BD-Rom, sur son ordinateur, pour le mettre à la disposition des utilisateurs d'un réseau familial.

Pour faire mieux, les fabricants de HD-DVD et de Blu-ray ont utilisé les mêmes recettes avec des trous encore plus petits et un laser bleu-violet, donc de longueur plus courte que le rouge. Autre conséquence de cette augmentation de densité: les transferts de données sont quatre fois plus rapides, avec un

débit qui passe de 1,15 Mo/s pour les DVD (à la vitesse de 1X) à 4,5 Mo/s sur le Blu-ray (toujours en 1X). Pour aller plus loin encore, il reste la solution des couches profondes: le rayon laser est focalisé différemment pour pointer plus bas dans l'épaisseur du disque. Les trous peu-

vent être encore un peu diminués, ce qui a permis les 33,3 Go par couche chez TDK. Mais on ne pourra sans doute guère faire mieux de ce côté, et la suite de l'histoire devra emprunter d'autres chemins. Inphase par sur le HVD à l'enregistrement holographique et annonce pe moins de 300 Go! ■

■ INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Les probabilités au service des logiciels

Les formules mathématiques d'un pasteur anglais du XVIII^e siècle sont utilisées pour traquer le spam, ranger des photos, détourner des images, améliorer les jeux ou guider le chien de Windows.

Sans Thomas Bayes, l'anti-spam d'Outlook, les fonctions de détourage de Photo Suite ainsi que le compagnon d'Office n'auraient peut-être jamais vu le jour », s'amuse Chris Bishop, directeur adjoint du centre de recherches de Microsoft à Cambridge.

Pour comprendre cette plaisanterie, il faut savoir que Thomas Bayes est anglais, pasteur de l'église presbytérienne, et qu'il est né... il y a plus de 300 ans! Si Thomas Bayes a joué - à titre posthume - un rôle aussi important dans le développement de centaines de programmes, c'est pour un théorème mathématique.

Développeurs et fabricants s'emparent de la théorie de Bayes

Jusqu'à Bayes, les probabilités étaient essentiellement perçues sous l'angle de la fréquence: il pleut en moyenne dix jours durant le mois de novembre, la probabilité qu'il pleuve le 1^{er} novembre 2007 est donc de 10 sur 30, soit 33 %.

La théorie de Bayes peut être réduite à un principe: pour prévoir le futur, il faut étudier les données du passé et prendre en compte beaucoup d'éléments,



> Thomas Bayes est un mathématicien anglais du XVIII^e siècle à l'origine d'une loi importante des probabilités.

Son théorème s'écrit ainsi: $P(A/B) = \frac{P(B/A) P(A)}{P(B)}$

même incertains. Pour savoir s'il va pleuvoir le 1^{er} novembre, les disciples bayésiens vont s'intéresser aussi aux prévisions météo: celles-ci annoncent de la pluie, mais elles ne sont fiables que dans 75 % des cas. Les formules mathématiques de Bayes permettent alors d'estimer qu'il y

a en fait 59,6 % de chances qu'il pleuve le 1^{er} novembre si le bulletin météo indique de la pluie, sachant en plus qu'il pleut en moyenne dix jours dans le mois. Ignorée des informaticiens, la théorie de Bayes a aujourd'hui les faveurs des développeurs de logiciels et des fabricants de

matériels. Chez Microsoft, par exemple, plusieurs laboratoires ont pour mission d'intégrer le théorème du pasteur anglais aux programmes de la firme, tandis que Google embauche des chercheurs spécialisés en théorème bayésien. Rien d'étonnant à cela, la plu-

part des logiciels reposent désormais sur des statistiques: quelle est la probabilité qu'un mail soit un spam, qu'un client d'Amazon achète le livre B s'il a lu l'ouvrage A, qu'une page Web corresponde aux mots-clés entrés par un utilisateur dans un moteur de recherche? On n'attend plus seulement de l'ordinateur qu'il fasse office de supercalculatrice,

on veut aussi qu'il montre un semblant d'intelligence.

Schéma d'apprentissage

Pour cela, il n'y a que deux solutions. La première consiste à lui faire engranger des quantités colossales d'informations, qu'il exploitera mécaniquement: il n'apprendra alors rien de lui-même et pourra uniquement gérer les situations qu'on lui

aura appris à analyser. La seconde consiste à doter l'ordinateur d'un schéma d'apprentissage qui lui permette, chaque fois qu'on lui soumet une question, de l'analyser à partir de ses expériences antérieures afin d'aboutir à un résultat, qui sera lui-même mémorisé.

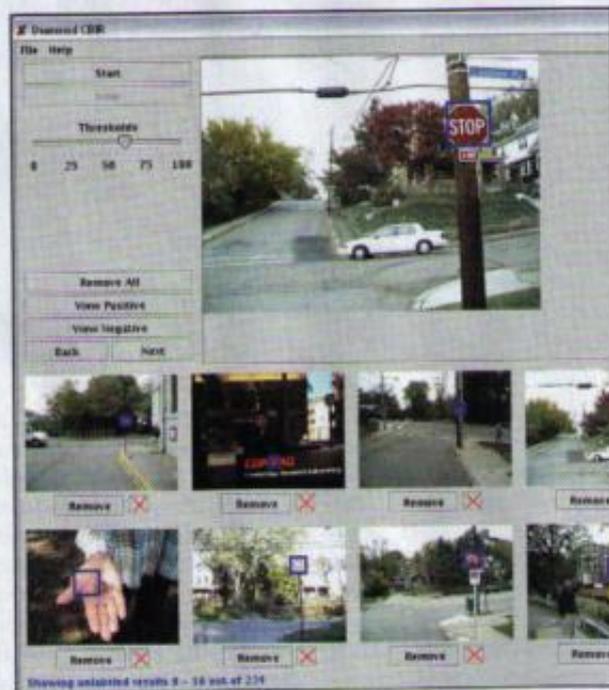
Le système bayésien, qui s'inscrit dans ce second cadre, analyse les données selon des critè-

res statistiques. L'intérêt est son efficacité croissante: plus les informations passées sont nombreuses, plus la réponse est fiable. Et si on modifie les données de départ, le résultat est ajusté automatiquement. Inconvénient majeur: ce modèle est incapable de traiter les situations exceptionnelles (un accident, par exemple) et peut s'enfermer dans ses erreurs... ■

Pour retrouver des photos

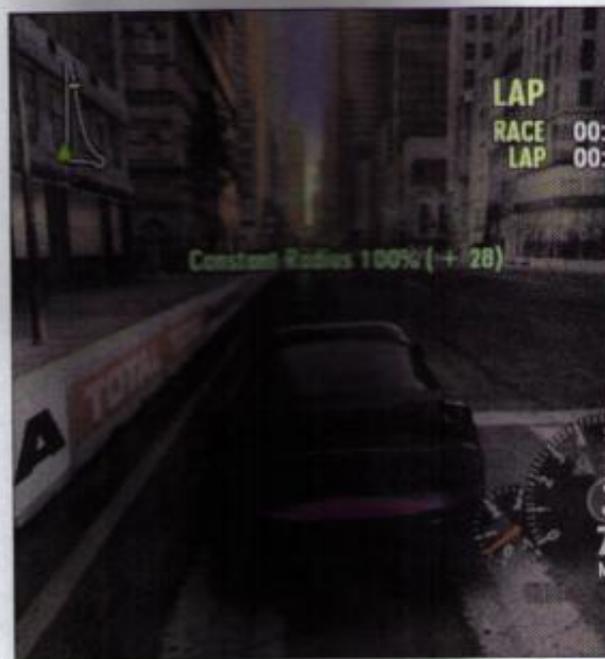
Retrouver une photo parmi celles entassées sur son disque dur est souvent mission impossible. Même les plus minutieux, qui les classent par dates et lieux, tout en leur associant des mots-clés, s'y perdent. Pourquoi? Parce qu'on se souvient de la composition de l'image (« J'ai photographié ma fille portant sa nouvelle jupe rouge devant la piscine », par exemple), mais pas du moment ni de l'endroit. L'université de Carnegie Mellon et Intel ont développé un algorithme de reconnaissance d'images, Diamond, qui permettra peut-être de retrouver rapidement ses clichés. Le principe: l'utilisateur décrit au logiciel la photo qu'il cherche en indiquant ce qu'elle contient. Dans notre exemple, il lui suffit de sélectionner n'importe quel cliché de sa fille, puis une photo de la robe rouge et enfin d'indiquer que l'arrière-plan présente une dominante bleue pour que le programme affiche toutes les vues correspondantes. Pour résoudre ce problème, Diamond fait appel à des algorithmes bayésiens, qui déterminent la probabilité qu'à chaque image de la collection de contenir les éléments spécifiés.

>L'algorithme Diamond a été intégré au programme SnapFind, développé par l'université de Carnegie Mellon. On peut le télécharger à l'adresse <http://diamond.cs.cmu.edu>.



Pour pimenter les jeux

Depuis plus d'une dizaine d'années, les publicités vantant des jeux vidéo promettent de « jouer des dizaines d'heures contre l'ordinateur grâce à un moteur d'intelligence artificielle révolutionnaire ». Malheureusement, de l'intelligence promise, les joueurs n'en voient souvent que le côté artificiel. Ils observent surtout que l'ordinateur répète sans cesse les mêmes erreurs, sans évoluer ni s'adapter. C'est pour cela que les chercheurs du laboratoire de Microsoft situé à Cambridge, ont essayé d'appliquer les statistiques bayésiennes au jeu vidéo. L'idée: étudier le comportement du joueur humain au fil des parties pour trouver la meilleure tactique. Dans un jeu de course, le programme étudie ainsi la réaction du joueur lorsqu'il se trouve en survirage. Freine-t-il? Accélère-t-il? En fonction de quels paramètres? Quand il doit contrôler un avatar, le programme établit des probabilités: sachant que la voiture est en survirage et que la vitesse est de 100 km/h, quelle est la probabilité qu'un joueur « humain » freine et celle qu'il accélère? Ainsi, au fil des courses, le système reproduit de plus en plus fidèlement une conduite humaine. L'algorithme, déjà utilisé pour le jeu de course Forza sorti sur Xbox, la console de Microsoft, devrait être intégré à de nombreux jeux à venir.



Pour ordonner le Web

Quotidiennement, des millions de nouvelles pages apparaissent sur le Web. S'il est aussi difficile d'y trouver une information précise, c'est avant tout parce que les moteurs de recherche actuels considèrent les mots comme de simples assemblages de lettres, sans analyser ce qu'ils représentent. Ainsi, si on tape "pensions pour chats" dans Google, on n'obtiendra pas les sites se présentant comme pensions pour animaux, ni ceux ne mentionnant aucun chat sur leur page d'accueil. Tout simplement parce que le moteur n'établit pas de lien entre les termes chats et animaux. La plupart des moteurs obéissent

encore aujourd'hui à une logique booléenne, qui leur permet juste de filtrer les sites contenant ou non certains mots. Passer à un système bayésien permettrait aux moteurs de recherche de définir des champs lexicaux sur la base de régularités statistiques (tel mot souvent rencontré avec tel autre, par exemple), puis de les affiner progressivement, pour finalement être capables de déduire, seuls, que chats est un sous-ensemble de animaux. IBM et Google y travaillent. Google utilise déjà des règles bayésiennes pour supprimer automatiquement les sites qui trichent pour arriver en tête de liste dans les résultats.

Faites-vous du bayésien sans le savoir ?

Antispam

Comment distinguer une publicité non sollicitée d'un mail professionnel important ? Et surtout, comment éliminer le premier sans risquer de supprimer le second ? La plupart des filtres antispams

actuels (comme celui de la dernière version d'Outlook) ont recours pour cela aux statistiques bayésiennes. Elles permettent de déterminer la probabilité, aussi appelée score, que chaque élément

d'un mail (un mot, un groupe de mots, une image, etc.) fasse partie d'un spam, l'utilisateur corrigeant le logiciel à chaque mauvaise estimation (en cliquant par exemple sur « Ceci est du spam »

ou « Ceci n'est pas du spam »). Ensuite, dès qu'un nouveau courrier est reçu, il est décortiqué en éléments dont les scores cumulés déterminent la probabilité qu'il s'agisse d'un spam.

Retouche d'images

Détourer un objet peut demander des heures, surtout s'il s'agit d'une forme complexe (une fleur comprenant de nombreux pétales, par exemple) sur fond multicolore. Les outils automatiques des programmes de retouche d'images – comme la baguette magique – se révèlent souvent inopérants, car ils autorisent uniquement le détourage d'objets aux couleurs uniformes. En intégrant des algorithmes

bayésiens dans son programme Photo Suite, Microsoft propose un nouvel outil, qui permet, en quelques secondes, de supprimer un objet à l'intérieur d'une photo. L'algorithme étudie chaque point et détermine sa probabilité de faire partie d'un ensemble de points plutôt que d'un autre. Il décompose ainsi l'image en plusieurs ensembles de points et peut alors effacer l'un d'eux.



Qu'aimeriez-vous faire ?

comment insérer un paragraphe ?

Options

Rechercher

Compagnons d'Office

Quelle que soit la forme sous laquelle il apparaît – trombone, chien, etc. – l'assistant d'Office n'est guère apprécié de la plupart des utilisateurs, qui lui reprochent ses apparitions inopportunes. Pourtant, lorsqu'on lui pose une question, on constate qu'il se révèle plutôt efficace. Rien d'étonnant : il extrait les réponses de sa base de données selon un algorithme bayésien, qui détermine la probabilité que chacune réponde correctement à la question posée.

■ IMPRIMANTE

Le laser couleur contre-atta

L'impression laser couleur se met à concurrencer le jet d'encre grâce à des modèles monopasses, plus économiques, plus rapides et plus fiables que les systèmes à carrousel utilisés autrefois.

Depuis la sortie de la mythique BJ-10 Canon, la technologie jet d'encre s'est largement imposée dans le monde des imprimantes, pour le noir et blanc comme pour la couleur, reléguant aux oubliettes les antiques modèles à aiguilles. Mais si le jet d'encre s'est continuellement amélioré, il n'a pas réussi à occulter pour autant son principal concurrent, le laser. Cette technologie, qui a connu son heure de gloire au bureau, pour le noir et blanc et les tirages en grande série, revient sur le devant de la scène grâce à des modèles économique de nature à satisfaire le grand public.

Il y a encore peu d'années les rares imprimantes laser couleur valaient une petite fortune, leur maintenance était affaire de spécialistes et les bourrages papier particulièrement fréquents. Sans parler de leur délai de préchauffage décourageant et de leur débit ridicule (nombre de pages imprimées par minute, ou p/min). Cette époque est révolue. Le prix d'achat a chuté, avec un ticket d'entrée sous les 300 euros, et le coût à la page couleur est de l'ordre de 0,10 euro, contre 0,20 à 0,30 euro pour les modèles à jet d'encre.

Les nouvelles laser couleur sont rapides (5 à 10 p/min en couleur, contre 3 p/min pour les jet d'encre), surtout lorsqu'il est question de produire un document en de multiples exemplaires. Elles renvoient aussi au rang de mauvais souvenir les incessants – et coûteux – changements de cartouches, que les possesseurs d'imprimantes jet d'encre ne connaissent que trop bien. Quant à leur résolution,

1 Envoi de la page à imprimer

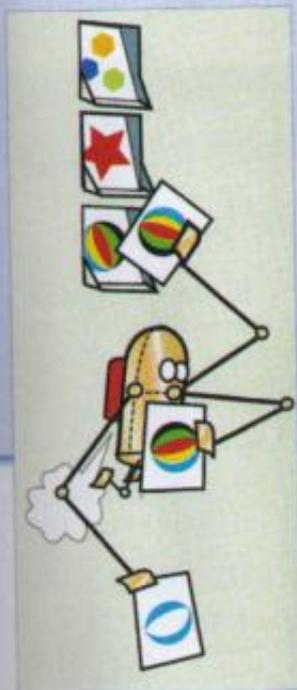
Au lancement de l'impression sur l'ordinateur, le pilote (le logiciel qui contrôle l'imprimante) analyse le document et traduit sa description complète dans un langage spécifique (PCL ou PostScript, par exemple) : position des points pour les graphiques et des caractères pour les textes, sélection de la palette de couleurs et références des couleurs utilisées, nombre de pages à imprimer, format des feuilles et qualité du papier, etc. Ces informations, organisées en une suite de commandes, sont envoyées de l'ordinateur à l'imprimante, où elles sont stockées dans une mémoire tampon. Un processeur interprète et exécute alors ces commandes, organisant l'activité des lasers, moteurs et autres organes de l'imprimante.

elle atteint couramment les 600 points par pouce en mode couleur, ce qui suffit largement pour la plupart des travaux, y compris la photo, bien que, dans ce domaine les jet d'encre gardent une longueur d'avance.

Deux technologies différentes

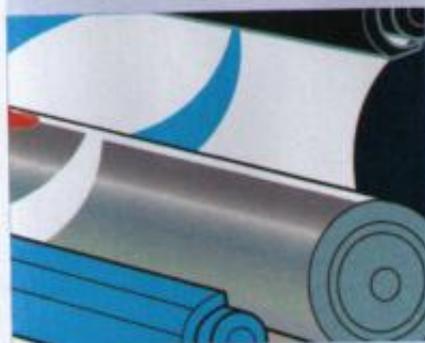
Sous le capot, les deux technologies diffèrent nettement. L'imprimante jet d'encre dispose d'une tête qui fait la navette – de gauche à droite et inversement – sur toute la largeur de la page et éjecte en passant, au travers de ses milliers de buses, de microscopiques gouttelettes d'encre qui viennent se déposer sur la page.

Liquide, l'encre est généralement contenue dans quatre cartouches séparées : cyan, magenta, jaune et noir. En juxtaposant des points minuscules de ces quatre couleurs de base, on obtient toutes les nuances de l'arc-en-ciel (c'est le principe de la quadrichromie utilisée en imprimerie). Pour obtenir des nuances plus subtiles (notamment au niveau des



2 Préparation du tambour

Le rouleau, dénommé tambour photosensible, est soumis à un courant afin que toute sa surface devienne porteuse d'une charge électrique. La particularité de cette surface photosensible ? Exposée au faisceau d'un laser, la zone éclairée, et elle seule, change de polarité. A ce stade

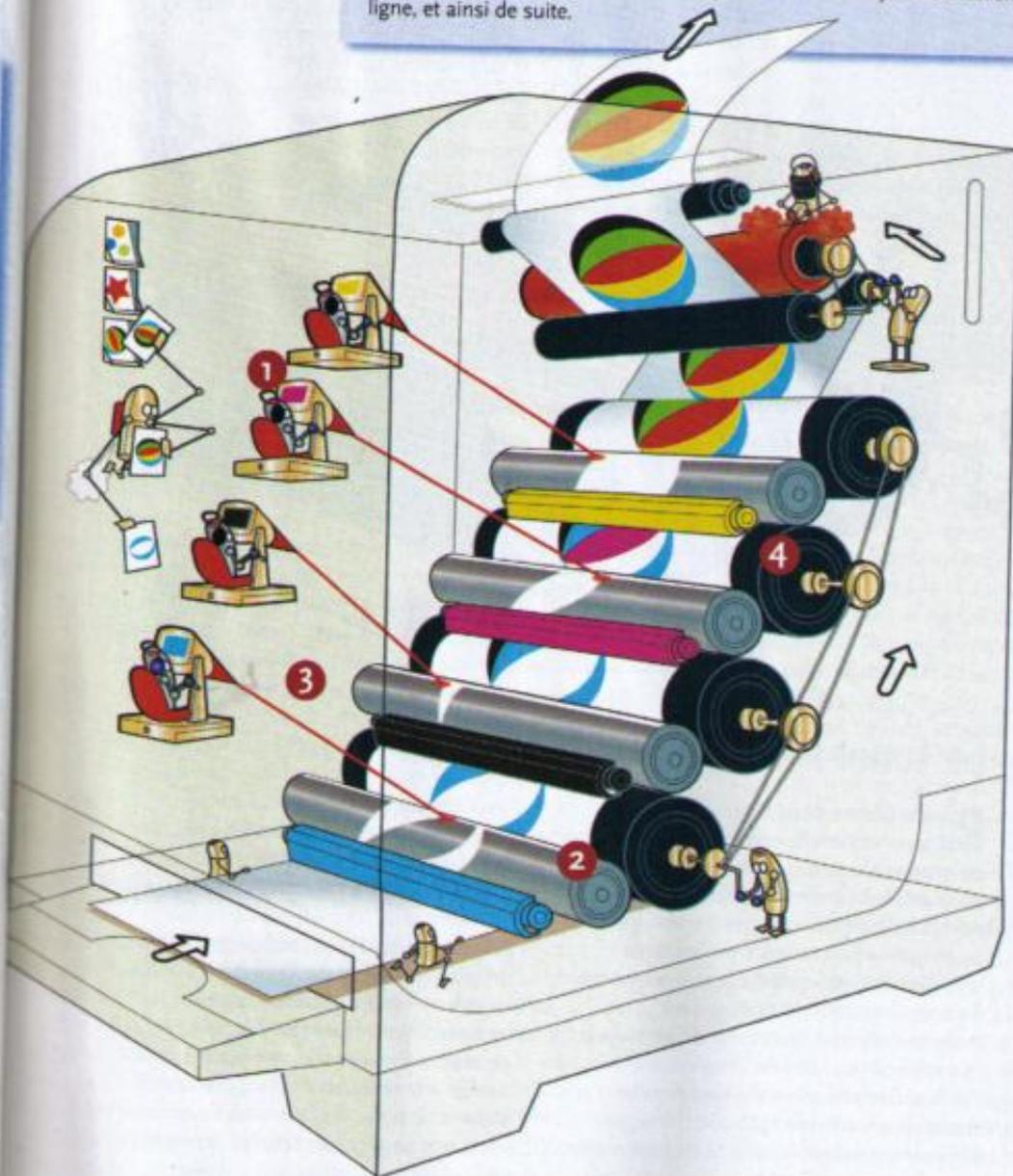


de l'impression, le procédé dépend du constructeur : le laser dessine directement l'image à reproduire sur le tambour ou bien son négatif, comme en photographie.

ttaque

3 Pilotage des lasers

L'imprimante transmet les commandes qu'elle a reçues de l'ordinateur aux quatre unités d'impression (cyan, noir, magenta et jaune). L'unité en charge du cyan, par exemple, délimite au pinceau laser les zones du tambour photosensible qui recevront du toner de couleur cyan. Comme le laser n'est pas mobile, alors qu'il doit balayer le tambour photosensible ligne par ligne, son faisceau est dévié par un jeu de lentilles et un miroir rotatif à plusieurs faces dont l'axe est motorisé. Dès qu'une ligne est achevée, le tambour tourne d'un cran et le faisceau balaye une deuxième ligne, et ainsi de suite.

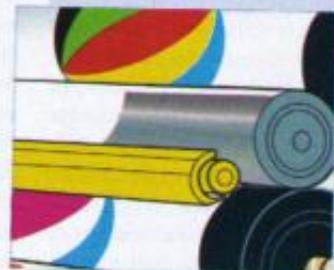


4 Dépôt du toner sur le papier

Un rouleau recouvert de toner est disposé contre le tambour photosensible. Le toner, lui aussi chargé en électricité, est attiré par les zones du tambour dessinées au laser (directement ou en négatif), qui présentent la polarité inverse. Le toner est ensuite transféré sur le papier par contact, un dispositif électrostatique placé sous la feuille permettant de libérer le toner du tambour photosensible. La feuille est ensuite transportée vers l'unité d'impression en noir puis vers la magenta et la jaune pour y subir les mêmes opérations.

5 Fixation du toner sur le papier

En dernier lieu, une unité de fusion et de pression (communément appelée four), composée de deux rouleaux dont l'un a été porté à haute température, fait fondre le toner et le presse contre la fibre du papier afin qu'il soit définitivement fixé sur la feuille. Quand la page est imprimée, elle sort de l'imprimante... encore toute chaude!



Les machines AUJOURD'HUI

teintes chair dans les tirages de photos), certains modèles possèdent des cartouches d'encre supplémentaires. Les laser couleur, de leur côté, fonctionnent par transfert d'image, un peu à la manière dont on imprime un dessin sur un tee-shirt avec un fer à repasser. L'image est d'abord formée sur un rouleau photosensible – le tambour – à l'aide d'un rayon laser. Là où la lumière touche le tambour, la polarité de sa surface est localement inversée. L'encre, appelée toner, se présente sous la forme d'une poudre constituée de particules microscopiques de matière plastique, de résine et de pigment magnétique. Cette poudre, chargée électriquement, adhère aux zones du tambour dont la polarité a été inversée selon un principe physique proche de l'aimantation. A la fin de cette opération, l'encre forme l'image sur toute la surface du tambour. Mais il ne s'agit que d'une version monochrome. La même opération devra donc être répétée quatre fois, ce qui complique singulièrement la manœuvre.

Une ou plusieurs passes

Les constructeurs ont fait preuve de beaucoup d'imagination pour raccourcir le mouvement de la feuille, grâce à des astuces mécaniques. Dans certaines imprimantes, la feuille vierge passe successivement sur quatre tambours différents, correspondants au cyan, au noir, au magenta et au jaune. On parle de système monopasse. Les imprimantes multipasses, moins coûteuses mais plus lentes, ne comportent qu'un seul système d'encre, chargé de distribuer les quatre couleurs en passes successives. Le risque est grand alors que la feuille, empruntant quatre fois le même chemin tortueux, finisse par se bloquer en route... C'est le fameux bourrage, fléau bien connu des utilisateurs d'imprimantes laser! Pour réduire ce risque, l'ensemble de la méca-

Des diodes pour éviter le miroir

Dans certaines imprimantes laser (de marque Oki), la tête laser, le miroir rotatif et le système optique ont disparu, remplacés par une rampe de milliers de diodes électroluminescentes (Led). Disposées parallèlement au tambour photosensible, elles illuminent une ligne entière à la fois, chacune générant (ou pas) un point. Comme il n'y a plus de balayage d'une ligne, la vitesse d'impression y gagne. La mécanique est simplifiée du fait de la suppression des pièces mobiles, et la fiabilité améliorée. En effet, dans une imprimante laser classique, le miroir doit recevoir un traitement de surface d'une précision de l'ordre

du dixième de micromètre (0,0001 mm) et finit par s'abîmer. Le coût de revient de la barrette de Led est en outre inférieur à celui du dispositif laser. Cette simplification peut néanmoins avoir des incidences sur la qualité: tandis que le laser balaie le tambour de manière parfaitement continue, il y a des espaces entre les Led, même nombreuses et rapprochées, qui peuvent entraîner la formation de lignes de points sur le document imprimé.



Le toner: une poudre high-tech

Ressemblant à de la poussière d'encre, le toner est en réalité constitué de particules de matière plastique, de résine et de pigment magnétique soigneusement calibrées, dont la taille ne dépasse pas 8 micromètres en moyenne (soit moins d'un centième de millimètre). Comme il est seul responsable de la matérialisation de l'image sur le document, c'est finalement de sa formule que dépend la qualité de l'impression. Les fabricants de toner utilisent depuis quelques années une méthode chimique, par polymérisation, qui donne de bien meilleurs

résultats que l'ancienne production par pulvérisation: les particules ainsi obtenues bénéficient d'une géométrie plus circulaire et uniforme. Cette caractéristique est décisive au moment où les particules sont fondues et fixées sur la fibre du papier. Konica Minolta, qui produit chaque année plusieurs milliers de tonnes de toner, utilise ainsi, pour sa toute dernière formule, des particules de résines d'environ 0,1 micromètre qu'il agrège entre elles en ajoutant des additifs et des colorants. Les particules de toner ainsi obtenues ne dépassent pas 3 micromètres.

que, sous forme d'un carrousel à quatre facettes, une par couleur, suit la feuille et limite la longueur du trajet qu'elle doit parcourir. Une imprimante monopasse réduit également les risques de mélange de couleurs inhérents au système multipasse. En outre, chaque tambour photo-

sensible est désormais intégré dans la cartouche de toner correspondante. Ce qui permet de garantir les performances du tambour, dont le revêtement au sélénium ou au silicium subit une usure mécanique. Revers de la médaille: changer une cartouche coûte plus cher. Une évolution qui ne semble pas

déplaire aux constructeurs, qui, comme pour les jet d'encre, reportent sur les consommables la marge qu'ils abandonnent sur la vente de leurs imprimantes. Ainsi, le coût du remplacement d'un jeu complet de cartouches peut facilement atteindre, voire excéder, le prix d'une imprimante neuve. ■

■ **BATTERIES**

Au cœur des **Lithium-ion**

Leur principe fondamental n'a pas bougé depuis deux siècles, mais les innovations récentes ont fait perdre beaucoup de poids aux batteries lithium-ion, qui se glissent dans les téléphones ou les ordinateurs portables.

Pour fonctionner lorsqu'ils se trouvent loin d'une prise de courant, nos appareils électroniques mobiles ont besoin d'une source d'énergie électrique. C'est le rôle de la batterie, également connue sous le nom d'accumulateur, qui fait office de réserve. A la différence d'une pile, une batterie peut se recharger lorsqu'elle est vide, mais le principe des deux dispositifs est similaire.

Depuis sa découverte par Alessandro Volta en 1800, il n'a guère changé. Il est basé sur des réactions chimiques qui se produisent entre deux pièces métalliques (les électrodes), plongées dans une solution réactive (l'électrolyte) : la différence de potentiel entre les deux électrodes crée le courant qui alimente l'appareil.

Déclin des batteries nickel-cadmium

Jusqu'à la fin des années 80, la plupart des batteries pour appareils électroniques étaient composées d'une électrode en nickel et d'une autre en cadmium baignant dans une solution à base de potasse. Ce type de batterie, appelée nickel-cadmium (Ni-Cd), offrait un rapport énergie stockée/encombrement de 50 Wh/kg. Cette unité de mesure signifie qu'une batterie de 1 kg pourrait fournir 50 watts durant une heure.

Mais lorsque les appareils nomades sont devenus plus gourmands, ces performances se sont révélées insuffisantes : pour leur offrir une autonomie satisfaisante, les batteries Ni-Cd auraient été plus grosses et plus

lourdes que la plupart de ces nouveaux appareils!

Deux nouvelles technologies ont fait leur apparition : le lithium-ion (Li-ion) et le nickel-métal hydrure (Ni-Mh). Les batteries Ni-Mh atteignent 75 Wh/kg et sont bien plus économiques à produire que les Li-ion. Mais ces dernières font beaucoup mieux : aujourd'hui leur puissance se situe aux environs de 250 Wh/kg, soit cinq fois plus que le Ni-Cd. Il n'est donc pas surprenant qu'elles aient envahi le marché.

Lithium-ion polymère : charge rapide

Elles sont toutefois concurrencées par une nouvelle variante : les lithium-ion polymère (Li-Po). L'électrolyte n'est plus une solution liquide, mais un gel plastique. Les risques de fuite étant considérablement réduits, ces batteries n'ont pas besoin d'un boîtier aussi rigide et résistant que pour les lithium-ion.

Extrêmement légères, elles peuvent prendre diverses formes, même très plates, offrant ainsi une plus grande liberté dans la conception et le design des produits. Elles se rechargent en quelques dizaines de minutes et peuvent être utilisées plusieurs heures. Encore chères à produire, elles demeurent pour l'instant réservées aux petits appareils électroniques, comme les mobiles ou les baladeurs.

En plus de son excellent rapport énergie stockée/encombrement, la technologie lithium-ion se caractérise par la régularité de son débit. La capacité de la batterie, exprimée en milliampères/heure (mA/h), est constante

Quand la batterie prend feu!

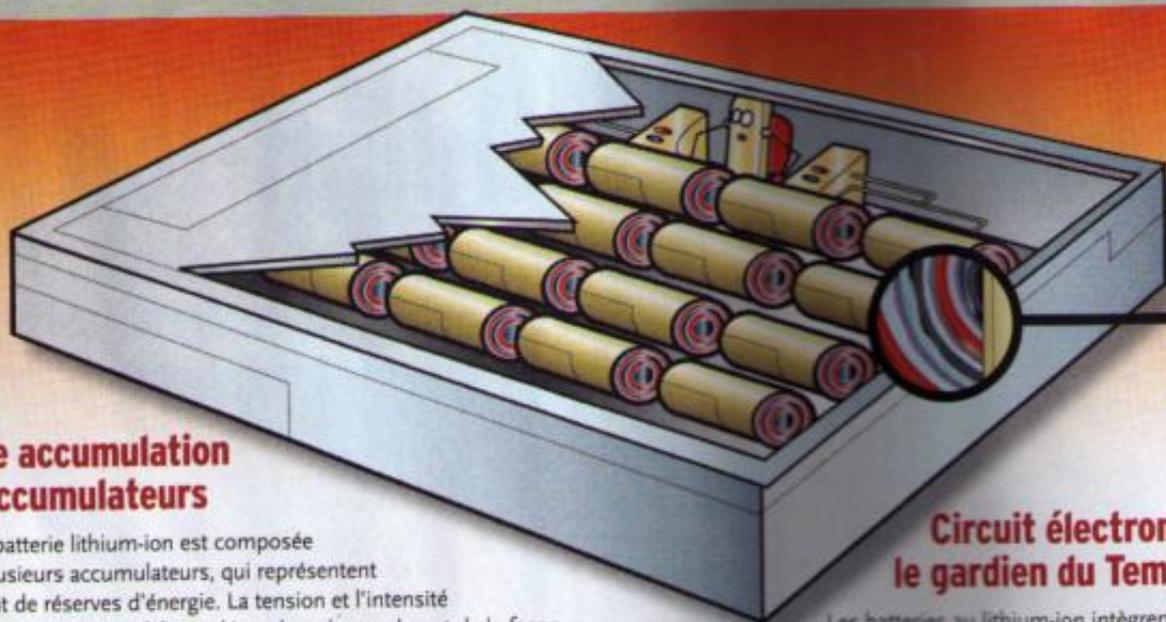


Tout a commencé presque discrètement, en mai 2005, quand Apple a rappelé 225 000 batteries d'iBook et de PowerBook. En janvier 2006, Nikon a fait de même pour certains de ses reflex numériques. Mais, depuis, l'affaire a pris des proportions inquiétantes. Dell a reconnu six cas de batteries ayant pris feu, Apple, neuf, Lenovo, un. Officiellement, nous ne sommes pas en face d'une catastrophe planétaire. Mais le danger de blessures ou d'incendie est bien réel, et les constructeurs ont dû récupérer les appareils pour lesquels un risque était avéré. Les chiffres ne sont pas minces : Dell a rapatrié 4,1 millions de batteries en 2006, Apple, 1,8 million, Lenovo, 526 000, Toshiba, 340 000. Panasonic et HP ont dû eux aussi en passer par cette douloureuse opération de récupération. D'où vient le problème? Toutes les batteries incriminées par Apple, Dell, Lenovo et Toshiba provenaient de chez Sony, l'un des principaux fournisseurs mondiaux. Selon ce dernier, les constructeurs de portables auraient installé des dispositifs d'alimentation imposant des vitesses de charge trop élevées. Néanmoins, Sony est en train de payer la note, ce qui devrait lui coûter plus de 200 millions d'euros! De leur côté, les constructeurs se gardent d'accabler Sony, fournisseur qui leur est indispensable, d'où un silence radio sur ces affaires. Certains spécialistes avouent tout de même que les batteries lithium-ion sont délicates à fabriquer et à intégrer dans les appareils mobiles. Vivement la prochaine génération... Mais pour l'instant, seuls deux concurrents crédibles sont sur les rangs : la batterie lithium-phosphate, moins performante, ce qui ennuie les constructeurs, et la pile à combustible, qui reste à fiabiliser.

pendant une longue durée, avant de s'effondrer brutalement (cette caractéristique se traduit par l'arrêt brutal de l'appareil lorsque la batterie est presque vide). Cette constance est assurée non seulement par les composés chimiques des électrodes et de l'électrolyte, mais

également par les circuits électroniques, le processeur et les capteurs embarqués dans chaque batterie.

Les capteurs analysent en permanence l'état de charge des éléments auxquels ils sont reliés et envoient ces informations au processeur. Celui-



Une accumulation d'accumulateurs

Une batterie lithium-ion est composée de plusieurs accumulateurs, qui représentent autant de réserves d'énergie. La tension et l'intensité que la batterie peut délivrer dépendent du nombre et de la façon dont ces accumulateurs sont connectés.

- La tension maximum d'un accumulateur est toujours de 3,6 V. Pour obtenir une tension supérieure, il faut connecter plusieurs accumulateurs en série. Ainsi, il faut quatre accumulateurs pour obtenir 14,4 V.

- L'intensité fournie par un accumulateur est comprise entre 500 et 1500 mA. Pour obtenir une intensité supérieure, on connecte plusieurs accumulateurs en parallèle. Ainsi, pour fabriquer une batterie de portable d'une tension de 14,4 V et d'une intensité de 4000 mA, il faut connecter, en série, quatre ensembles de quatre accumulateurs de 1000 mA reliés en parallèle.

Circuit électronique : le gardien du Temple

Les batteries au lithium-ion intègrent toujours un circuit électronique, au rôle important.

Il contrôle en permanence les conditions dans lesquelles s'effectue la réaction chimique qui se produit lors de la charge et de la décharge de la batterie. Pour que cette réaction s'effectue dans des conditions idéales, la tension doit être maintenue entre 3 et 3,6 V. En deçà de ces valeurs, l'équilibre chimique de la réaction est perturbé : les constituants s'échauffent et la surface des électrodes se détériore. Le circuit déclare alors la batterie hors d'usage, même si celle-ci est toujours opérationnelle.

— — — ci, en fonction de son microprogramme, peut provoquer l'arrêt de l'appareil. En effet, si la batterie se décharge au-delà d'un certain seuil (une tension précise), elle s'abîme et devient moins performante. La qualité de la batterie se juge donc non seulement sur ses spécifications chimiques, mais aussi sur son microprogramme embarqué.

Les défauts des lithium-ion

Très répandue dans la « high-tech portable » depuis plus d'une dizaine d'années, la batterie lithium-ion souffre encore de quelques défauts : sa durée de vie se limite à 1000 cycles de charge/décharge (selon les fabricants), sa conservation, quand elle n'est pas utilisée, demande des conditions particulières (un endroit sec et frais), et surtout elle peut se révéler dangereuse. C'est plus qu'un risque théorique. Des affaires récentes ont

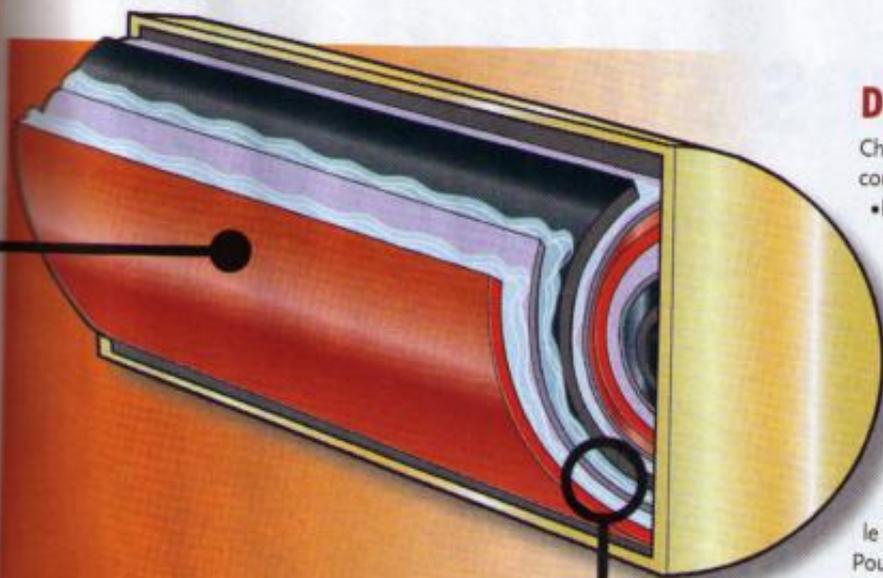
défrayé la chronique : des batteries ont réellement pris feu et des millions de portables ont dû être rapatriés (voir encadré page précédente *Quand la batterie prend feu !*).

Malgré ses défauts, la technologie lithium-ion est encore étudiée et régulièrement améliorée. Toshiba a présenté un prototype étonnant. Soixante fois plus rapide à charger que les batteries actuellement disponibles sur le marché, ce modèle pourrait atteindre 80 % de sa capacité en seulement une minute et ne perdrait que 1 % de son potentiel après 1000 cycles de charge/décharge. Mais on est toujours en attente des applications.

La génération suivante est encore dans les limbes. Le prétendant à long terme est la pile à combustible, qui se recharge par l'insertion d'une cartouche, à la manière d'un stylo-plume (voir encadré ci-contre *Bientôt les piles à combustibles ?*). ■

Bientôt la pile à combustible ?

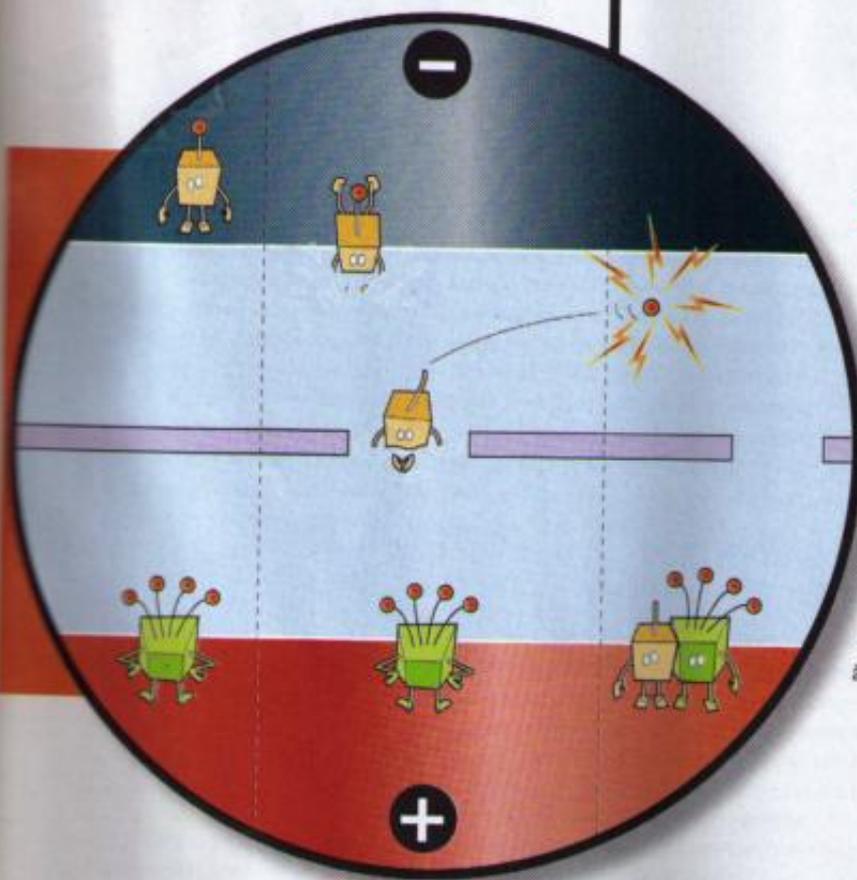
Son principe a été imaginé en 1839, mais la pile à combustible a de bonnes chances de faire partie de notre futur. Il s'agit d'une pile qu'on recharge en remplissant son réservoir. Facile ? Non, car le combustible en question est l'hydrogène. Associé à l'oxygène, il produit de l'eau et de l'électricité. L'énergie dégagée est énorme. Son gros inconvénient, qui a empêché jusqu'ici toute autre utilisation, est la nature même de l'hydrogène. Insuffisamment présent dans l'atmosphère, il doit être embarqué dans un réservoir. Mais cet élément ultraléger (c'est l'atome le moins lourd) reste gazeux jusqu'à des températures extrêmement basses. Pour le stocker dans un réservoir, il faut y maintenir une pression très élevée. L'idéal est de le liquéfier, mais alors le froid doit être intense (-253 °C). Comment alors utiliser l'hydrogène dans une pile destinée à un téléphone mobile ou un ordinateur portable ? En faisant appel à un réservoir plus malin. La voie semblant aujourd'hui la plus prometteuse est chimique : elle consiste à utiliser le méthanol (un alcool à un seul atome de carbone), qui représente en quelque sorte un réservoir moléculaire d'hydrogène. Par oxydation au contact de l'oxygène de l'air, ce méthanol se transforme en gaz carbonique et en eau. Ces piles dites DMFC (*Direct-Methanol Fuel Cell*) existent déjà à l'état de prototype. Mais leur capacité est faible et les applications commerciales sont encore en devenir.



Deux électrodes en tranches

Chaque accumulateur est constitué de quatre composants.

- **L'anode** : c'est l'électrode négative. Elle est faite d'un composé de carbone.
- **La cathode** : c'est l'électrode positive. Elle est souvent composée de cobalt.
- **L'électrolyte** : il s'agit d'une solution chimique à base de sel de lithium, dans laquelle sont plongées l'anode et la cathode. Elle autorise le déplacement des ions (les charges positives) entre les deux électrodes.
- **Une feuille d'isolant** : plongée dans l'électrolyte, elle sépare anode et cathode tout en autorisant le passage des ions à travers de minuscules trous. Pour optimiser l'encombrement de la batterie, ces quatre composants sont enroulés sur eux-mêmes. Le tout est inséré dans un tube aux extrémités desquelles sont sertis les contacts.



La centrale électrique

Lorsque la batterie se décharge, le lithium présent sur l'anode (-) s'oxyde. Les atomes de lithium perdent un électron et traversent l'électrolyte sous forme d'ions (Li^+), pour rejoindre la cathode (+). Chaque fois qu'un ion passe de l'anode à la cathode, un électron sort de l'accumulateur : c'est ainsi que la batterie produit du courant électrique. Arrivés à destination, les ions lithium s'insèrent dans les atomes de cobalt de la cathode (sans s'y lier). Lorsque la batterie reçoit du courant électrique, pendant la phase de charge, c'est le phénomène inverse qui se produit : la cathode perd des électrons, qui transitent sous forme d'ions jusqu'à l'anode. L'anode est ainsi à nouveau prête à libérer des électrons.

MEMOIRE FLASH

Des données stockées en p

Contrairement à la mémoire vive, la Flash conserve son contenu en l'absence de courant électrique, comme les disques durs. Une qualité due à la nature des transistors qui la composent.

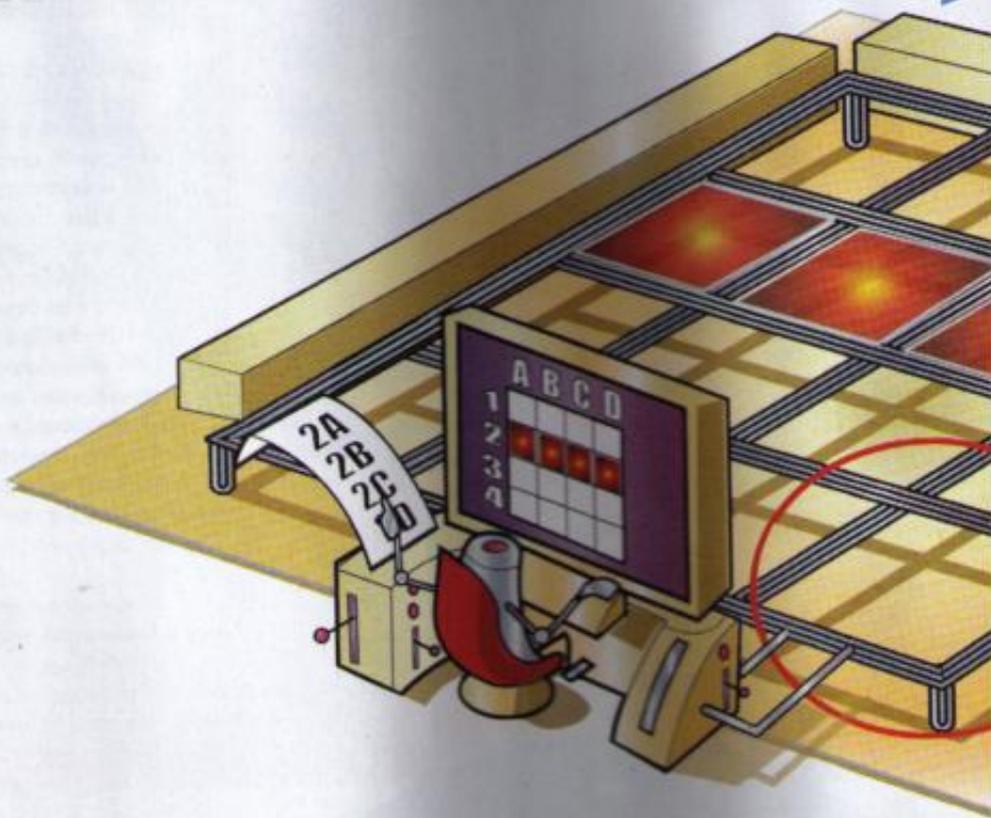
Appareils photo numériques, clés USB, baladeurs MP3, cartes mères de PC, téléphones mobiles, mais également decodeurs satellite, tableaux de bord de voitures et d'avions, appareils d'imagerie médicale..., tous ont un point commun: ils utilisent de la Flash. Un type de mémoire qui se distingue par son encombrement réduit et, surtout, par son aptitude à conserver des données pendant plusieurs dizaines d'années, sans aucune source de courant électrique. Elle est dite non volatile.

C'est précisément cette qualité qui distingue la mémoire Flash de la mémoire vive traditionnelle, dite Ram (*Random Access Memory*), présente actuellement dans les ordinateurs et qui devient amnésique à la moindre coupure d'alimentation.

A partir d'une même matrice

Flash et Ram reposent pourtant sur le même principe. Ces deux types de mémoires électroniques sont en effet des circuits intégrés, fabriqués à partir de silicium, comme les processeurs, par exemple.

Ces circuits miniatures (les puces de mémoire Flash ne sont pas plus grandes qu'un ongle) sont bâtis sur la même structure: une matrice (un tableau formé de lignes et de colonnes) dont les minuscules

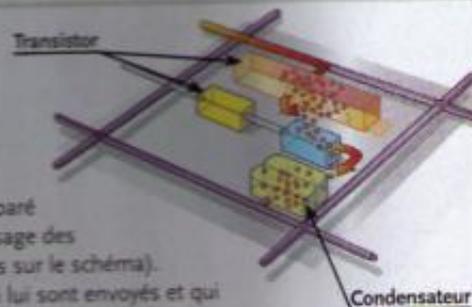


Flash et Ram: des bases communes

Au sein des puces de mémoire Flash et Ram, on retrouve une structure similaire: une matrice, sorte de quadrillage dans lequel chaque cellule stocke des charges électriques représentant un 0 ou un 1. Chaque cellule est repérée par son adresse, c'est-à-dire par sa position sur les lignes et les colonnes (les word lines et les bit lines). Lorsque l'appareil hôte (ordinateur, appareil photo, baladeur, etc.) a besoin de lire une donnée, il transmet l'adresse correspondante à un composant électronique spécialisé, le contrôleur, qui dispose d'une carte précise de toutes les adresses de la mémoire. Ce dernier envoie alors un courant électrique aux cellules correspondantes pour lire les données recherchées. Le contrôleur est également chargé de l'enregistrement et de l'effacement des données.

Ram: des données à durée de vie limitée

Les cellules de la matrice des mémoires Ram contiennent deux composants: un transistor et un condensateur. Le premier peut être comparé à une porte d'entrée qui ouvre et ferme le passage des électrons (les trois petites boîtes rectangulaires sur le schéma). Le condensateur, lui, retient les électrons qui lui sont envoyés et qui représentent les données. Mais ce réservoir ne conserve ses électrons que durant un laps de temps très court, de quelques millisecondes seulement. Il doit donc recevoir du courant de façon régulière. C'est ce qu'on appelle le rafraîchissement, qui survient toutes les 8 à 16 ms, mais aussi après chaque lecture, car celle-ci vide le contenu de la case mémoire. A la moindre coupure de courant, le contenu de la Ram s'efface.

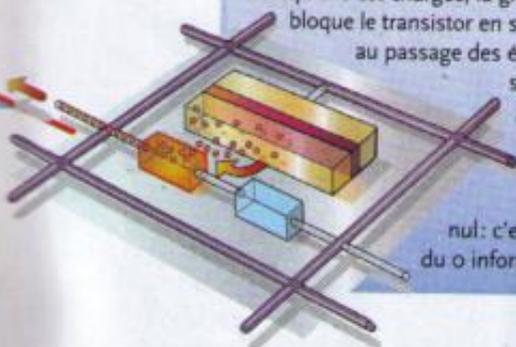


permanence

Flash: des données longue conservation

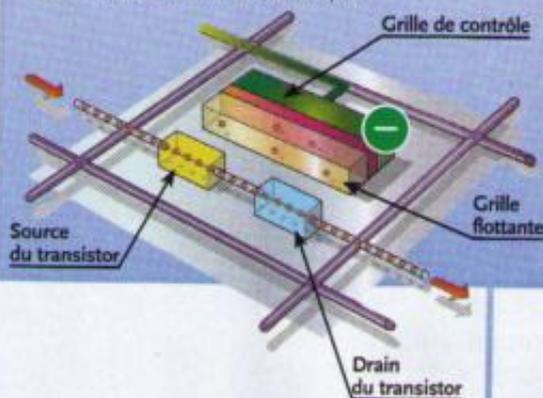
Lecture d'un 0

Lorsqu'elle est chargée, la grille flottante bloque le transistor en s'opposant au passage des électrons entre la source et le drain. Au niveau du drain, le flux de charges est très faible, voire nul: c'est l'équivalent du 0 informatique.



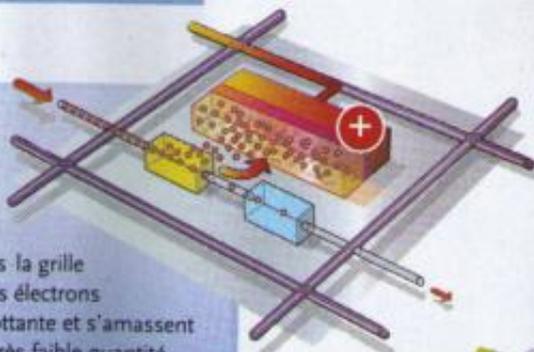
Lecture d'un 1

Une cellule de mémoire Flash ne contient qu'un seul composant, contrairement à la Ram, composé de trois parties, un transistor, une grille de contrôle et une grille flottante. Le transistor est composé d'une source et d'un drain, qui constituent les portes d'entrée et de sortie du courant (sur le schéma, ce sont respectivement la petite boîte de gauche et la petite boîte de droite). La grille de contrôle prend en charge les opérations de lecture et d'écriture d'après la tension qu'elle reçoit. La grille flottante stocke la charge électrique, qui représente un bit de données. La lecture du contenu d'une cellule s'effectue par l'envoi d'une tension, de 1,8 à 5 V selon les modèles et les constructeurs, sur la grille de contrôle et d'une tension identique entre la source et le drain du transistor. Lorsque la grille flottante n'est pas ou peu chargée, le courant ressort du drain intact: c'est l'équivalent du 1 informatique.



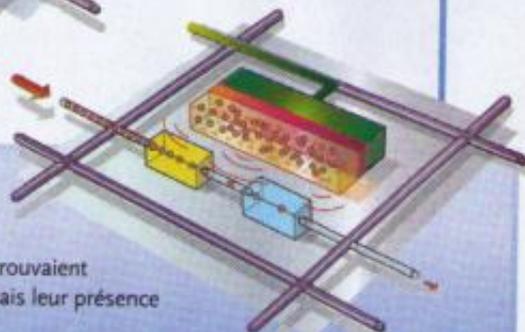
Ecriture d'une cellule

Lors de l'écriture d'un bit dans une cellule, une tension élevée (12 volts) est envoyée à la fois sur la grille de contrôle et sur la voie qui mène de la source au drain. Les électrons sont alors fortement attirés vers la grille de contrôle. Grâce à l'effet tunnel Fowler-Nordheim, les électrons traversent la barrière entre grille de contrôle et grille flottante et s'accumulent dans cette dernière, où ils restent bloqués (seule une très faible quantité d'électrons parvient à finir sa course jusqu'au drain).



Effacement d'une cellule

Pour effacer les données, une tension de 12 V est appliquée sur la source. L'effet tunnel conduit, dans le sens inverse de l'écriture, à l'évacuation des électrons qui se trouvaient dans la grille flottante (quelques électrons trop têtus restent dans la grille flottante, mais leur présence n'a pas d'effet sur les courants de lecture).



cellules (elles ne mesurent que quelques millièmes de millimètre de côté) contiennent des charges électriques servant à représenter des 0 et des 1. Mais les similitudes s'arrêtent là. Car Flash et Ram ont des méthodes différentes pour stocker les informations. Dans la matrice de la Ram, chaque cellule (ou point mémoire) contient deux éléments: un transistor classique, qui laisse ou non passer le courant, à la manière d'une vanne, et un condensateur, qui retient une charge d'électrons (c'est cette charge qui représente les bits), un peu à la manière d'un réservoir rempli d'eau.

Mais ce condensateur ne peut conserver longtemps les électrons: le réservoir a des fuites... Il faut donc l'alimenter régulièrement en électricité pour qu'il ne perde pas le contenu qu'on lui a confié. En outre, chaque lecture d'un point mémoire de la Ram consiste à vider le condensateur et donc à effacer les données qu'il contient; il faut ainsi le remplir de nouveau après chaque lecture.

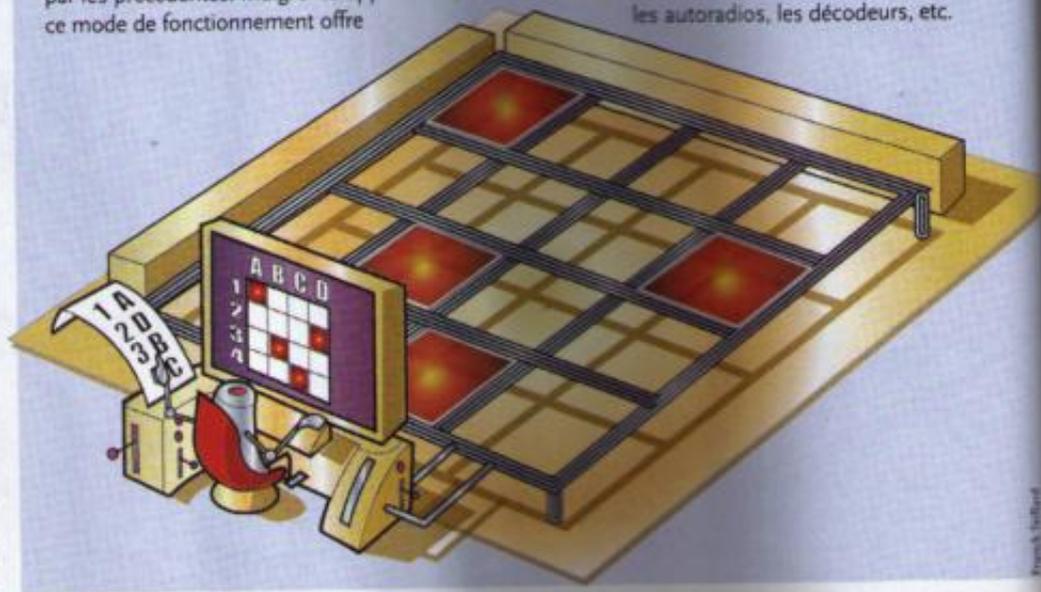
Cent ans d'espérance de vie

La mémoire Flash fonctionne tout à fait différemment de la mémoire vive. Dans sa matrice, chaque point mémoire est en effet constitué d'un unique transistor d'un genre particulier, dit à grille flottante. Elaborée à base d'oxyde de silicium et isolée des autres éléments du transistor, cette grille a pour particularité physique de conserver une charge d'électrons durant de très longues périodes (les fabricants ont estimé cette durée à cent ans!), que la Flash soit alimentée ou non en électricité. Cette grille flottante joue à la fois le rôle de vanne et de réservoir. Lorsque le réservoir est rempli, c'est-à-dire lorsque sa grille est chargée d'électrons, l'eau ne peut plus s'écouler. Le transistor est dit bloqué, le courant ne passe plus: c'est l'équivalent d'un 0. Lorsque le réservoir est vide, c'est-à-dire quand

NAND et NOR, les deux grandes familles

Il existe deux types de mémoire Flash: la NOR, qui date de 1988, et la NAND, apparue l'année suivante. Elles tirent leurs noms des portes logiques matérialisant les opérateurs booléens (NON OU et NON ET) codés par leurs transistors. La principale différence entre la NAND et la NOR réside dans leur mode de lecture des données. La NOR donne un accès direct à n'importe laquelle de ses cellules, comme la mémoire vive classique (une caractéristique à laquelle celle-ci doit d'ailleurs son nom de Ram, *Random Access Memory*, mémoire à accès quelconque). C'est elle qui est représentée ici. La NAND, elle, impose un accès séquentiel, à la manière des cassettes audio, par exemple. Pour accéder à une cellule, il faut passer par les précédentes. Malgré les apparences, ce mode de fonctionnement offre

un débit plus élevé, car les données sont lues et écrites par blocs entiers. La NAND s'avère ainsi plus rapide que la NOR puisqu'elle atteint environ 20 Mo/s en lecture (de l'ordre de celle d'un disque dur externe) et 10 Mo/s en écriture. Comme elle est plus dense (les cellules de la matrice sont 40 % plus petites que dans la NOR) et moins chère à produire, la NAND a logiquement supplanté la NOR dans les dispositifs servant à stocker de grandes quantités de données, comme les clés USB et les cartes mémoire. La NOR n'a pas pour autant disparu. Elle est utilisée partout où il faut à la fois une mémoire non volatile et un accès direct aux cellules mémoires, comme dans la Ram. Elle sert à stocker le Bios des ordinateurs et embarque des logiciels dans les appareils photos, les baladeurs, les autoradios, les décodeurs, etc.



la grille a été vidée de ses électrons), l'eau peut circuler. Le transistor est dit passant: c'est l'équivalent d'un 1. L'écriture et l'effacement des données dans une mémoire Flash (on parle de programmation) s'effectuent par l'application de différentes tensions aux points d'entrée de la cellule. Ces opérations soumettent la grille flottante à rude épreuve: on estime qu'une mémoire Flash peut supporter jusqu'à 100 000 écritures et effacements selon la qualité de l'oxyde utilisé pour la grille. Mise au point il y a près de vingt ans, la mémoire Flash ne cesse d'évoluer. L'amélioration continue de la finesse de gravure lui

profite comme aux Ram et aux processeurs, avec juste un peu de retard.

La course à la finesse

La plupart des Flash sont gravées en 90 nanomètres (1 nanomètre, ou nm, vaut un millième de millimètre). Cette valeur indique la finesse des éléments les plus fins inscrits par photolithographie (procédé similaire à celui employé pour les processeurs et les Ram). Cette précision permet de fabriquer des circuits dix-sept fois plus petits que les premières mémoires Flash. Mais l'industrie est déjà passée au 65 nm, et les mémoires Flash commen-

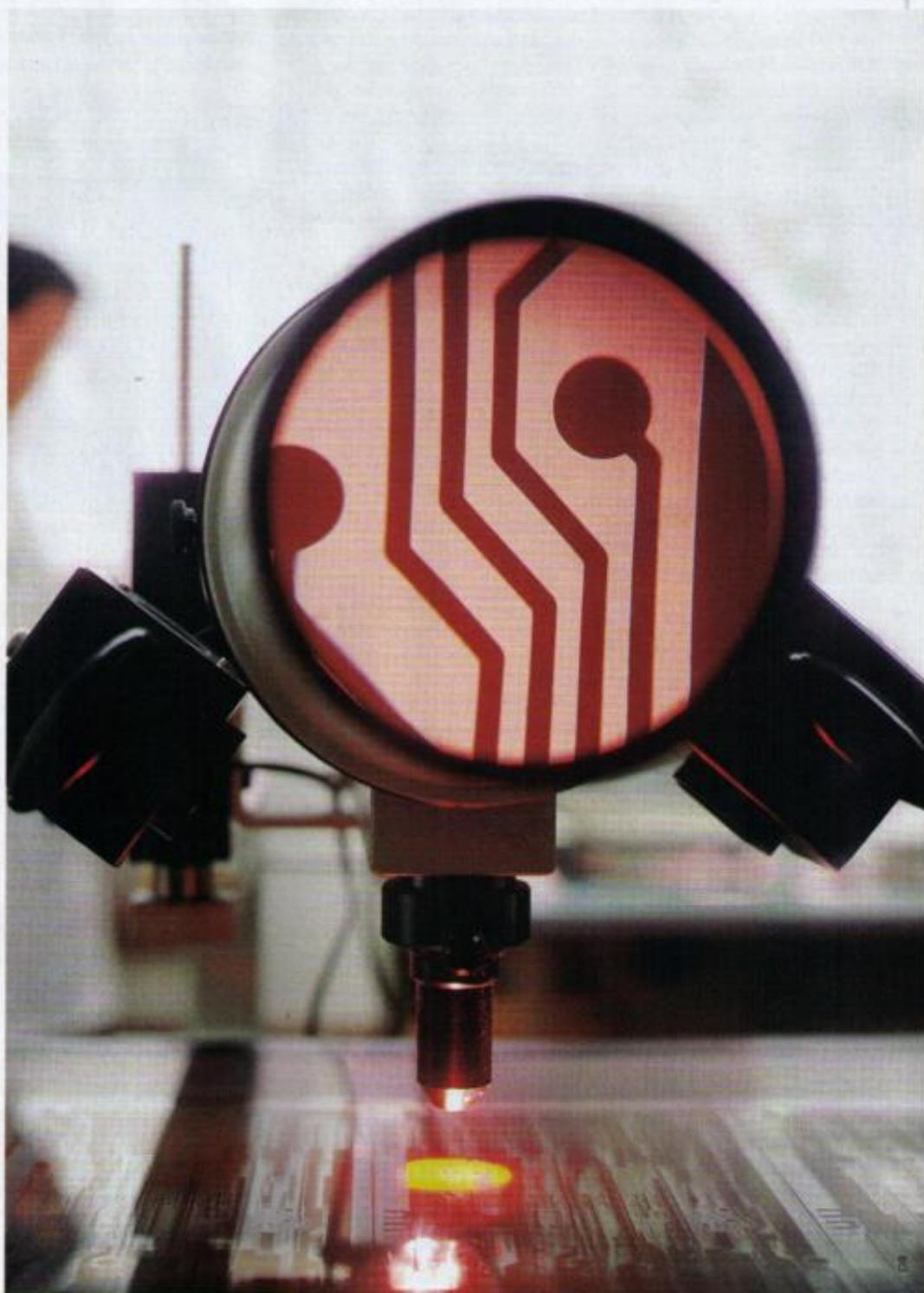
cent à être fabriquées avec cette finesse. Pour aller plus loin, la seule réduction de la finesse de gravure ne suffira pas; il faut explorer d'autres pistes. Plusieurs constructeurs, dont Intel et AMD (via sa filiale Spansion), par exemple, ont mis au point des procédés permettant de stocker deux bits par cellule. Mais il y a d'autres voies possibles, notamment une technologie complètement différentes, celle des mémoires magnétiques MRam (*Magnetoresistive Ram*), elles aussi non volatiles, ou encore des composants de taille moléculaire (voir page 62). Mais cela, c'est pour demain et après-demain. ■

■ CIRCUITS**En piste pour
de nouvelles cartes**

Les cartes imprimées sont en pleine mutation, pour s'adapter aux nouveaux appareils mobiles comme aux réglementations en matière de protection de l'environnement.

Les circuits imprimés sont apparus il y a près de soixante ans, avec les premières radios. Les ingénieurs devaient alors résoudre un épineux problème: connecter les nombreux composants (résistances, bobines, condensateurs, transistors, etc.) de ces appareils radiophoniques entre eux. Ils ont donc fixé ces composants sur de petites plaquettes isolantes en bakélite et remplacé les fils d'interconnexion par un réseau de pistes de cuivre gravées à même la surface de la plaque, d'où le nom de circuit imprimé.

Depuis cette époque, ce principe a bien évolué. Dès les années 60, la bakélite a fait place à la résine époxy. Les besoins en miniaturisation ont amené à concevoir des circuits comprenant de plus en plus de composants sur des espaces de plus en plus réduits. De simple face, les circuits sont devenus double face (des pistes de cuivre sont déposées des deux côtés de la plaque selon des chemins différents), puis en multicouches dès la fin des années 80 avec la technologie dite CMS (composants montés en surface). Ce procédé évite de percer la plaque pour fixer les éléments: les composants sont soudés à la surface — — —



Les machines DEMAIN

— — — de la plaque et reliés aux différentes couches de connecteurs, incluses dans l'épaisseur de la plaque à l'aide de rivets appelés vias.

On trouve aujourd'hui des circuits imprimés dans de nombreux appareils : éléments de chaînes hi-fi, téléviseurs, baladeurs, téléphones mobiles, bien sûr, mais aussi appareils électroménagers, automobiles, imprimantes, etc. Dans nos ordinateurs, ils se présentent sous différentes formes : les cartes mères sur lesquelles sont soudés processeur, circuits intégrés, résistances, condensateurs, connecteurs, etc., les barrettes mémoire et autres cartes graphiques sont des circuits imprimés.

Des objectifs ambitieux exigeant de nouvelles techniques

Parmi les circuits imprimés les plus sophistiqués figurent les calculateurs installés à l'intérieur même des moteurs à réaction de dernières générations. Constitués de polyimide souple, ils comprennent plus d'une vingtaine de couches pour accueillir leurs composants et résistent à des écarts de température de plus de 160 °C ainsi qu'aux énormes vibrations générées par le fonctionnement du réacteur. Pourtant, la largeur de leurs pistes de connexions ne dépasse pas 150 micromètres ! Une finesse étonnante, qu'on sait toutefois réduire jusqu'à trois fois quand le niveau de fiabilité des appareils n'est plus aussi critique. C'est le cas, notamment, des circuits imprimés qu'on trouve sur les appareils photo numériques et les téléphones mobiles.

Mais, pour de nombreux spécialistes, il faudra encore pousser la miniaturisation plus loin afin de répondre aux exigences des prochaines générations d'équipements électroniques, comme les téléphones mobiles ou les consoles de jeux multifonctions. La technique qui consiste à superposer les couches atteint aujourd'hui ses limites. Plusieurs axes de recherche sont à

l'étude pour augmenter le nombre des interconnexions sur des circuits imprimés sans changer leur taille.

L'un d'eux consiste à diminuer la largeur des pistes pour parvenir, d'ici à une dizaine d'années, à une trentaine de micromètres de largeur. Cet objectif ambitieux sous-entend le passage à de nouveaux procédés de fabrication, notamment pour le tracé des pistes ou le perçage des vias, qui peut être réalisé à l'aide d'un laser. Déjà employée, cette méthode ne permet pas encore une productivité suffisante à l'échelle industrielle. Pour la rendre plus performante, il faudra changer le matériau des supports : le laser est en effet incompatible avec les substrats courants, notamment ceux qui incluent des renforts en tissu de verre, trop fragiles. Le recours à des substrats dotés de renforts organiques plus solides, en fibres aramidées (une fibre synthétique), est envisagé.

Beaucoup d'études portent sur une autre voie, très prometteuse : l'intégration des composants dans l'épaisseur de la plaque, sur chaque niveau des couches de connecteurs. Appliquée aux seuls composants passifs, notamment aux résistances et condensateurs, cette solution permettrait, dans le cas d'un téléphone portable, par exemple, de gagner 50 % de place sur la carte !

Dans les prochaines années, les circuits imprimés ont une autre marche évolutive à franchir : s'accommoder des signaux à hautes fréquences avec des matériaux moins onéreux que les polyimide, Teflon et autres Kapton utilisés aujourd'hui. De caractère indiscipliné, le courant électrique HF a tendance à se propager par radio en dehors des connecteurs et il faut, pour le contenir, faire appel à certains matériaux. Les feuilles de polymères à cristaux liquides, capables de résister à des fréquences de plus de 35 GHz, ou les mousses polymères, encore au stade de l'étude, font partie des voies explorées. ■

Cartes dopées par les fibres optiques

Plusieurs laboratoires travaillent sur le développement de circuits imprimés intégrant des fibres optiques en plus des traditionnelles pistes de cuivre. La transmission des données, assurée par des photons, serait bien plus rapide. Pour les laboratoires des universités de Daejeon et de Gwangju, en Corée du Sud, les premiers circuits imprimés munis de fibres optiques ne seront probablement pas commercialisés avant 2010, le temps que les coûts de production deviennent abordables. Les Anglais de l'université de Heriot Watt, qui planchent sur la question dans le cadre du projet *Holms (High-speed Optoelectronic Memory Systems)*, parient sur une commercialisation en 2008.



> Les circuits sont imprimés par jet d'encre (en argent), comme pour une impression standard. Le gain est écologique (pas de déchets) et économique.

Impression améliorée grâce au jet d'encre

Comme il faut imprimer le dessin du circuit, pourquoi ne pas utiliser... une imprimante ? Si elle est à jet d'encre et cette encre conductrice, on peut effectivement inscrire le dessin des connexions directement sur la surface. Cette technique, déjà employée pour les étiquettes RFID, est à l'étude chez plusieurs fabricants de circuits imprimés. Comparée à la méthode classique dite soustractive, qui consiste, à partir d'un substrat cuivré, à éliminer le métal inutile par de multiples opérations de masquage, d'insolation et de gravure, l'impression par jet d'encre offre tous les avantages d'un procédé 100 % additif. Il ne génère aucun déchet et apporte aussi un joli gain de productivité : ce procédé permettrait de fournir des prototypes de circuits imprimés en seulement vingt-quatre heures, alors qu'il faut compter au moins deux jours avec le procédé soustractif courant. L'un des dispositifs à l'essai laisse espérer la possibilité, d'ici à quelques années, de fabriquer un panneau de circuits imprimés de l'ordre de 500 x 600 mm en quelques secondes ! Autre point positif de l'impression jet d'encre : la finesse des pistes. Les spécialistes savent aujourd'hui déposer des microgouttes de 10 picolitres et réaliser ainsi des motifs de 50 micromètres de large. Ils cherchent actuellement à faire baisser le coût de ce procédé.

Circuits imprimés moins polluants

Applicable depuis juillet 2006, la directive européenne RoHS (*Reduction of Hazardous Substances*)*, relative à la protection de l'environnement, entraîne des changements dans la réalisation des circuits imprimés. En interdisant l'usage du plomb, fréquemment utilisé pour souder les composants sur les plaques,

cette directive a contraint les fabricants à se tourner vers de nouveaux alliages à base d'étain, d'argent et de cuivre, à la température de fusion plus élevée (environ 250 °C, soit 10 °C de plus). Les fabricants emploient donc de nouveaux substrats capables de supporter ces températures. Ces substrats devront être aussi exempts d'halogènes

(des substances utilisées comme retardateurs de flamme). Bruxelles oblige aussi les fabricants à diminuer leur volume de déchets polluants, ce qui les conduit notamment à se tourner vers d'autres procédés de fabrication tels que l'impression jet d'encre (voir encadré page ci-contre).
* <http://minilien.com/?FMmSKPzcCN>

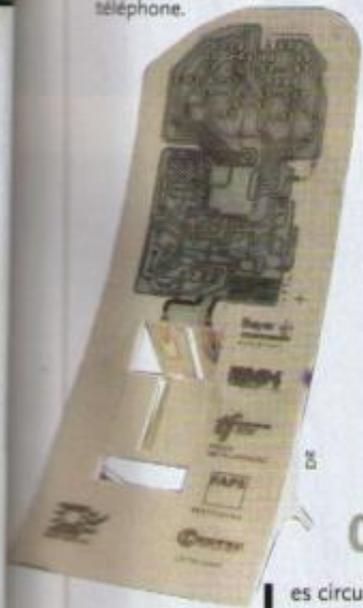


> Les fibres optiques sont directement branchées sur la plaque pour accroître la vitesse de transmission des données.



> La nouvelle directive européenne RoHS, applicable depuis juillet 2006, oblige les fabricants à réduire leur volume de déchets polluants, et donc à choisir de nouveaux procédés de fabrication.

> Un circuit imprimé moulé à même le matériau, en l'occurrence la coque d'un téléphone.



Circuits adaptés à toute exigence

Les circuits souples – simple face, double face ou multicouches – possèdent bien des atouts: ils occupent moins d'espace que leurs équivalents rigides, se montrent plus économiques, plus fiables et plus adaptés à la réalisation de pistes très étroites (50 micromètres aujourd'hui, 30 demain). Ils sont aussi plus résistants aux sollicitations mécaniques extrêmes. Déjà utilisés en informatique, notamment dans les lecteurs de disques durs (la connexion encaisse jusqu'à 100 millions de flexions) et dans l'automobile (pompes à injection des moteurs Diesel), les circuits souples

intéressent aussi les spécialistes du domaine médical (notamment pour les instruments d'intervention dite minimale invasive). Appelés à se développer, les circuits souples ne cessent de s'améliorer. Les axes de recherche se portent sur des substrats de moins en moins épais, la multiplication du nombre de couches, une meilleure résistance aux fortes températures (au moins 150 °C en continu pour les applications automobiles), voire la suppression du substrat! Les pistes seraient alors gravées sur l'équipement: le fond de la coque d'un portable, la face interne d'une prothèse auditive, etc.

■ ECRAN

Au doigt et à l'œil

Préparez-vous à abandonner claviers, souris, touchpads et autres manettes : demain, vous contrôlerez votre ordinateur via un écran tactile, voire avec un écran virtuel...

Regardez votre écran d'ordinateur, tendez les mains vers lui, et imaginez... Imaginez que, du bout des doigts, vous orchestrez tout ce qui se passe dessus : ouvrez, fermez, déplacez, écrivez, dessinez... Un peu comme Tom Cruise, face à son système de contrôle futuriste dans *Minority Report*. Des prototypes de tels dispositifs existent déjà, un peu partout dans le monde – en Europe, au Japon, aux Etats-Unis et au Canada, entre autres – et qui ne ressemblent plus en rien à l'écran tactile inventé en 1971 par l'Américain Samuel Hurst. Comme dans le film de Steven Spielberg, leurs dimensions et leurs formes dépassent l'imagination.

Quant aux technologies qui les animent, elles n'héritent plus de la Grafacon, la première tablette graphique inventée en 1964. Des faisceaux laser, des diodes lumineuses ou des caméras remplacent ainsi les traditionnels capteurs électromagnétiques placés sous le verre.

La réalité rattrape la fiction

Pour les scientifiques qui ont mis au point ces écrans, l'enjeu consiste à faciliter les interactions entre l'homme et l'ordinateur. Selon eux, l'utilisation de la souris et du clavier demande trop d'efforts de concentration, en perturbant la coordination entre l'œil et la

Une touche de biométrie

Jeff Han, chercheur consultant à l'université de New York, a mis au point un écran tactile bien plus efficace que le système de pointage utilisé dans *Minority Report*. Le Multi-Touch Screen ne nécessite pas l'emploi de gants et il réagit à de légères pressions des dix doigts simultanément ! On est donc très loin du touchpad. Il suffit de les bouger pour déplacer une image, de les poser à plat sur une carte géographique puis de les éloigner pour faire un gros plan, d'écartier ou de rapprocher les doigts pour agrandir ou réduire une photo, d'appuyer sur une représentation virtuelle du clavier pour écrire... Les possibilités semblent illimitées !

Le principe du Multi-Touch Screen repose sur la *Frustrated Total Internal Reflection (FTIR)*, une technologie utilisée en biométrie : des diodes lumineuses, placées à l'intérieur d'une des parois latérales de l'écran, émettent un faisceau qui se réfléchit plusieurs fois sur les faces internes avant et arrière de l'écran, avant d'atteindre l'autre côté. Sous la pression du doigt, la trajectoire du faisceau se modifie : la quantité de lumière diffusée sur l'arrière de l'écran permet de connaître la position du doigt. Un petit miracle, visible sur <http://mrl.nyu.edu/~jhan/ftirtouch/index.html>



> Contact. Le Multi-Touch Screen mis au point par l'université de New York mesure 68 cm de hauteur sur 91 cm de large. L'écran rétroéclairé réagit au contact et au déplacement des doigts à 2,5 mm près. Il exploite les technologies utilisées en biométrie pour la reconnaissance des empreintes digitales.

Jeff Han



> Imaginé par les chercheurs du Fraunhofer HHI, ce triptyque permet, comme les autres prototypes de cette page, de manipuler des objets virtuels...

Fraunhofer HHI

La bague au doigt

Des chercheurs de l'université de Toronto ont mis au point un système de manipulation manuelle d'objets en trois dimensions sur des écrans sphériques. Les formes en 3D sont construites à partir d'images en 2D projetées des centaines de milliers de fois par minute sur un écran rotatif translucide, situé au milieu du globe. Pour manipuler ces objets, il faut enfiler des bagues lumineuses. Filmées par des caméras haute définition reliées à un ordinateur, ces bagues permettent de repérer les mouvements et l'emplacement des doigts. Un geste avec l'index et le pouce, l'éloignement ou le rapprochement des doigts de la sphère suffit ensuite à faire bouger les formes en 3D de façon très précise. Ce dispositif offre, en outre, un angle de vision de 360 degrés. Choisi pour équiper leur prototype en raison de son faible coût, le système de suivi des mouvements par caméra peut être remplacé, selon les chercheurs, par un écran tactile.



Copyright 2006, ACM. Reprinted by permission

> En 3D. Le dispositif conçu par l'université de Toronto permet seulement de manipuler des objets en trois dimensions. Mais à terme, les chercheurs espèrent bien le transformer en une sorte d'atelier de sculpture virtuelle.

Pointage à l'index

Dans une gare ou un aéroport, un usager s'approche d'un grand écran couleur qui s'anime immédiatement, présentant différentes options. La personne tend son index vers lui. Une tâche blanche apparaît alors à l'écran, là où pointe le doigt, et bouge avec lui. Il suffit alors de désigner l'une des options, Monuments par exemple, et une liste de photos apparaît. Le curseur blanc dirigé au doigt choisit l'une d'elles et le bâtiment apparaît en perspective. Quelques mouvements de la main et le voilà qui tourne sur lui-même. Baptisé iPointExplorer, mis au point à l'institut Fraunhofer HHI (Heinrich-Hertz-Institut), cet appareil existe bel et bien pour l'instant à l'état de prototype. Caméras et détecteurs à ultrasons, installés dans une structure horizontale au-dessus de l'écran, assurent le suivi des mouvements. Fonctionnant sans contact et pouvant être protégé contre le vandalisme aussi bien qu'un distributeur quelconque, le iPointExplorer est avant tout destiné aux lieux publics.



Fraunhofer HHI

> Pas de souris ni de roulette: pour désigner un point sur un plan, faire bouger une image en 3D ou choisir dans un menu, l'usager n'a qu'à pointer du doigt.

act.
Touch
mis
par
ité de
de
58 cm
sur
de largeur
aire
act et
acement
50
m près.
eologies
ien
e
issance
aintes

Les machines DEMAIN

— — — main développée durant l'apprentissage de l'écriture. Suivre ainsi le mouvement des mains ou du corps pour diriger une action pourrait servir dans de multiples domaines. Les chirurgiens y voient un moyen de contrôler des instruments microscopiques, injectés à l'intérieur du corps ou installés à distance. Les militaires imaginent toutes sortes d'applications et les constructeurs aéronautiques explorent ces possibilités depuis longtemps.

L'ère de l'après-souris

Architectes et ingénieurs eux aussi sont friands de 3D. En 2005 déjà, les visiteurs du Cebit ont pu admirer le prototype d'un superbe triptyque présenté par des chercheurs allemands du Fraunhofer HHI (*Heinrich-Hertz-Institut*). Certes un peu encombrant, il permet de manipuler des objets virtuels (voir illustration page précédente). Les deux écrans latéraux, classiques, affichent les objets et entourent l'écran central qui, lui, montre une image en trois dimensions. Celle-ci est créée par deux vidéoprojecteurs, installés derrière. Un réseau de neuf caméras, incrustées dans le bureau, suit les mouvements de la main, laquelle est éclairée par six jeux de diodes. On peut ainsi prendre un objet sur l'un des écrans latéraux, le placer dans l'afficheur 3D puis, comme si on le tenait réellement, le faire tourner dans tous les sens.

Les appareils mobiles de plus en plus petits appellent eux aussi des systèmes de commandes différents. Nos doigts commencent à être un peu gros pour tapoter sur les téléphones miniatures... L'affichage public sans contact sera sans doute un autre débouché pour la génération de l'après-souris. Et les chercheurs ne manquent pas d'imagination. Ainsi certains travaillent à améliorer les techniques de projection rétinienne. Pour présenter une image à quelqu'un, il suffit d'un laser qui la dessine directement sur l'œil... Plus besoin d'écran! ■

Petit écran deviendra grand

Inventé par Alvaro Cassinelli, Stéphane Perrin et Masatoshi Ishikawa du laboratoire Ishikawa-Komuro-Namiki de l'université de Tokyo, le Smart Laser Scanner est un dispositif qui agrandit la surface de travail des petits écrans sur lesquels il est difficile d'agir avec précision. Ceux des assistants personnels, par exemple.

Ce système de suivi de mouvements se présente sous la forme d'un boîtier qui se place à côté de l'écran. Il émet un faisceau laser qui illumine jusqu'à quatre doigts de l'utilisateur placés à une dizaine de centimètres de l'écran. Lorsque les doigts bougent, qu'ils dessinent une forme, un chiffre ou une lettre, le dispositif mesure, via un photodétecteur, la quantité de lumière réfléchie vers le boîtier. Ces informations sont alors transmises à l'assistant personnel qui les affiche à l'écran. Le boîtier n'est actuellement pas plus grand qu'un disque dur externe, mais les chercheurs espèrent arriver à le réduire à la taille d'une pièce de monnaie.



> **A main levée.** Le Smart Laser Scanner réalisé par l'université de Tokyo est capable de suivre le mouvement de plusieurs doigts à la fois. L'utilisateur n'a même pas besoin de porter des gants. Les traces lumineuses apparaissant sur les photos correspondent au mouvement des doigts dans l'espace. Elles ne sont pas visibles à l'œil nu. Un temps d'exposition prolongé lors des prises de vue, de l'ordre de la seconde, a permis de les faire apparaître.

■ NANOBIOLOGIES

Des bactéries électroniciens

En modifiant leurs gènes, des chercheurs programment des bactéries afin qu'elles exécutent de nombreuses tâches, telles des micro-usines. Effectués à l'échelle du nanomètre, ces travaux impressionnants vont bouleverser divers domaines, dont l'informatique.

Bactérie: micro-organisme unicellulaire formant un règne autonome ni animal, ni végétal, de formes très variées, pouvant vivre de matières organiques trouvées dans le sol, l'eau ou des organismes vivants, ou comme parasites de l'homme, des animaux et des plantes. » Voilà pour la définition du Robert.

Ce qu'elle ne précise pas, c'est que les bactéries jouent un rôle important dans divers secteurs, à commencer par la biologie et la médecine, qu'elles travaillent pour nous depuis longtemps quand elles nous fabriquent, par fermentation, du fromage et du vin, et qu'elles s'apprentent à nous aider aussi en électronique et en informatique.

Des travaux menés à l'échelle du nanomètre

Les spécialistes des biotechnologies profitent en effet de leurs nombreuses propriétés (chimiques et électriques, entre autres), de leur taille extrêmement réduite ainsi que de leur prix de revient particulièrement bas (on les trouve dans la nature!) pour en faire de véritables outils. « Ces organismes naturels exécutent souvent les fonctions très complexes qui ne peuvent pas être facilement obtenues à partir de produits manufacturés tels que des semi-conducteurs » notait, en 1998, Paul R. Kolodner, chercheur aux laboratoires Bell. Il songeait alors à utiliser la bactériorhodopsine, une protéine bactérienne qui change de couleur sous l'impulsion d'une charge électrique, pour fabri-

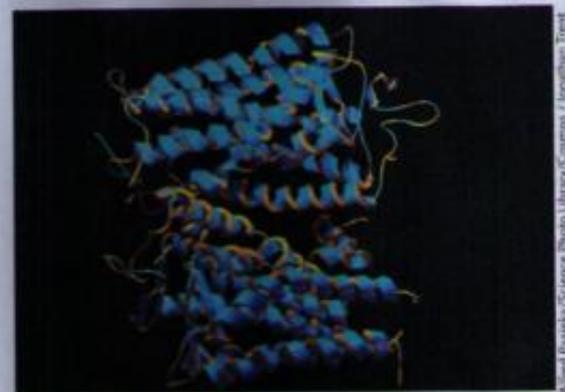
quer de l'encre électronique. A cette époque, les chercheurs s'intéressaient surtout aux propriétés chimiques ainsi qu'aux facultés de duplication et d'auto-assemblage des bactéries.

Mais avec le décryptage du génome de ces micro-organismes dans les années 2000, la recherche en bionanotechnologie a pris une autre tournure. Les scientifiques peuvent désormais intervenir sur les gènes pour modifier l'activité des bactéries et les faire travailler. Ces recherches ont notamment abouti à la mise au point de véritables usines miniatures, dont la taille se mesure en nanomètres, capables d'effectuer des tâches complexes avec une précision que l'homme ne saurait atteindre.

Des travaux d'autant plus impressionnants qu'ils s'effectuent sur des organismes non seulement invisibles à l'œil nu mais aussi vivants! ■

Elles stockent les données

Des DVD stockant jusqu'à 50 To de données, soit l'équivalent de 1000 disques Blu-Ray de 50 Go, en 2009: c'est l'objectif que s'est fixé le professeur Renugopalakrishnan, de l'Harvard Medical School (dans le Massachusetts). Ce scientifique travaille sur la bactériorhodopsine (Br), une protéine issue d'une bactérie présente dans les marais salants. Sa particularité: sous l'effet de la lumière, elle prend de multiples formes avant de revenir à son état initial quelques heures ou quelques jours après. A chaque changement d'état, elle produit de l'énergie. En modifiant ses gènes, le chercheur a stabilisé un des états dans lequel elle bascule pour une durée d'environ dix ans, à température ambiante. Affectant des valeurs binaires aux deux états de la protéine (celui d'origine et celui modifié), il a transformé un ensemble de Br mutées fixées sur une galette métallique en dispositif de stockage numérique. Il envisage aussi d'utiliser des Br mutées pour fabriquer des écrans plats et des pellicules photographiques.



Alfred Psaty/Science Photo Library/Corbis / Jonathan Trent

Elles construisent des circuits imprimés

Dans une fusée, chaque millimètre carré compte. C'est pourquoi, à la Nasa, on ne plaisante pas avec la miniaturisation des systèmes informatiques et électroniques. C'est dans ce but que travaillent Andrew Mc Millan et Jonathan Trent, spécialistes des biotechnologies. Ces chercheurs ont conçu des circuits imprimés à l'aide de bactéries dont les éléments (pistes et semi-conducteurs) ne dépassent pas 3 nanomètres (nm). Les protéines qu'ils étudient, des chaperonines, sont issues d'un micro-organisme qui se développe à plus de 80 °C, le *Sulfolobus*

solfataricus. Leur particularité? Se plier spontanément sous forme cylindrique (16 à 18 nm de hauteur pour un diamètre inférieur à 17 nm), puis se ranger les unes à côté des autres. Pour que ces protéines fabriquent des anneaux au bon diamètre, les scientifiques sont intervenus sur le gène qui sert à la fabriquer. Leur chaperonine maison n'a plus de couvercle venant obturer ces minuscules tubes et elle incorpore un acide aminé supplémentaire jouant le rôle de colle. Ainsi, lorsque les chercheurs projettent des particules magnétiques ou des matériaux

enes

ans
arité;
rmes
ou
elle
heur
r
me.
ormé

uer

Alfred Pasarell/Science Photo Library/Contrasto / Jonathan Trent

Michael Anthony/Photo University of Texas at Austin



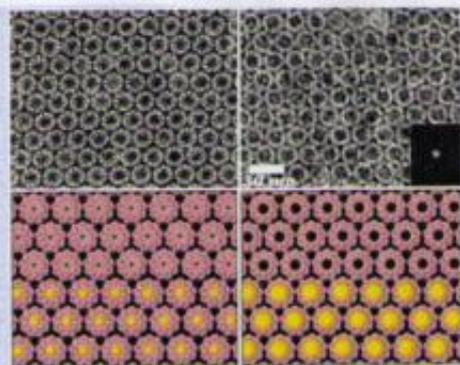
Elles se transforment en pixels

Parmi les bactéries, *Escherichia coli* (*E. coli*) n'est pas la plus sympathique: présente dans l'intestin des mammifères (on la trouve en grande quantité chez l'être humain), elle dégage une odeur nauséabonde. Elle est pourtant très utilisée dans les laboratoires, et son génome (du moins celui de sa forme non pathogène) est connu depuis 1997. C'est à l'occasion d'un concours de biologie synthétisée organisé par le MIT que des étudiants des universités de Californie et du Texas ont utilisé des *E. coli* génétiquement modifiées pour imprimer une photo en haute résolution. Pour cela, ils ont ajouté à l'ADN de cette bactérie un gène issu d'une algue qui code une protéine réagissant à la lumière. Ils ont ensuite introduit cette protéine dans un capteur de la bactérie dont la fonction consiste

à emmagasiner du sel puis modifié le métabolisme de ce capteur pour qu'il déclenche la libération de pigments lorsqu'il ne reçoit pas de lumière. Pour obtenir leur impression photographique, les chercheurs ont projeté une image, à la façon d'un pochoir, sur des bactéries situées dans un incubateur maintenu à 37 °C (la température du corps). Ils ont laissé leur projecteur allumé durant 12 à 15 heures, le temps que les bactéries se multiplient. Les bactéries soumises à la lumière n'ont pas produit de pigment, tandis que les autres sont devenues sombres, formant ainsi des pixels reproduisant l'image projetée. La taille des bactéries ne dépassant pas 3 micromètres, la résolution obtenue a été excellente: 16 mégapixels par centimètre carré, soit l'équivalent d'un capteur d'appareil photo reflex numérique.

semi-conducteurs sur leurs protéines modifiées, elles sont capables de les retenir. Les scientifiques ont ensuite inséré le gène altéré de *Sulfolobus solfataricus* dans des bactéries très répandues, des *E. coli* (voir ci-dessus) afin qu'elles produisent des protéines en grande quantité, puis ils ont détruit les *E. coli* en les faisant cuire à 85 °C afin de ne récupérer que les protéines créatrices d'anneaux. La dernière étape a consisté à cristalliser des ensembles de protéines pliées en anneaux afin de les rendre solides, puis à les aplatir sans les casser. Ils ont ainsi obtenu des grilles dotées de milliards de trous, hexagonaux

et réguliers, recouverts de matériaux semi-conducteurs. Les scientifiques de la Nasa voient là une nouvelle méthode pour fabriquer des circuits imprimés à l'aide d'un procédé plus précis et moins coûteux que l'actuelle lithographie, laquelle approche des limites de la miniaturisation. En brûlant les anneaux de la grille pour ne garder que des particules magnétiques de quelques nanomètres, ils envisagent aussi de fabriquer des mémoires.



Jonathan Trent

■ TRANSISTORS

Des puces superpuissantes

La course à la vitesse ne s'arrêtera pas de sitôt: en concevant des transistors cadencés à 600 GHz, les chercheurs doivent relever des contraintes physiques jusqu'alors inconnues.

Tous les deux ans, le nombre de transistors que l'on peut intégrer dans un microprocesseur double. » Cette loi, énoncée en 1975 par Gordon Moore, l'un des fondateurs d'Intel, et appelée deuxième loi de Moore, est vérifiée depuis 1973. Mais à quel prix! Car doubler le nombre de transistors sur une surface inchangée implique de graver des transistors plus fins, dans des usines toujours plus chères.

La technique de gravure des processeurs n'a pas évolué depuis des années: elle consiste à projeter des ultraviolets sur une couche de résine. Un masque bloque la lumière en certains points pour créer le circuit de transistors. Les ultraviolets peuvent graver les processeurs qu'on trouve aujourd'hui à l'aide de masques dont la finesse est de 90 nanomètres (nm). Ils sont aussi employés pour graver les processeurs à 65 nm, qui commencent à arriver. Cependant, ils ne pourront guère aller plus loin, 48 nm étant la finesse de gravure limite.

Pour respecter la loi de Moore entre 2008 et 2010, il faudra

passer outre... Sans trop s'éloigner des procédés actuels, une méthode consiste à utiliser des longueurs d'onde plus courtes. Avec leurs 20 nm, les ultraviolets extrêmes sont de bons candidats.

On cherche encore plus loin, dans le domaine des rayons X, qui commencent à 10 nm. Mais une longueur d'onde plus courte, c'est une énergie plus élevée et un rayonnement plus difficile à utiliser. Une telle modification impliquerait de construire de nouvelles usines.

Explorer de nouvelles voies

En attendant, on peut faire mieux avec les UV en utilisant... de l'eau. La lithographie à immersion, c'est le nom de cette technique, consiste à installer une goutte d'eau entre l'objectif qui émet la lumière et la carte à graver. Le liquide et le verre ayant pratiquement le même indice de réfraction, le rayon lumineux ne subit plus de déviation à l'interface verre/air.

Il est alors possible de mieux focaliser les rayons sur les figures à graver (on utilise le même

procédé en microscopie optique) et donc d'obtenir des éléments plus fins. Avec cette technique, IBM est parvenu à 34 nm. Presque suffisant pour atteindre une finesse de 32 nm, qui sera nécessaire en 2011.

Mais comme il est sûr qu'un jour on butera sur une impossibilité physique de miniaturiser encore, les scientifiques se préparent à adopter de nouvelles méthodes, des matériaux exotiques et des principes radicalement nouveaux. Remplacer le silicium est une possibilité explorée aujourd'hui. IBM essaie depuis des années le germanium. D'autres parient sur l'iridium, l'indium ou le gallium, seuls ou en mélange, déjà adoptés par les transistors les plus rapides actuellement. Ce sont pour l'instant des transistors bipolaires, utilisés dans les matériels de télécommunications, comme les téléphones, et qui doivent traiter des signaux à hautes fréquences.

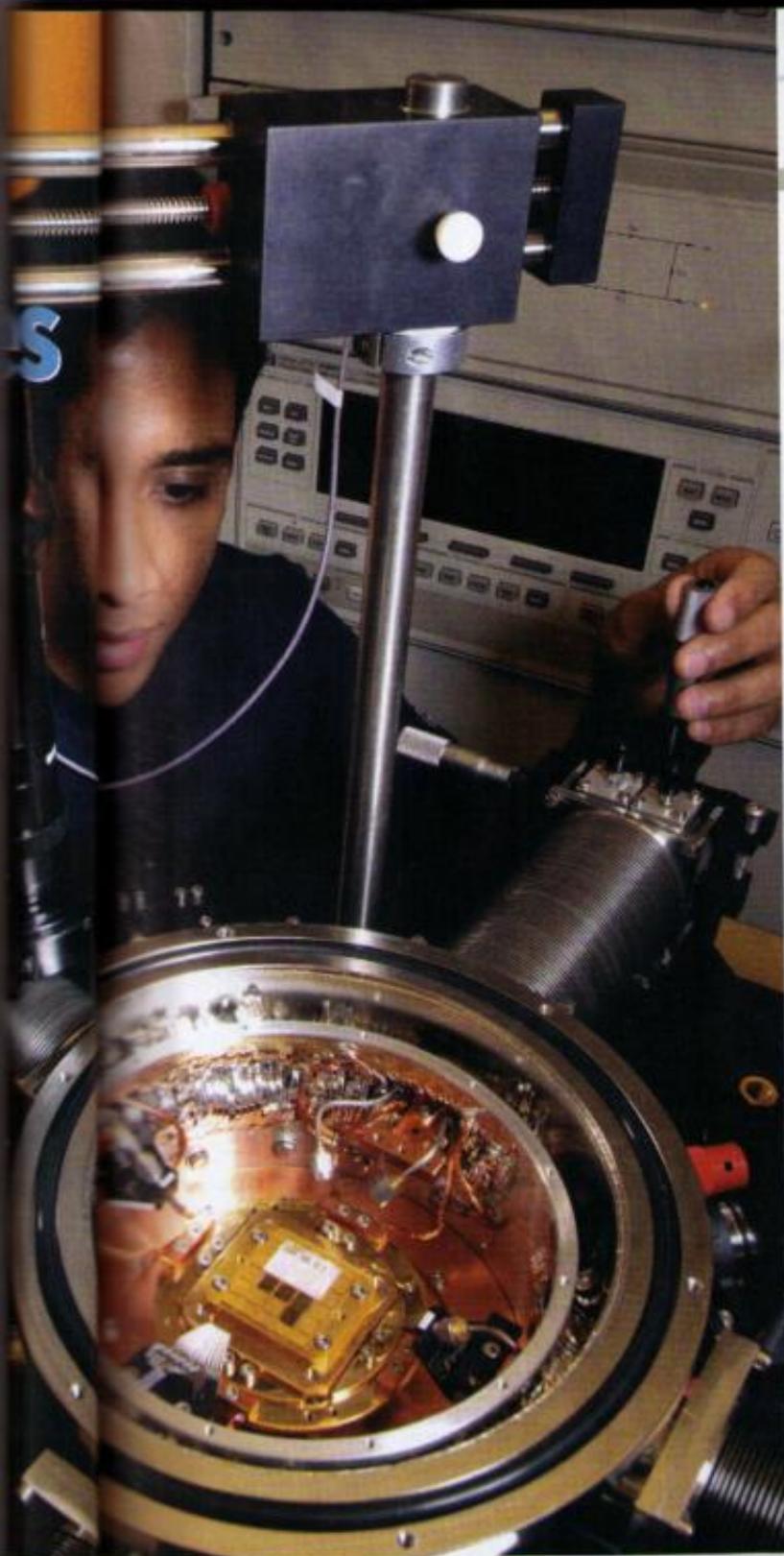
Mais les technologies innovantes arriveront probablement vers les transistors de nos ordinateurs (à effet de champs). Pour accélérer encore, il faudra passer à des structures plus petites, de tailles moléculaires, comme ce prototype en graphène de l'université de Manchester qui ne contient que quelques atomes de carbone. ■

Un ordinateur dans un seul circuit intégré

Un banal processeur d'aujourd'hui contient davantage de transistors qu'un ordinateur complet d'il y a cinq ans! Si on fait l'économie des connecteurs, du disque dur et de l'écran, on pourrait donc faire tenir les principaux éléments d'un PC (processeur, mémoire, modem, circuit graphique) dans une seule puce et fabriquer ainsi un ordinateur miniature, les interfaces physiques étant déportées. Appelés *System on a chip* (Soc), les systèmes de ce type sont déjà bien avancés. ST Microelectronics a ainsi développé une plate-forme destinée aux téléphones mobiles portant sur la même puce, entre autres, deux DSP (*Digital Signal*

Processor, processeur de signal numérique), un processeur à 300 MHz (de type Risc) et 16 Mo de mémoire (SRam). Si les systèmes de type Soc se développent dans le futur, on pourrait imaginer que chacun puisse avoir sur lui une sorte de carte de crédit embarquant un ordinateur miniature, avec processeur et mémoire. Il suffirait de l'insérer dans un terminal (disposant d'un écran, d'un clavier, de lecteurs de supports de stockage externes et d'une connexion réseau) pour pouvoir travailler. Il manquerait tout de même une mémoire de masse, mais pour stocker des données, la carte pourrait utiliser le réseau (local ou Internet).





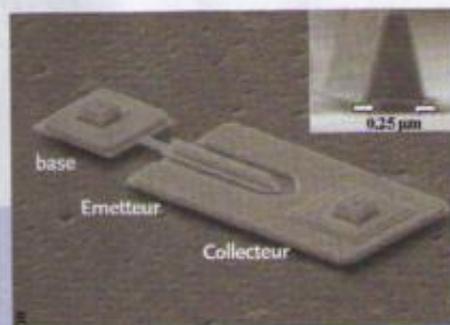
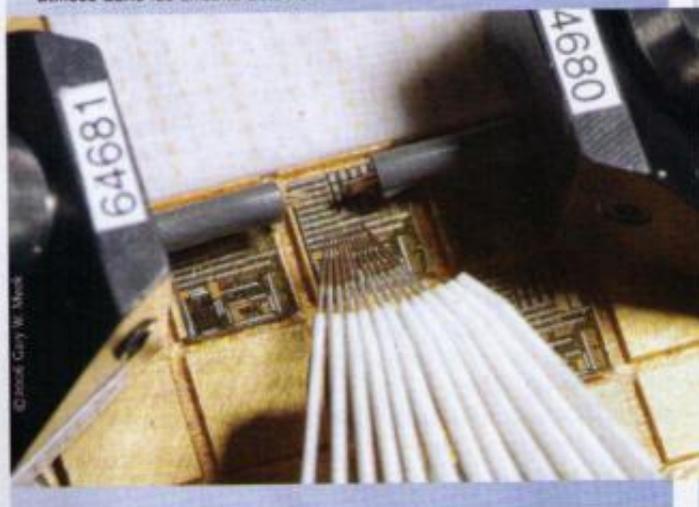
A la limite du térahertz

C'est un vieux routier des circuits qui tient toujours la corde dans cette course de longue haleine. Milton Feng, avec son équipe de chercheurs de l'université de l'Illinois, avait battu une première fois le record du monde en 2002 avec un transistor cadencé à 382 GHz, puis l'année suivante avec un modèle à 509 GHz. En 2005, il revient à la première place avec un très beau 704 GHz. En novembre 2006, le chercheur américain confirme sa place de numéro un mondial avec 845 GHz. Pour parvenir à ce résultat, ces scientifiques troquent le silicium

Vitesse de pointe à 500 GHz

Pour grimper en fréquence, IBM a exhumé le germanium, utilisé par les ancêtres du transistor en silicium (largement employé depuis les années 70). La société travaille la question depuis 1989 en utilisant non pas du germanium pur mais en mélange avec du silicium. Cette technologie, dite SiGe (Si pour silicium, Ge pour germanium), promet des vitesses plus élevées et des consommations électriques plus faibles. Industriellement, elle présente l'intérêt de s'appuyer sur des procédés de fabrication semblables à ceux mis en œuvre aujourd'hui pour les puces au silicium. D'année en année, les chercheurs d'IBM améliorent les performances. La dernière date du mois de juin 2006. A température ambiante, le transistor mis au point en collaboration avec un laboratoire du Georgia Institute of Technology (Atlanta) a foncé à 350 GHz. Amené à la température de l'hélium liquide ($-268,7^{\circ}\text{C}$), il a même atteint les 500 GHz!

> A la température de l'hélium liquide, le transistor SiGe d'IBM pédale 250 fois plus vite que les modèles bipolaires classiques utilisés dans les circuits actuels.



> Du phosphore d'iridium et de l'arséniure de gallium-iridium: le transistor bipolaire de l'université de l'Illinois est le plus rapide jamais mis au point avec 845 GHz!

contre du phosphore d'iridium et de l'arséniure de gallium-iridium et miniaturisent au maximum le transistor. La base (une des trois parties d'un transistor dipolaire, avec l'émetteur et le collecteur) mesure seulement 12,5 nanomètres. Comme pour tous les circuits, la chaleur est l'ennemie. Les 845 GHz sont obtenus à -55°C . Mais, à 25°C , ce transistor hors norme affiche tout de même 765 GHz. Milton Feng en est sûr: le térahertz est à portée...

■ SANS-FIL

L'invasion des puces commu

Dans leurs laboratoires de recherche, de grands noms de l'informatique préparent les prochaines générations de puces à radiofréquences, qui devraient être présentes dans toutes sortes d'objets de notre quotidien.

Attention, les puces communicantes arrivent! En fait, l'invasion a déjà commencé... Ces circuits électroniques, capables de dialoguer sans fil, par ondes radio, avec divers appareils, se sont infiltrés dans certains de nos objets usuels, notamment grâce au fameux RFID (*Radio Frequency Identification*, ou système d'identification par fréquences radio). C'est cette technologie qu'on trouve dans le passe Navigo de la RATP et dans de nombreux autres badges d'accès (ces petits pendentifs qui ouvrent des portes de bâtiments protégés ou

privés), les clés électroniques des automobiles dernier cri ou même les marqueurs sous-cutanés qu'on pose sur des animaux de compagnie.

Miniatures et surdouées

C'est encore elle qui se niche dans les étiquettes, dites intelligentes, collées sur les livres et les disques de certaines bibliothèques (pour gérer les prêts) et qu'on trouvera demain sur les produits vendus en hypermarchés afin de payer sans déballer le contenu de son chariot.

Tous ces systèmes reposent sur le même principe: la réunion

d'une puce et d'une antenne. Ils se différencient par leur capacité de traitement et de stockage, mais aussi par leur portée et leur débit; des caractéristiques qui dépendent des technologies employées pour les circuits intégrés et des fréquences utilisées pour les ondes (de quelques kilohertz pour les dispositifs à faible portée jusqu'à plus de 2 GHz pour les dispositifs longue distance).

C'est en travaillant sur ces points que les scientifiques concoctent de nouvelles générations de puces communicantes: beaucoup plus petites, pour pouvoir

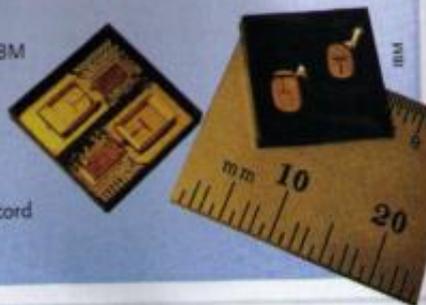
être intégrées à n'importe quel objet, dotées d'une plus grande mémoire, pour y stocker davantage d'informations ou à très haut débit, pour transmettre rapidement de gros volumes de données (plus la fréquence utilisée pour la communication par ondes radio est élevée, plus sa longueur d'onde est courte, et plus l'antenne est petite). Les prototypes, qui existent dans les laboratoires de recherche (voir encadrés) laissent augurer des puces communicantes miniatures surdouées. ■

Hautes fréquences

Voici une puce qui pourrait reléguer définitivement tous les câbles au grenier! De la taille d'une pièce de monnaie (14 mm de côté), le prototype réalisé par IBM, avec son antenne intégrée, est censé pouvoir transférer des données sans fil à la vitesse record de 1,5 Gbit/s (soit 192 Mo/s). A titre de comparaison, la future norme Wi-Fi 802.11n permettra de concevoir des appareils communicants dont le débit théorique n'excédera pas 600 Mbit/s (75 Mo/s). La puce d'IBM est composée de silicium-germanium. C'est grâce à cet alliage de semi-conducteurs que l'exploit a été réalisé. Il permet d'augmenter de 80 % la fréquence des circuits intégrés, tout en réduisant de 50 % leur consommation électrique. Le prototype du constructeur américain atteint ainsi une fréquence d'émission de données par ondes radio de 60 GHz. D'où

son débit très élevé, qui devrait permettre par exemple la transmission sans fil de vidéos en haute définition (TVHD) sur une distance maximale de 10 m, par exemple depuis un ordinateur vers un téléviseur... mais pas avant trois ans.

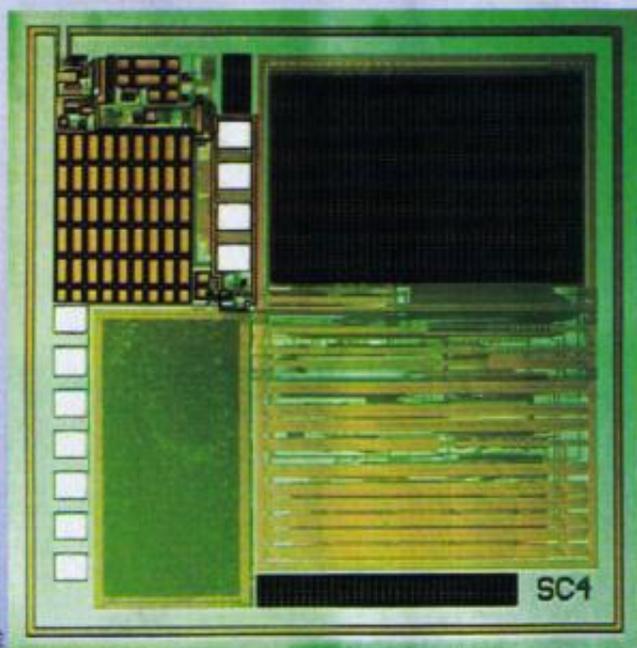
> **Plus rapide que le Wi-Fi.** IBM a réussi à placer un transmetteur, un récepteur et deux minuscules antennes sur l'équivalent de la surface d'une pièce de monnaie, pour envoyer des données à la vitesse record de 1,5 Gbit/s.



nu nicantes

Grain de mémoire

Une puce de silicium, de la taille d'un grain de riz (2 mm sur 4), pouvant stocker jusqu'à 500 Ko de données – soit plusieurs pages de texte ou quelques images basse définition – et les transmettre,



par les airs à la vitesse de 1,25 Mo par seconde – soit dix fois plus vite qu'avec la technologie Bluetooth! Le tout sans aucune source d'alimentation interne: c'est le champ électromagnétique des périphériques communiquant avec la puce qui fournit à cette dernière l'énergie dont elle a besoin pour crypter et faire transiter sans fil ses informations. Ce qui n'est encore qu'un prototype aujourd'hui, répondant au nom de *Memory Spot*, a été mis au point par les laboratoires de recherche du géant américain HP. Plus qu'une simple puce RFID passive, il s'agit d'un ordinateur miniature, doté d'un processeur, d'une mémoire Flash, d'un module de communication et d'une antenne pour émettre sur la bande de fréquence des 2,45 GHz. Il ne sera pas commercialisé avant deux à cinq ans. *Memory Spot* pourra alors être collé ou incorporé à tout objet, y compris les plus minces (carte postale, étiquette, bracelet d'hôpital, etc.), auquel on souhaite associer un texte, un son, voire une vidéo, car sa mémoire devrait alors avoir augmenté. Pour lire la puce, ou en modifier le contenu, il suffira de disposer d'un périphérique de lecture-écriture adéquat, incorporé par exemple à un téléphone mobile, un ordinateur portable ou un appareil photo.

> **Ordinateur en capsule.** Ce n'est pas une simple puce RFID passive: le laboratoire de recherche de HP a mis au point un véritable ordinateur miniature, doté d'un processeur, d'une mémoire Flash et d'un module de communication.

Poussière identifiable

Avec des côtés ne mesurant que 0,15 mm et une épaisseur n'excédant pas 7,5 µm (7,5 millièmes de millimètre), la µ-chip (mu-chip), d'Hitachi, est la plus petite puce à radiofréquence (RFID) du monde! Quatre fois plus petite que sa grande sœur du même nom, mise au point en 2003, par le même Laboratoire central de recherche japonais. Pour arriver à un tel résultat, les chercheurs ont tiré parti d'une technologie innovante, déjà utilisée pour fabriquer certains processeurs d'ordinateurs: le SOI (*Silicon On Insulator*). Elle consiste à placer une couche d'isolant (saphir, air ou dioxyde de silicium) entre deux couches de silicium de quelques nanomètres d'épaisseur et à se servir du tout comme support du circuit intégré. L'intérêt: cela renforce l'isolation des composants du circuit. Hitachi a ainsi pu graver les transistors de la µ-chip très près les uns des autres, à côté d'une minuscule antenne prévue pour émettre sur la bande de fréquence des 2,45 GHz,

et réduire ainsi de manière drastique la taille de sa puce. A tel point qu'elle peut très facilement être insérée dans une feuille de papier: un billet, par exemple... Il suffit de placer un périphérique de lecture ad hoc à moins de 30 cm de la puce, quasiment invisible à l'œil nu, pour lire son numéro d'identification codé sur 128 bits.

> **Record de miniaturisation.** Les chercheurs d'Hitachi se sont appuyés sur les dernières technologies en matière de conception de processeurs pour mettre au point la plus petite puce à radiofréquences du monde.

■ BATTERIES

Recharge accélérée et autonome



> Recharge express. Grâce à ses électrodes en plastique, la batterie de l'université Brown se recharge en quelques minutes seulement.

Plus petites, plus puissantes et plus endurantes, les batteries de demain devront leurs performances à leurs électrodes conçues avec des matériaux pour le moins originaux.

De l'avis de scientifiques, les batteries rechargeables actuelles ont atteint leurs limites. En puissance, en coût de fabrication, en durée de vie, mais également en confort d'utilisation : il faut les recharger fréquemment et pendant plusieurs heures... Ce ne sont pas les possesseurs de PC portables, de mobiles, de PDA ou de baladeurs qui les contrediront ! La pile à combustible devrait permettre de repousser ces limites (voir page 31), ce qui lui vaut

d'être considérée comme la batterie du futur. Mais des chercheurs continuent de miser sur les batteries traditionnelles et les perfectionnent... en attendant la génération suivante. La pile à combustible aura alors probablement des concurrents. Certains scientifiques parient sur les accumulateurs électriques comme les condensateurs (ou les supercondensateurs). On trouve ce genre de composant dans le matériel électronique. Le principe consiste à

emmagasiner de l'électricité entre deux électrodes (alors qu'une batterie traditionnelle utilise des réactions chimiques pour générer un flux d'électrons).

Nouvelles électrodes

Ce sont d'ailleurs ces électrodes qui font l'objet de toute leur attention, car elles influent directement sur la capacité de stockage d'un accumulateur. Leur taille et leur nature conditionnent en effet la quantité d'électricité emprisonnée ainsi que la durée de rétention. Car les condensateurs ont une fâcheuse tendance à laisser filer leurs électrons. Sans s'être donné le mot, des chercheurs français et américains ont ainsi

eu la même idée : utiliser de nouveaux matériaux pour fabriquer ces électrodes. Mais ils ont suivi des pistes différentes : des algues au CNRS, des nanotubes au MIT et du plastique à l'université Brown...

Leurs premiers prototypes permettent d'envisager la réalisation d'accumulateurs plus petits que les batteries rechargeables actuelles, jusqu'à cent fois plus puissants, capables de se recharger en quelques instants et à l'autonomie plus importante. Ils s'avèreront aussi plus économiques à fabriquer, mais aussi plus écologiques, car sans métaux lourds, dangereux à manipuler et nuisibles à l'environnement, comme le lithium. ■

on omie augmentée

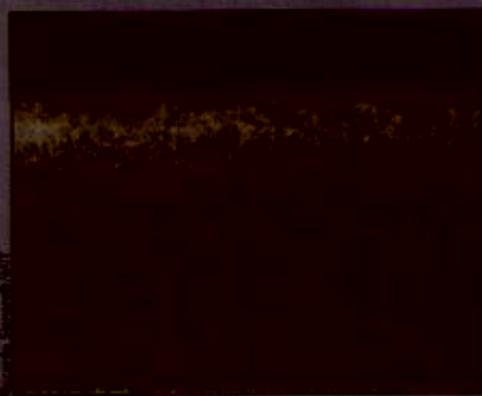
Dopées aux plastiques

Incroyable, mais vrai : une batterie qui se charge aussi rapidement qu'un condensateur... et qui utilise du plastique comme conducteur électrique ! Tel est le fruit des recherches menées par l'université Brown, de Rhode Island. Pour arriver à un tel exploit, les scientifiques américains ont mélangé deux plastiques différents – des polymères découverts par les trois prix Nobel de chimie décernés en 2000 – à une substance qui en rectifie les propriétés. Une bandelette de film plastique recouverte d'or a été enduite de l'un des polymères modifiés et une seconde, de l'autre. Les deux bandelettes ont été serrées l'une contre l'autre, simplement séparées par une fine membrane isolante. Résultat : non seulement ce prototype de batterie se charge en quelques minutes, mais il est également plus petit qu'une pile alcaline standard, pour une puissance cent fois supérieure !

Gonflées aux nanotubes

Le condensateur de l'Institut de technologie du Massachusetts (MIT) serait plus puissant qu'une batterie de même taille ! Quand on sait que les condensateurs actuels les plus performants stockent vingt-cinq fois moins d'énergie qu'une batterie chimique de taille équivalente, on mesure la portée du projet sur lequel travaille le MIT. L'idée des chercheurs américains ? Recouvrir les électrodes des condensateurs de millions de petits tubes de carbone, trente mille fois plus fins qu'un cheveu : des nanotubes. Ce procédé pallie le principal handicap du condensateur : sa capacité à stocker l'énergie est proportionnelle à la superficie de ses électrodes, ce qui, autrement dit, signifie que plus ses électrodes sont petites, moins il peut stocker d'électricité. En les recouvrant de nanotubes, on augmente leur surface,

un peu comme une serviette-éponge qui, grâce à ses fibres alvéolées, arrive à contenir beaucoup plus d'eau qu'un simple morceau de tissu. Avec pour résultat d'accroître considérablement la capacité de stockage du condensateur.



> Chargé à bloc. Les millions de nanotubes en carbone tapissant chaque électrode du condensateur du MIT transforment ce dernier en véritable éponge électrique.

Nourries aux algues



> C'est une algue de la même famille que celle-ci (la variété est tenue secrète) qui permet de fabriquer les électrodes incroyables du CNRS.

Un supercondensateur qui conserverait 85 % de sa capacité nominale après avoir été rechargé 10 000 fois, soit une durée de vie au moins dix fois supérieure à celle d'une batterie au lithium : voilà le résultat auquel est arrivé le Centre de recherche sur matière divisée (CRMD), une unité mixte du CNRS et de l'université d'Orléans. Pour y parvenir, l'équipe de chercheurs, dirigée par François Béguin, s'est tournée vers la mer, et plus particulièrement vers les algues.

Car l'acide alginique, une substance fibreuse située dans leur paroi cellulaire, offre une propriété intéressante : il est naturellement riche en oxygène et le demeure après avoir été réduit par cuisson à l'état de charbon. Plus riche encore que le charbon actif, le composant principal des deux électrodes d'un supercondensateur traditionnel ! Or, l'oxygène emprisonné dans ces électrodes leur permet d'absorber le courant plus facilement. Les chercheurs ont vérifié leurs théories en utilisant des sels d'acide alginique (alginates de sodium) carbonisés pour fabriquer des électrodes. Sachant que l'extraction de l'alginate de sodium est une activité qui bat déjà son plein (les industries agroalimentaire et pharmaceutique en englobent plus de 20 000 tonnes chaque année), que sa transformation en charbon coûte moins cher que la production de charbon actif et qu'elle est plus écologique, l'utilisation d'algues pourrait bien se généraliser.

ROBOTIQUE

Le règne des animats

Perfectionnés au point de saisir des matériaux fragiles et de prendre des décisions en imitant des organismes vivants, les robots seront des dizaines de millions en 2010. Et certains, minuscules, ne seront même pas visibles.

Certains ont deux jambes, deux bras et une tête, d'autres des dizaines de pattes, des pinces et deux antennes. Certains sont uniquement domestiques: ils amusent les enfants, comme le chien Aibo, de Sony, font la bonne à tout faire, comme Wakamaru, ou l'hôtesse d'accueil, comme Asimo et Ubiko. D'autres sont conçus pour travailler, comme HRP-3P, qui remplace l'homme en milieu hostile, ou Roomba, l'aspirateur, et son petit frère Scooba, le nettoyeur de sols. Ce sont les robots. Ils sont 1,5 million sur Terre aujourd'hui et devraient être près de 6 millions l'année prochaine.

Toutefois, les scientifiques ont encore bien du pain sur la planche. Ainsi, le seul fait de faire saisir un objet par une main robotique est complexe. La force doit être correctement répartie entre chacun des doigts, afin de ne pas déformer l'objet et la prise, et sûre, afin d'éviter les phénomènes d'éjection.

La 100G Hand, de l'université d'Hiroshima, est capable de prendre un objet de plusieurs manières, par le dessus, par le dessous, en le faisant pivoter et même de le rattraper lorsqu'elle le fait tomber. Le Laboratoire de mécanique des solides de l'université de Poitiers a, lui, conçu une main à quatre doigts dotée de seize articulations commandées séparément. Résultat: elle sait tenir une cigarette ou présenter ses doigts pour recevoir un coup de règle!

La main de l'université du Michigan a, quant à elle, été conçue pour effectuer des tou-

chers mammaires à la recherche d'une tumeur. Et les scientifiques cherchant à imiter des organes vivants ne s'arrêtent pas à la main: ceux de l'université de Bristol ont conçu un estomac pour leur robot. Celui-ci se nourrit de mouches, littéralement digérées par des bactéries, qui métabolisent les sucres contenus dans les insectes et rejettent... des électrons fournissant de l'énergie au robot!

Un filon: imiter les animaux

Il ne suffit pas de doter les robots d'organes ultraperfectionnés, encore faut-il qu'ils puissent agir avec un minimum de discernement. L'une des pistes les plus sérieuses réside dans le biomimétisme: en clair, la copie du vivant.

Dans une fourmilière, par exemple, aucun insecte ne dispose de toutes les informations sur sa colonie. Pourtant les fourmis arrivent à agir efficacement et de concert. Le Centre de recherches sur la cognition animale de Toulouse a conçu des robots, qu'il a introduits dans une fourmilière afin de leur apprendre à « penser » comme des fourmis. Pour explorer Mars par les airs, le robot Entomopter, conçu à l'Institut de recherche technologique de Georgie, intéresse beaucoup la Nasa. Son déplacement est calqué sur celui de la libellule.

Le biomimétisme peut être poussé bien plus loin. A Paris, le laboratoire AnimatLab étudie, comme son nom l'indique, des animats. Il s'agit d'abord d'imiter le comportement des animaux



> Pour concevoir un robot volant, il suffit de copier la nature! Des chercheurs américains se sont inspirés de la libellule pour leur Entomopter, que la Nasa embarquerait bien sur Mars...

pour en reproduire en partie l'intelligence. Les logiciels qui équipent ces robots sont tous des réseaux neuronaux, dont le fonctionnement est inspiré de celui des véritables neurones. L'avantage sur la programmation classique est considérable: ces réseaux neuronaux sont capables d'apprendre par eux-mêmes, au moins dans le domaine qu'on leur a assigné. Par exemple, un des animats a appris tout seul à marcher avec six pattes.

Bien sûr, un informaticien aurait pu en faire autant avec un logiciel classique, mais son robot hexapode n'aurait pas su quoi faire si jamais il perdait l'une de ses pattes. L'animat, lui, a une solution: il modifie

aléatoirement les connexions des neurones (les chercheurs parlent de mutations) jusqu'à trouver une méthode qui fonctionne. Il lui faut quelques heures pour apprendre à marcher avec cinq pattes sans l'aide d'un programmeur. Si une des pattes flanche, quelle qu'elle soit, il parviendra de la même manière à récupérer la motricité avec les quatre qui restent. Et ainsi de suite: le chercheur responsable de cette étude est descendu jusqu'à... une patte. En se traînant, l'animat parvenait encore à se déplacer.

Vers l'infiniment petit

A l'instar de l'électronique, les robots vont bénéficier des progrès réalisés dans la miniaturisation. Les chercheurs de l'université du New Hampshire ont ainsi réussi à concevoir un robot de 300 μm de longueur (soit 0,3 mm) pour quelques micromètres d'épaisseur. Equipé d'un gouvernail en silicone, il peut se déplacer dans l'air à une vitesse de 200 micromètres par seconde, soit près de 15 millimètres par minute! Ces robots ressemblent à ce qu'on appelle les poussières intelligentes, ou *smart dust*, minuscules machines équipées d'un capteur et capables de communiquer entre elles en réseau. Dispersées sur une forêt, elles déclencheraient l'alarme en cas d'incendie. Lâchées sur un champ de bataille, elles détecteraient les mouvements de troupes.

A Herzig/Courtesy Biologically Inspired Robotics Group, EPFL

> Salamandra robotica sort de l'eau et passe de la nage par ondulation à la reptation. Ses concepteurs ne lui ont pas enseigné ce comportement: il découle du fonctionnement spontané de ses deux circuits nerveux locomoteurs.

Un sacré avantage pour des robots explorateurs isolés sur une planète lointaine!

Intelligent?

Dans le même laboratoire, des robots ont appris à piloter un dirigeable et un hélicoptère en vol stationnaire ou encore à faire tenir une tige – et même deux! – en équilibre sur le bout d'un doigt. Ces robots-là ne sont que virtuels: ils n'existent que par leur image sur l'écran de l'ordinateur. Leur logiciel pourrait cependant tout aussi bien être implanté sur un véritable robot en chair et en os, pardon, de métal et de fils électriques. Mais des robots bien réels, se déplaçant sur des roues, apprennent eux-mêmes à trouver leur nour-

riture (de l'électricité) ou à exécuter d'autres tâches.

Toujours dans le même laboratoire, on met au point des animaux bien plus évolués. Psikharpax est un rat qui fouine dans son environnement et se comporte comme son modèle vivant. Robur est un animat volant. Il prend de nombreuses formes, sustenté par un ballon ou par des ailes, fixes ou battantes. Là aussi, ces Robur doivent apprendre par eux-mêmes à voler, à naviguer et à éviter les obstacles.

Ils apprennent par expérience personnelle, mais aussi par l'évolution. Car les réseaux neuronaux permettent aussi d'imiter cette force extraordinaire de la sélection qui permet aux organismes vivants de se différen-

cier à l'infini. Après mutations aléatoires, des réseaux neuronaux à l'origine identiques deviennent différents les uns des autres. On peut les mélanger puis, après essais, ne retenir que les formes les plus efficaces. Explorée depuis des années, cette voie de recherche commence à donner des résultats tangibles.

Des animats volants, mais virtuels, peuvent déjà servir dans un jeu vidéo, où ils deviennent des êtres secondaires, qui se baladent dans la scène à leur propre guise. Ils peuvent aussi devenir des ennemis dans un logiciel servant à l'entraînement des pilotes militaires. Ils seront autonomes et se déplaceront de manière inattendue.

L'alternative au biomimétisme, c'est le mimétisme tout court! Un robot peut-il apprendre, comme savent le faire les êtres humains et les chimpanzés, en regardant faire quelqu'un qui sait? Oui! répondent les ingénieurs. Et ils l'ont prouvé... Pour programmer ses robots ouvriers, la société norvégienne PPM les a équipés de deux caméras. Les robots regardent tout d'abord un humain réaliser une opération et un programme se charge ensuite de convertir les informations recueillies en instructions interprétables. Impressionnante, cette méthode est surtout intéressante en ce qu'elle évite l'opération longue et coûteuse de programmation étape par étape du robot. ■

■ INTERFACE HOMME-MACHINE

Des ordinateurs fins psych

Un jour, les ordinateurs seront capables de reconnaître nos émotions et de réagir en conséquence. Pour le meilleur... et pour le pire.

Lorsqu'il s'installe devant son ordinateur du Fraunhofer Institute, à Rostock, en Allemagne, Christian Peter commence par mettre un gant. Un gant truffé de capteurs afin de permettre au PC de décrypter ses émotions. Son rythme cardiaque, sa pression artérielle, la température et la conductivité de sa peau sont analysés en continu par l'ordinateur, qui évalue l'état émotif du scientifique en suivant les variations de ses paramètres physiologiques. Joyeux? Effrayé? En colère? Dans 75 % des cas, le gant détecte correctement l'humeur du chercheur allemand!

A l'ordinateur de s'adapter à l'humain

Ce n'est encore qu'un prototype, mais il n'est pas le seul dans son genre. De nombreux scientifiques espèrent rendre un jour nos ordinateurs capables de reconnaître les émotions de l'utilisateur. Cette tendance porte un nom: *affective computing*, c'est-à-dire informatique émotionnelle. Son objectif est louable. Grâce à cette capacité de compréhension, ce ne serait plus à l'humain de se plier au fonctionnement de l'ordinateur, mais à ce dernier de s'adapter au comportement humain.

Les PC de demain pourraient donc sentir quand l'utilisateur commence à s'échauffer devant son écran... et réagir avant que le clavier ne passe par la fenêtre! C'est d'ailleurs l'une des pre-

Ils transmettent nos émotions

Faire passer des émotions à travers des SMS en les parant de couleurs, de motifs et d'animations qui en disent plus long qu'un grand discours: c'est l'idée qui a guidé les scientifiques de l'université de Stockholm pour la mise au point de leur stylet sensitif, l'eMoto. Encore à l'état de prototype, l'eMoto est destiné à la saisie des SMS sur un écran de mobile. Il intègre des capteurs de pression et un accéléromètre, qui analysent les mouvements de l'expéditeur du SMS. Lorsque l'eMoto perçoit des signes d'énerverment, tels que des secousses et une forte pression, un fond violet parcouru d'éclairs accompagne le message qui doit être envoyé. Au MIT (*Massachusetts Institute of Technology*),

des chercheurs ont travaillé sur les courriels dans le même esprit: leur système, baptisé EmoteMail, repose sur une caméra qui filme l'expéditeur et des capteurs qui enregistrent sa vitesse de frappe. Les paragraphes de ses mails, qui débentent par une photo de son visage, apparaissent sur un fond plus ou moins gris, selon la vitesse à laquelle les mots ont été tapés. Le système Conductive chat, inventé par la même équipe de chercheurs, est destiné aux messageries instantanées. Il fonctionne selon un principe voisin: les messages ne sont pas ponctués par des émoticônes, mais par des indices d'excitation, de stress ou d'indifférence, qui correspondent aux variations de la conductivité de la peau de l'expéditeur.

mières applications envisagées par Christian Peter et ses collaborateurs: coupler leur gant sensitif à un logiciel qui propose son aide à bon escient, avant que l'utilisateur ne craque. Il existe d'autres dispositifs de détection des émotions, qui, en plus de recueillir des données physiologiques, surveillent des indicateurs comme l'intonation de la voix ou la physiologie de l'utilisateur. Les scientifiques équipent donc leurs cobayes de caméras, de micros et de capteurs en tout genre pour prélever ces données.

Des émotions simples reconnues, mais pas les plus complexes

Même les chaises de bureau, les souris ou les claviers peuvent devenir de précieux informateurs s'ils intègrent par exemple des détecteurs de mouvements. Des systèmes d'analyse se chargent ensuite de comparer les informations enregistrées avec des bases de données de référence. A l'heure actuelle, ces systèmes peuvent déjà reconnaître quelques émo-



Ils expriment des sentiments

Quand ils sauront reconnaître les émotions, ordinateurs et robots pourront aussi en éprouver. Pas au sens littéral du terme, bien sûr, mais ils pourront exprimer divers sentiments, consolant leur interlocuteur s'il est accablé de chagrin ou partageant sa joie s'il est heureux... La synthèse des émotions constitue, en ce sens, un volet de recherche qui complète celui de leur reconnaissance. A l'École polytechnique fédérale de Lausanne, les scientifiques du VRLab ont ainsi



The Swedish Institute of Computer Science

> **La couleur des mots.** Un SMS tapé rageusement? Le mobile le ressent et exprime cet agacement à travers un écran spécifique.

Ils imitent nos mimiques

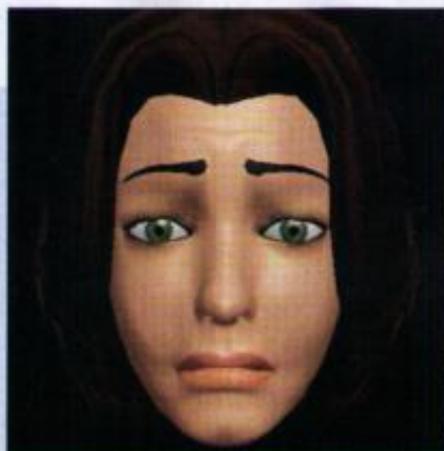
Son nom est Leonardo, et les chercheurs du MIT qui l'ont mis au point le considèrent comme le « *stradivarius des robots expressifs* ». Développé en collaboration avec un studio de cinéma hollywoodien, le Stan Winston Studio (qui a animé les créatures de *Jurassic Park*, d'*Alien*, etc.), Leonardo ressemble au gentil Gizmo des *Gremlins*: il peut apprendre des tâches basiques (appuyer sur des boutons, par exemple), saisir des objets, et il se comporte avec un naturel incroyable grâce à ses très nombreuses possibilités de mouvements et d'expressions faciales. Il renferme six moteurs contrôlant jusqu'à seize actions simultanées, un système de vision lui permettant de pister en permanence un objet ou un homme (il repère notamment les gestes et les mouvements du visage), et il possède une « peau » sensible au toucher. Cette petite peluche



> **Leonardo pas content!** Cette peluche bardée d'électronique peut observer les expressions de son interlocuteur et réagir en conséquence.

Sam Ogden/Science Photo Library/Corbis

robotisée (elle mesure 80 cm de haut) est capable d'imiter les grimaces d'un être vivant et de le regarder avec de grands yeux étonnés lorsque son interlocuteur semble s'interroger sur la marche à suivre, par exemple. Ce robot social, capable de communiquer avec les humains et d'apprendre avec eux, s'inscrit dans la lignée de Kismet, le premier robot expressif développé au MIT au début des années 2000. Kismet se résumait à une tête sur laquelle s'animaient une bouche, un nez, des sourcils, des oreilles et des yeux pour afficher sept émotions distinctes: joie, colère, tristesse, dégoût, surprise, calme et intérêt. Conçu pour apprendre comme un enfant d'un an, Kismet montrait de la joie lorsqu'il jouait avec quelqu'un, de la tristesse lorsqu'il était trop longtemps délaissé... et un certain agacement si son ami humain devenait trop collant.



C. Pelletaud/E. Bessière/M. Mionny/Université Paris 8

développé un avatar (un personnage virtuel) qui manifeste ses émotions en fonction de la nationalité de son interlocuteur: il réagit différemment pour exprimer la joie ou la tristesse, par exemple, selon la région d'Europe d'où provient la personne qui communique avec lui. De leur côté, des scientifiques de l'université de Paris 8 tentent de donner vie à Greta, un « agent conversationnel animé », qui peut déjà exprimer plus de vingt-cinq émotions et les combiner

entre elles. A terme, Greta prendra aussi en compte l'humeur de son interlocuteur: une équipe grecque associée au projet développe des outils de reconnaissance des émotions pour doter le personnage virtuel de capacités d'imitation. Ces travaux sur la synthèse des émotions devraient aussi déboucher sur des outils multimédias destinés aux sourds et muets: une tête parlante et expressive, destinée à aider les enfants à apprendre à lire sur les lèvres, devrait bientôt voir le jour.

> **Du rire aux larmes.** Greta n'annonce pas une mauvaise nouvelle en souriant béatement... Elle accompagne toujours ses propos des expressions qui leur conviennent.

Des objets très attentionnés

Dans un premier temps, les technologies de reconnaissance des émotions seront vraisemblablement utilisées pour rendre nos ordinateurs réceptifs à nos humeurs. Mais elles pourraient, à plus long terme, déboucher sur des projets plus ambitieux.

>Des environnements domotiques qui devancent nos attentes. Frédéric Vexo, chercheur au laboratoire de réalité virtuelle de Lausanne, pense que la reconnaissance des émotions pourrait donner un coup de jeune à la domotique, en permettant à notre environnement de s'adapter à nos humeurs. Une musique douce et un éclairage tamisé nous accueilleraient si nous rentrons du travail avec une allure fatiguée. Le réfrigérateur nous proposerait

un dîner en accord avec nos envies. Puis le téléviseur choisirait une comédie sentimentale, idéale après une journée harassante... quitte à changer la fin, heureuse ou triste, en fonction de nos dispositions. La publicité s'adapterait elle aussi à notre état d'esprit: chaque marque pourrait ainsi s'associer aux films qui suscitent une émotion donnée...

>Des voitures qui calment leur conducteur. L'université de Stanford et la société écossaise Affective Media ont travaillé avec Toyota sur un système de reconnaissance des émotions destiné aux conducteurs. Il est basé sur l'analyse du ton employé par le chauffeur pour passer ses commandes vocales au lecteur de CD, au système de

navigation ou de chauffage. Des signes de nervosité? De la musique douce est diffusée et le système de guidage cherche un itinéraire plus fluide... Toyota a même présenté, l'an dernier, un concept-car dont la couleur de la carrosserie change en fonction de l'humeur du conducteur: les bandes bleues du capot, synonymes de quiétude, passent au rouge si le chauffeur est nerveux.

>Des ordinateurs qui jouent les psys. C'est l'une des ambitions poursuivies par des chercheurs du MIT. Dans une nouvelle d'anticipation qu'ils viennent de publier, ils racontent comment Selene, un personnage virtuel «émotionnel», assiste une jeune femme tentant de décrocher de l'héroïne. Mais l'action se situe... en 2021!



>Elles passent au rouge! Carrosserie bleue, le conducteur est serein, rouge, il est nerveux. L'idée de Toyota paraît très séduisante... mais comment rester serein quand on croise la route d'un nerveux?

— tions manifestes: joie, surprise, dégoût, tristesse, colère et peur. Mais aucun prototype n'est encore capable de percevoir à jour des émotions complexes, ce mélange subtil de sentiments qui traversent en permanence l'individu. L'exercice est d'autant plus difficile que des lunettes à monture épaisse ou une barbe fournie perturbent sérieusement les outils d'analyse du visage! Les chercheurs le savent, la reconnaissance des émotions n'en est qu'à ses balbutiements; après tout, les humains eux-mêmes

ont souvent du mal à cerner l'humeur de leurs congénères!

L'Homme sous contrôle?

Laisser les ordinateurs ou les robots pénétrer le domaine des émotions, donc de l'intime, suscite aussi quelques interrogations légitimes. Comment être sûr que ces technologies ne seront pas employées à notre insu et à des fins discutables? Aux Etats-Unis, le laboratoire Sandia, à Albuquerque, avait déjà testé, en 2004, un système de perception des émotions

(avec caméra et capteurs physiologiques) destiné à évaluer l'état émotionnel de collaborateurs en réunion de travail ou de militaires en intervention sur le terrain. Le logiciel analysait les émotions et les communiquait à toute l'équipe: chacun pouvait alors réagir en conséquence... et notamment le chef, tenté d'écarter les collaborateurs les moins efficaces ou les plus lents à prendre une décision! De son côté, la société écossaise Affective Media (voir aussi encadré ci-dessus) a testé un système de reconnaissance des émotions

auprès d'employés de centres d'appels en analysant leur voix: ceux qui multipliaient difficilement leurs brefs avec les clients mécontents se sont vu proposer une formation. Mais Affective Media va plus loin en mettant son système à disposition des responsables de centres d'appels qui veulent évaluer le niveau de concentration de leurs téléopérateurs! Une application dont la fiabilité semble douteuse à l'heure où de nombreux chercheurs s'accordent à dire que la reconnaissance des émotions n'en est qu'à ses débuts. ■

■ INTERFACE HOMME-MACHINE

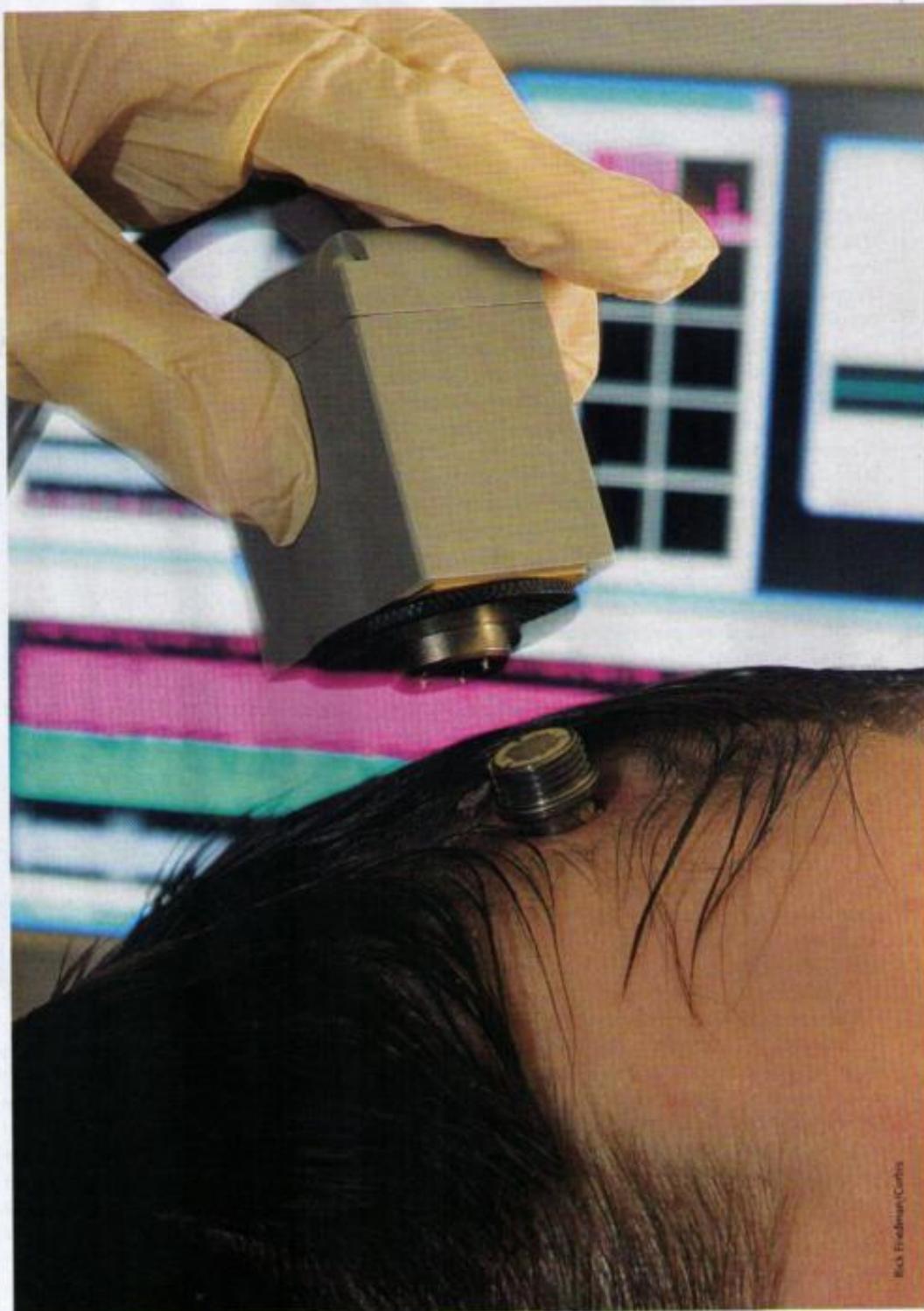
Je pense donc l'ordinateur me suit

De récentes expériences ont réussi à faire interpréter par les machines des ordres venus du cerveau ou du système nerveux. L'objectif est de mieux utiliser les ordinateurs, mais aussi d'aider les personnes handicapées.

Contrôler un ordinateur par la pensée: cette piste de recherche, a priori saugrenue, a fait d'étonnants progrès. On ne peut toujours pas remplir un tableau Excel en pensant très fort aux données qui doivent être saisies dans les cellules, mais les chercheurs savent déjà commander des muscles et des robots à l'aide de signaux cérébraux envoyés sur un PC pour réaliser une BCI (*Brain Computer Interface*).

Mesure de l'activité électrique du cerveau

Les expériences reposent sur le même principe: des électrodes placées sur le crâne captent et transmettent les impulsions électriques du cerveau à un appareil d'acquisition de signal. Cet outil, généralement un électroencéphalogramme (le magnétoencéphalogramme, le spectroscopie en proche infrarouge ou l'imagerie fonctionnelle par résonance magnétique sont aussi utilisés dans ce genre d'expériences) amplifie l'activité électrique du cerveau, la mesure précisément et la transmet à un ordinateur. Un logiciel analyse ce signal et repère. — — —



— — — parmi toutes les fréquences, celles qui correspondent au désir d'effectuer une certaine action (un mouvement, par exemple). L'ordinateur envoie alors un autre signal vers le moteur d'un robot pour exécuter cette action, ou encore vers un muscle s'il s'agit d'une prothèse pour un handicapé moteur.

La physiologie du cerveau explique la possibilité de ce principe: environ une demi-seconde avant le déclenchement d'un mouvement musculaire, certaines zones du cerveau génèrent des signaux électriques particuliers. Il suffit donc de les repérer.

Méthode prometteuse, mais à parfaire

Prometteuse, cette méthode s'appuie sur un dispositif qui mérite encore des améliorations. Tout d'abord, bien qu'il existe des systèmes d'acquisition d'ondes cérébrales non invasifs (sans intervention chirurgicale), la précision et la fiabilité de l'analyse ne sont pour l'instant suffisantes qu'à l'aide d'électrodes implantées dans le crâne. La banalisation de la BCI chez les utilisateurs de micros attendra donc un peu...

Même s'il s'agit d'une prothèse, il reste le problème du rejet de l'électrode, perçue par le système immunologique comme un corps étranger. En outre, les signaux récupérés par ces électrodes ne sont pas facilement lisibles. Leur faible amplitude (de l'ordre du millionième de volt) et leurs fréquences basses (5 à 40 Hz) n'aident pas l'ordinateur à reconnaître, parmi tous les signaux, ceux qui correspondent à une action donnée.

De plus, les programmes des chercheurs sont conçus pour un individu particulier. Chaque personne possède en effet une « signature électrique » qui lui est propre. Quand Paul pense à bouger la main droite, les composantes de son signal électrique ne sont pas celles de Pierre lorsqu'il fait la même chose. Pire, un programme laborieusement mis au point ne restera

pas longtemps fonctionnel, car cette signature évolue dans le temps: le signal généré par le cerveau de Paul quand il bouge sa main droite ne sera probablement plus exactement le même l'année prochaine...

Ces difficultés expliquent en grande partie le faible « taux de communication » entre le cerveau et l'ordinateur qu'on peut attendre des BCI. Les chercheurs parviennent à donner, au maximum, une trentaine d'ordres simples par minute à la machine. Même à l'horizon d'une dizaine d'années, il ne faut pas s'attendre à un contrôle de l'ordinateur par la pensée aussi efficace et précis qu'une souris, un clavier ou un joystick. Les spécialistes espèrent parvenir à effectuer des tâches simples comme sélectionner des icônes ou du texte, mais pas à effectuer des manœuvres complexes comme le dessin, qui implique un mouvement de la souris très précis.

De la thérapie au contrôle de la pensée

Si ces recherches se heurtent à des problèmes physiologiques, elles soulèvent aussi des problèmes d'ordre éthique. Certains chercheurs se sont en effet penchés sur le décryptage des signaux cérébraux à l'aide d'un ordinateur dans un but qui n'a rien à voir avec l'aide aux personnes handicapées. La Nasa a ainsi mis au point un logiciel qui permet d'interpréter les signaux nerveux envoyés aux cordes vocales lorsqu'une personne se parle à elle-même. Ce système fonctionne à l'aide de capteurs placés au niveau de la pomme d'Adam. Il ne reconnaît, pour l'instant, que six mots et dix chiffres.

Toujours aux Etats-Unis, Lawrence Farwell, spécialiste en neurosciences, a mis au point une version plus fiable du détecteur de mensonges, baptisé Mermer. En analysant une onde particulière de la mémoire, son système détecte si une image, une phrase, un objet présenté à une personne est déjà enregistré

Secondar des mains occupées

A l'occasion du salon Presence 2005, à Londres, Gert Pfurtscheller, de l'université de Graz en Autriche, a exposé son casque virtuel. Une de ses étudiantes, coiffée de ce casque, restait immobile, tandis que devant ses yeux et ceux des spectateurs, un paysage virtuel défilait selon les directions qu'elle décidait d'emprunter: aller tout droit, à droite, à gauche ou rester sur place. Ce n'est pas le seul exemple: un autre casque de ce type a été conçu pour jouer, sans bouger, au fameux jeu vidéo Pong. Mais, pour l'instant, aucun de ces appareils n'est capable de traduire plus de quatre commandes. Difficile dans ces conditions d'envisager la mise au musée de la souris ou du clavier! En revanche, selon Touradj Ebrahimi, professeur à l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), ces casques peuvent déjà être utilisés en complément: « C'est une autre voie de communication avec la machine qui permettra de commander plus de choses en même temps. Les recherches menées par la base de l'armée de l'air américaine de Wright Patterson, par exemple, ont pour but de permettre aux pilotes de chasse, dont les mains sont toujours occupées, de commander plus précisément leur avion. »

> **Quatre mouvements.** Le casque conçu par Gert Pfurtscheller, de l'université de Graz, permet de se diriger dans un paysage virtuel, sans bouger de son fauteuil.



dans sa mémoire. Autrement dit, ce système permet de savoir ce qu'on sait! Reconnu comme élément de preuve par la Cour suprême de l'Iowa, le Mermer a permis d'innocenter un détenu incarcéré depuis vingt-six ans en 2003 et d'en confondre un autre, quinze après les faits, en 2004. Ravi de cette découverte,

la CIA finance le laboratoire du Dr Farwell tandis que le FBI a dépêché un de ses agents dans l'équipe.

Si le contrôle d'un ordinateur par la pensée laisse envisager des améliorations dans notre vie quotidienne, le contrôle de la pensée par ordinateur est, lui, beaucoup plus inquiétant. ■

Remplacer des mains paralysées

Les recherches sur les interfaces cerveau-ordinateur s'adressent, en priorité, aux personnes handicapées. En 2003, à l'université de Duke, en Caroline du Nord, un singe a contrôlé un bras robotisé sans lever la moindre patte, juste par la pensée. Dans un premier temps, l'équipe de Miguel Nicolelis a appris à l'animal, dont le cerveau était relié à un ordinateur par une série d'électrodes, à manipuler un bras articulé à l'aide d'un joystick.



> En 2003, Miguel Nicolelis et son équipe de l'université de Duke ont appris à un singe à contrôler un bras robotisé par la pensée.

Ce bras robotisé, situé derrière une vitre, était lui aussi connecté à l'ordinateur. Les signaux électriques que le cerveau du singe générait pour effectuer ces gestes ont été détectés et enregistrés. Les chercheurs ont alors supprimé le joystick. Malgré cette absence, chaque fois que le singe pensait à faire bouger le bras articulé, son cerveau générait les mêmes signaux que s'il s'apprêtait à commander le joystick (les êtres humains fonctionnent de la même manière). Les capteurs pouvaient alors repérer cette volonté d'action, et l'ordinateur pilotait le bras en conséquence. C'est aussi

en 2003 que les chercheurs autrichiens de l'université de Graz ont réussi à faire bouger Tom, un jeune tétraplégique. Les chercheurs

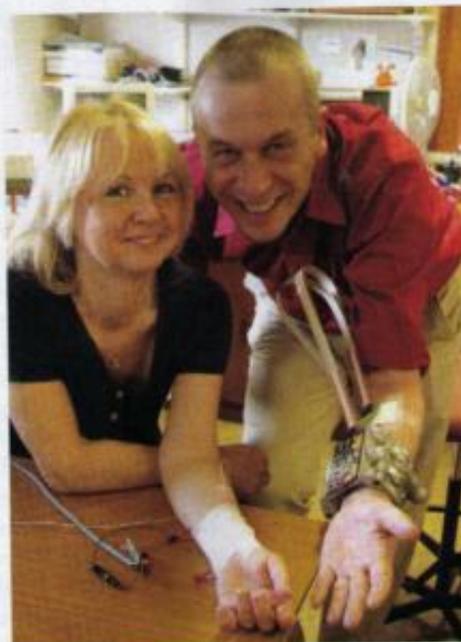


> Toujours en 2003, grâce aux chercheurs de l'université de Graz, en Autriche, Tom, un jeune tétraplégique, a réussi à bouger ses membres.

ont implanté dans son cerveau des électrodes chargées de capter des impulsions électriques et de les transmettre à un appareil d'acquisition du signal. Après les avoir amplifiées, l'appareil les transmettait à un ordinateur. Chaque fois que la machine repérait, parmi toutes les fréquences, celles qui se rapportaient au désir du mouvement souhaité – en l'occurrence saisir un objet –, l'ordinateur envoyait un autre signal, qui stimulait électriquement les muscles de Tom et lui permettait d'attraper l'objet. Enfin, fin 2004, Joseph Pancrazio, chercheur à l'université de Wisconsin-Madison, est parvenu à faire déplacer le curseur d'un écran à des personnes victimes d'attaques cérébrales, par leur seule volonté.

D'un cerveau à l'autre

Dès 1998, Kevin Warwick, chercheur à l'université anglaise Reading, s'est fait greffer une puce munie d'un émetteur-récepteur radio sous la peau. Cette puce permettait à un ordinateur de détecter, via une liaison radio, la présence du chercheur dans l'université et de déclencher sur son passage l'ouverture de portes, l'allumage de lampes, la mise en route de son ordinateur, etc. En 2002, Warwick s'est à nouveau fait greffer un implant électronique dans son bras gauche. Un ordinateur captait, à distance, l'activité de ses nerfs, et la machine utilisait ce signal pour faire bouger un fauteuil roulant ou actionner une main articulée. En 2003, la femme du chercheur s'est elle aussi prêtée à l'expérience. Deux microélectrodes ont été implantées dans le nerf médian de son bras gauche. Lorsqu'elle bougeait



> Le couple Warwick est à la pointe de la recherche sur «l'homme cyborg». Grâce à des puces implantées dans leurs bras respectifs, Kevin Warwick, chercheur à l'université Reading, parvient à ressentir les mouvements de son épouse, et bientôt ses émotions.

ses doigts, les signaux émis par son nerf étaient recueillis par un ordinateur, qui les transmettait ensuite à la puce implantée dans le bras de son mari, stimulant son système nerveux. Après avoir réussi à ressentir les mouvements effectués par sa femme, Warwick tente à présent de capter ses émotions, en commençant par la douleur. Persuadé que nous pourrions un jour communiquer directement d'un cerveau à l'autre, le chercheur – qui revendique la paternité de «l'homme cyborg» – n'hésite pas à prédire que le langage est un moyen de communication voué à disparaître.

■ CIRCUITS

Le royaume du minuscule

A l'échelle du milliardième de millimètre, c'est sous le microscope électronique que se découvre l'avenir des nouvelles technologies. Un avenir peuplé de nanotubes, appelés à devenir le nouveau matériau universel.

Près de 105 cm de diagonale pour seulement 20 mm d'épaisseur: ce sont les dimensions de l'écran du futur, le Ned (*Nano Emissive Display*), de Motorola. Son secret: il est composé de millions de tubes microscopiques, des nanotubes de carbone. Mesurant un nanomètre de diamètre, ces tubes sont formés d'atomes de carbone répartis sur une plaque de verre. Lorsqu'ils sont chargés négativement, ils émettent des électrons, qui déclenchent l'émission de lumière par des éléments phosphorescents placés sur une seconde plaque de verre. En fait, le principe ressemble à celui d'un tube cathodique (des électrons frappent la surface interne de l'écran), mais à une échelle microscopique. L'intérêt principal: l'écran est très fin et affiche des images en très haute définition.

Assembler atomes et molécules

Découverts en 1991, les nanotubes sont devenus de véritables vedettes des nanotechnologies, qui travaillent à l'échelle du nanomètre et qui consistent en un assemblage de briques élémentaires (des atomes, des molécules) pour former – entre autres – des circuits électroniques. On ne cesse de trouver de nouvelles applications à ces nanotubes, composés d'un feuillet d'atomes de carbone refermé sur lui-même en forme de cylindre. Certains veulent les faire pousser sur une plaque métallique pour obtenir une version minia-

ture de ces radiateurs qu'on colle sur les processeurs pour en dissiper la chaleur. D'autres les imaginent en éponge à électrons dans les batteries de nouvelles générations (voir page 50). Au Japon, l'université d'Osaka a découvert que des nanotubes pouvaient ne conduire l'électricité que dans un seul sens: voilà de quoi réaliser une diode. Dans d'autres laboratoires, les nanotubes deviennent des filtres pour purifier l'eau ou encore des capteurs olfactifs.

En remplacement des transistors

Les dimensions microscopiques des nanotubes n'empêchent pas de leur prédire des applications de grandes tailles puisque certains rêvent d'un câble en nanotubes qui servirait... à un ascenseur spatial pour faire la navette entre la surface et l'espace! Plus terre à terre, la société Nantero espère réaliser des mémoires, qu'elle baptise NRAM (Nano-Ram). Les nanotubes sont placés à quelques nanomètres au-dessus d'une électrode, à la manière d'un pont au-dessus d'une rivière. Si aucune tension n'est appliquée à l'électrode, les nanotubes restent droits, ce qui indique un 0. Lorsqu'une faible tension parcourt l'électrode, les nanotubes s'affaissent et touchent l'électrode, ce qui ferme le circuit électrique, symbolisant le 1. Une fois ce changement

opéré, le nanotube reste collé à l'électrode. Il conserve ainsi l'information en dehors de toute alimentation. La NRAM est donc une mémoire permanente, comme toutes celles auxquelles pensent les chercheurs pour remplacer la Ram (voir page 54). Dans le prototype, la capacité de cette mémoire en carbone se mesure en dizaines de mégabits sur une surface d'un centimètre carré, mais elle pourrait atteindre des centaines de gigaoctets. Matériau universel, les nanotubes pourraient même remplacer les transistors, qui constituent aujourd'hui la base des

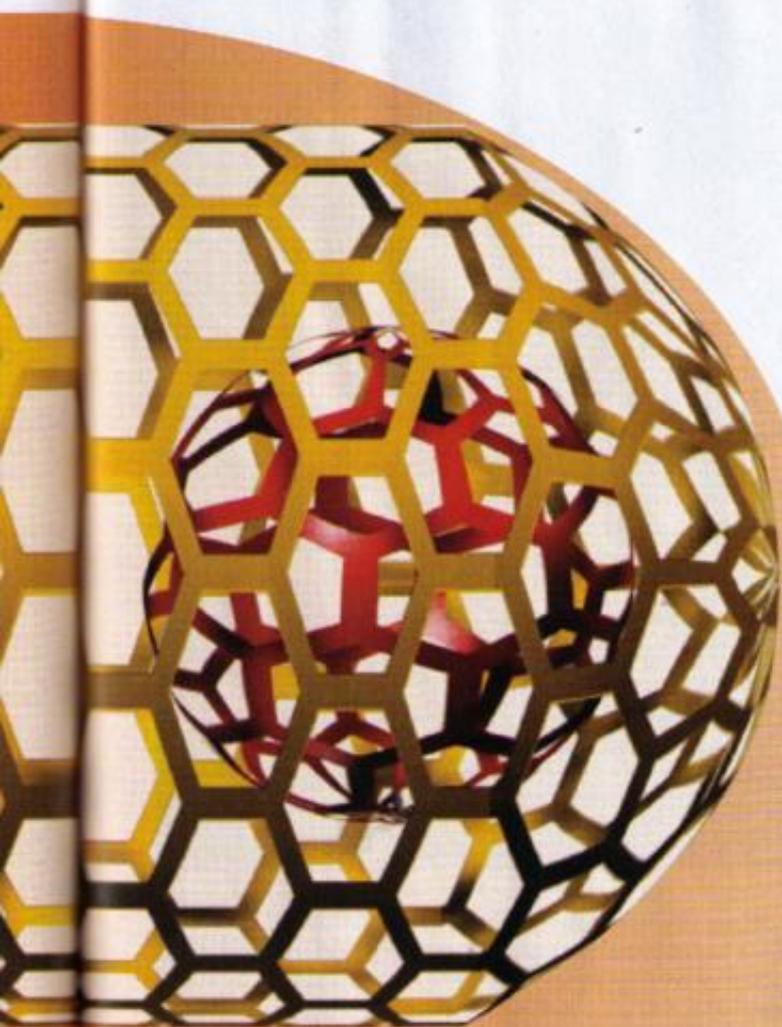
circuits intégrés. Des chercheurs de l'université de Californie ont conçu des nanotubes un peu particuliers en ajoutant des particules de titane et de fer aux atomes de carbone. Ils ont ainsi créé un nanotube ayant la forme d'un Y, avec deux branches à ses extrémités, les particules de fer et de titane étant situées à l'embranchement. En appliquant une tension électrique à la base du Y, ils ont découvert qu'ils pouvaient maîtriser précisément le flot des électrons dans les deux branches. C'est le prin-



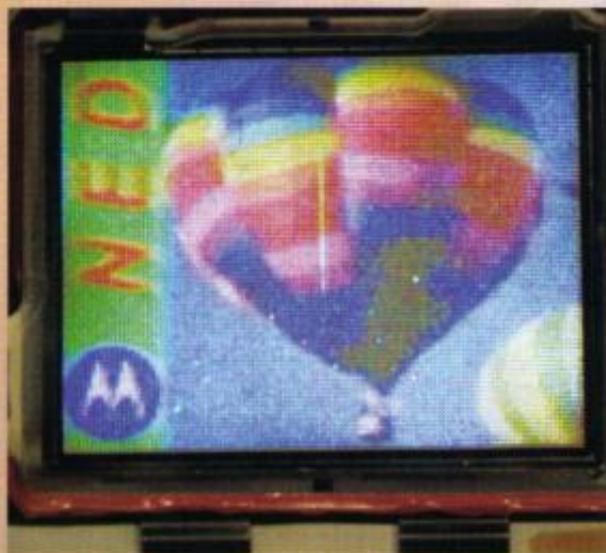
L'homme dominé par les nanotechnologies

Au cours des dix prochaines années, les nanotechnologies vont représenter l'une des voies de recherche les plus prometteuses. Elles pourraient permettre à l'informatique et à l'électronique de faire un bond en avant. Pourtant, elles suscitent aussi la méfiance. Michael Crichton, auteur à succès de la série *Urgences* et de *Jurassic Park*, n'a pas tardé à s'en emparer. Dans *La Proie* (roman traduit en français et sorti en livre de poche), il imagine l'emballage d'un projet

scientifique de mise au point de nanoparticules capables de se reproduire (des nano-usines). Plus sérieusement, c'est Greenpeace qui tirait la sonnette d'alarme dès 2003 et s'inquiétait que des nanoparticules s'associent à des pesticides et s'infiltrerent dans le corps humain. Pour sa part, un rapport de la Nasa indiquait que respirer des nanotubes de carbone en quantité pouvait endommager les poumons de manière irréversible...



> **Faits de carbone pur**, les nanotubes sont ouverts aux extrémités, ou fermés (comme sur ce schéma). Créés à partir des fullerènes (le ballon de foot rouge sur le dessin), ils passionnent les labos.



> **Transformés en canons à électrons microscopiques**, des nanotubes accolés les uns aux autres peuvent former une image par phosphorescence. Une nouvelle technologie prend son envol...

cipe même du transistor, qui contrôle un courant appliqué sur une électrode d'entrée et le redistribue sur une électrode de sortie. Alors que les transistors actuels sont gravés avec une finesse d'une centaine de nanomètres en moyenne, les nanotubes en forme de Y mesurent seulement une dizaine de nanomètres. On peut donc en mettre plus sur une même surface. Les nanotubes ont la cote, mais ils sont loin de constituer l'uni-

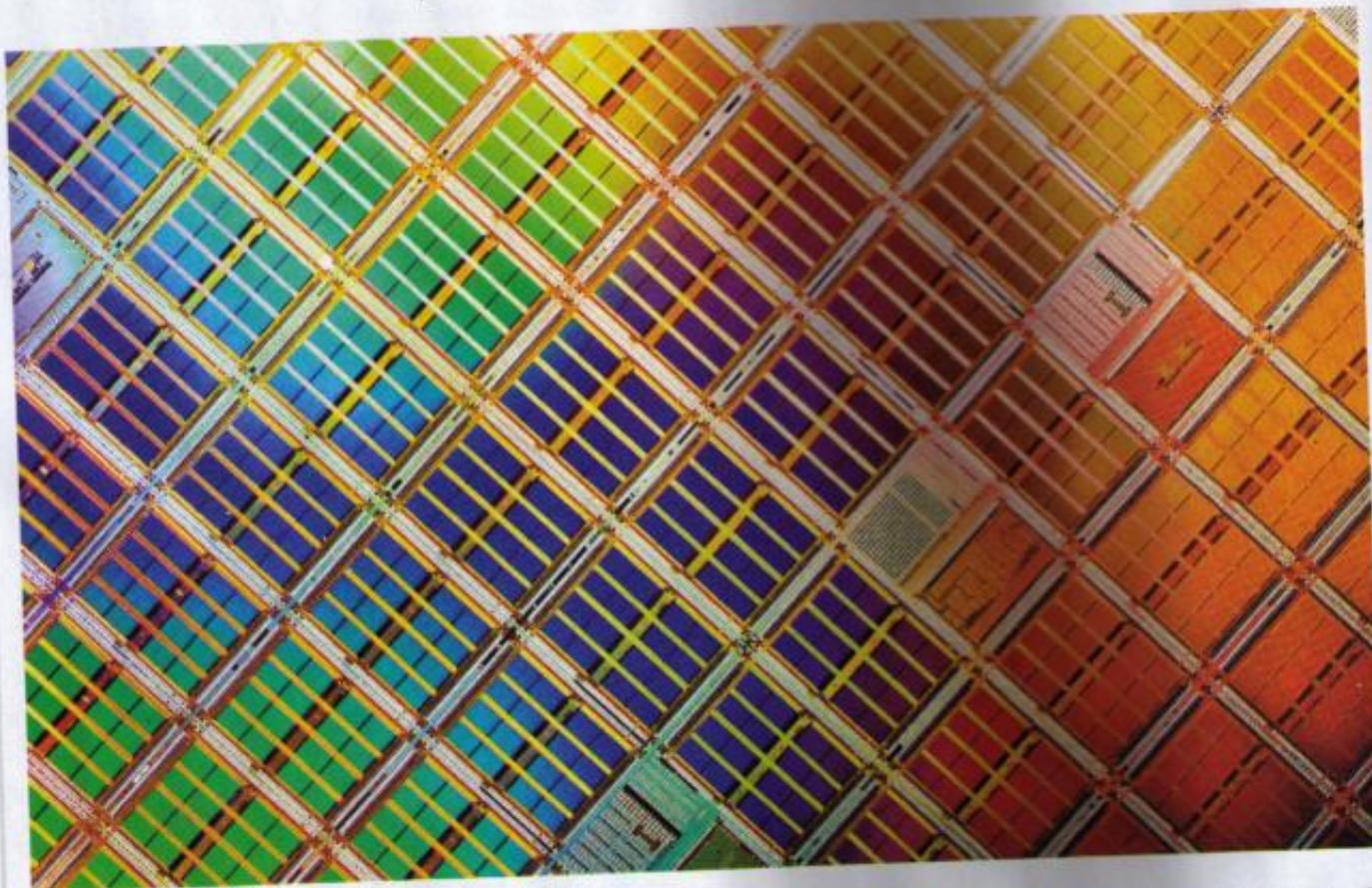
que voie de recherche des laboratoires. Dans leur quête de la réduction, les chercheurs s'intéressent à tous les matériaux. Des aimants miniatures, par exemple. Hitachi a ainsi conçu un émetteur radio de la taille d'un grain de poussière. Deux aimants de 40 nm de diamètre ont été placés à 500 nm de distance. Excités à une fréquence identique, ils se sont mis à osciller de manière parfaitement synchronisée, produisant un

signal de type micro-onde. En travaillant à l'échelle nanoscopique, de nombreux problèmes physiques peuvent être résolus. Par exemple, dans le domaine du stockage de données, les disques durs actuels sauvegardent les informations sur des particules magnétiques qui doivent être suffisamment espacées afin de ne pas interférer entre elles, ce qui limite leur miniaturisation (voir page 14). Les labo-

ratoires de l'université de Caroline du Nord ont trouvé une solution: des « nanobilles » de nickel, chacune mesurant quelque 5 nm de diamètre et composée de plusieurs centaines d'atomes. Chaque bille peut alors être placée dans deux états magnétiques différents, symbolisant le 0 et le 1, sans interférer avec les billes voisines. De quoi stocker jusqu'à 5 téraoctets sur une surface équivalente à celle d'un timbre-poste! ■

MEMOIRE

La Ram prépare son futur



Pour remplacer la mémoire vive actuelle, les chercheurs explorent plusieurs pistes technologiques qui ont toutes un point commun : conserver l'information en l'absence d'alimentation électrique.

Une chose est certaine, la mémoire vive des ordinateurs de 2020 existe déjà à l'état de prototype dans un laboratoire de recherche. Mais lequel ? Plusieurs pistes sont aujourd'hui explorées, mais aucune n'a débouché sur la technologie qui fera oublier toutes les autres. On sait simplement que la mémoire vive du futur sera de type NVRam (*Non Volatile Ram*), c'est-à-dire permanente : contrairement à la mémoire vive actuelle, elle ne perdra pas son contenu en l'absence d'alimentation électrique. C'est déjà le

cas de la mémoire Flash qui équipe les cartes des appareils photo et les clés USB, notamment (voir page 34). Mais comme cette mémoire demeure lente, elle ne s'implantera pas sur nos cartes mères.

Rupture technologique

Autre prédiction plutôt facile : la mémoire de demain sera plus dense que celle d'aujourd'hui. Autrement dit, à volume égal, elle stockera davantage de données. Cependant, prolonger la fameuse loi de Moore ne sera pas si évident. A force de réduire les dimensions des composants,

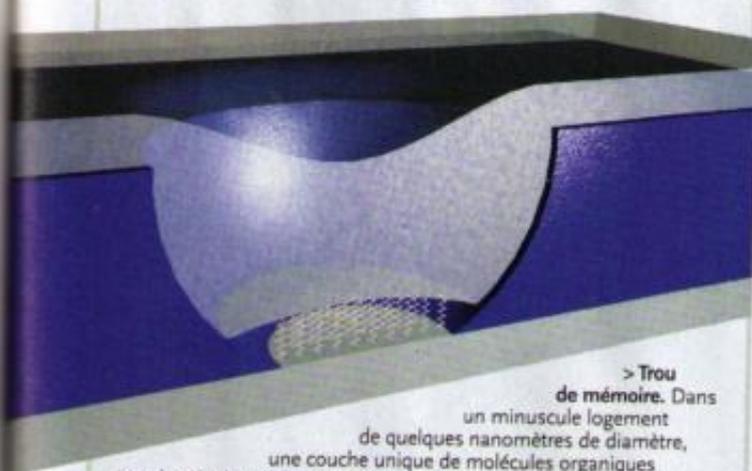
les déroutants phénomènes quantiques commencent à se manifester, tel le célèbre effet tunnel, qui transforme les électrons en passe-murailles incontrôlables. Mais les physiciens ont appris à composer avec ces nouvelles données scientifiques, et ce qui était hier une gêne devient un atout pour explorer d'autres méthodes, une ouverture que certains appellent la loi de More Moore... Plusieurs familles de mémoires sont actuellement en lice et toutes représentent une rupture technologique. Parmi elles, la PRam (*Phase-Change Memory* ou PCM), qui utilise un matériau déjà présent dans les disques optiques réinscriptibles (RW), capable de passer réversiblement de l'état cristallin (0 binaire) à l'état amorphe (1 binaire). Mais, au lieu d'un laser,

c'est un transistor qui contrôle ce changement. Quant à la MRam (*Magnetoresistive Ram*), elle stocke l'information sous forme magnétique. Une technologie qui n'est pas loin de passer au stade industriel.

Et pourquoi pas des mémoires à base d'ADN ?

Dans certains laboratoires, c'est à l'échelle moléculaire qu'on réfléchit. Nantero, une société américaine annonce la NRAM, dans laquelle l'information binaire est définie par la forme d'un nanotube de carbone (d'où le N du nom), selon qu'il est tendu ou non. D'autres parviennent à sculpter quelques molécules et certains lognient même du côté de l'ADN... Une nouvelle frontière est en passe d'être franchie. ■

Squelettes de carbone

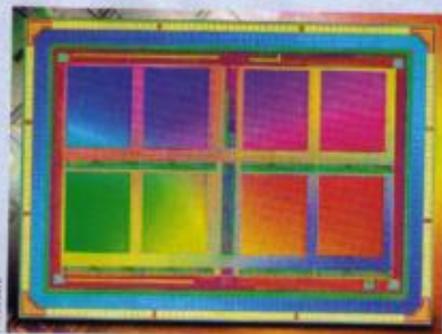


> **Trou de mémoire.** Dans un minuscule logement de quelques nanomètres de diamètre, une couche unique de molécules organiques joue le rôle de cellule mémoire magnétique, (ré)inscriptible à l'aide d'un courant électrique.

D. DeLongchamp/NIST

Des chercheurs américains du National Institute of Standards and Technology (NIST) ont repris le principe de la mémoire magnétique MRam (voir encadré ci-contre) en miniaturisant le dispositif grâce à des molécules organiques. Déjà utilisées dans les écrans Oled (*Organic Led*), ces grandes molécules à squelette de carbone ont la particularité d'être très réactives tout en présentant (en général) une forte résistivité électrique, mais, surtout, elles offrent une propriété qui fascine l'industrie de l'électronique: elles s'auto-organisent et peuvent ainsi être réunies en structures de très faibles dimensions. L'équipe du NIST a logé une couche de ces molécules à l'intérieur d'un minuscule trou creusé dans du silicium, entre deux électrodes, l'une de cobalt, l'autre de nickel. Ils ont pu ainsi obtenir le même effet de magnétorésistance que celui qui est à l'œuvre dans les disques durs et les MRam. Les résultats de leurs recherches, communiqués à l'automne 2006, ne permettent pas d'envisager une industrialisation rapide, mais laissent entrevoir des mémoires magnétiques bien plus denses dans les décennies à venir.

Puces magnétiques



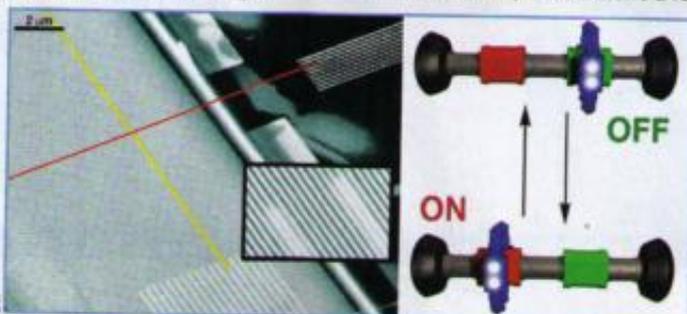
> **Circuit intégré.** Dans une MRam, l'information est enregistrée sous forme magnétique. La première puce du genre se contente d'une capacité de stockage de 4 Mbits (512 Ko).

En juillet 2006, la société américaine Freescale a présenté une puce mémoire magnétique de 4 Mbits de type MRam (*Magnetoresistive Ram*, ou Ram magnétique). Non volatile, comme une mémoire Flash, elle est, en plus, aussi rapide qu'une SRam (mémoire statique utilisée par exemple dans les disques durs) et aussi dense qu'une DRam (mémoire dynamique, comme celle qui équipe nos micros actuels). Sa structure, et donc sa fabrication, est celle d'un circuit intégré classique, mais son fonctionnement est complètement différent. Chaque cellule, mémorisant un bit, comprend deux couches magnétiques. L'une a un champ fixe, l'autre peut s'orienter dans le même sens ou dans le sens opposé:

l'information binaire, 0 ou 1, est codée de cette manière. Pour lire l'information de la cellule, on envoie un petit courant dans ces couches. Il ne les traverse (par effet tunnel) que lorsque les deux champs sont dans le même sens. C'est la méthode dite de magnétorésistance, également employée dans les têtes de lecture des disques durs. Pour changer l'information de la cellule, il suffit d'envoyer une brève impulsion électrique afin d'inverser le champ magnétique de la couche variable. La MRam peut-elle devenir la mémoire de demain? Pour l'instant, son coût et sa faible capacité l'en empêchent. Et, en plus, elle est trop sensible aux champs magnétiques extérieurs.

Molécules à coulisse

Ce sera dans treize ans! James Fraser Stoddart, chercheur à l'université de Los Angeles, est très précis quand il prédit l'avènement des mémoires moléculaires comme celle qu'il a mise au point à l'aide de rotaxanes. Ces structures ressemblent à des haltères. Chacune porte un anneau autour de sa tige, qui peut venir se fixer sur l'une ou l'autre de ses extrémités. Selon la position de l'anneau, la résistance électrique n'est pas la même. Voilà de quoi coder un 0 ou un 1. Un faible courant électrique détermine la position de l'anneau pour lire l'information, tandis qu'une différence



de potentiel le fait passer d'une position à l'autre. Une fois l'anneau installé, il y reste: cette mémoire est donc permanente. Dans le prototype mis au point par James Fraser Stoddart, chaque bit emploie seulement quelque 200 molécules. Un record. Grâce à ces rotaxanes, le laboratoire a réalisé la mémoire la plus dense du monde: 100 Gbits par centimètre carré, c'est-à-dire 100 fois plus qu'une mémoire vive traditionnelle.

> **Haltères binaires.** Deux réseaux d'électrodes se croisent. A chaque intersection sont installées quelque deux cents rotaxanes, des molécules dont une partie mobile peut prendre deux positions, pour coder un 0 ou un 1.

Images et son



AUJOURD'HUI

Photo

- Sublimation thermique: l'impression qui ne triche pas p. 66
- Des prises de vue presque toujours nettes p. 68
- Cmos et CCD: les faiseurs de pixels p. 70

Vidéo

- DLP: pour un contraste optimal p. 73
- DivX 6: il a tout du DVD p. 76
- Ecrans plats: de la SD à la HD p. 80
- H.264: la compression en haute qualité p. 82

DEMAIN

Capteur

- Enregistrer c'est bien, analyser c'est mieux! p. 84

Compression

- Quels successeurs pour le JPeg et le MPeg? p. 87

Gestion de fichiers

- Prise d'empreintes musicales p. 90

E-paper

- La feuille électronique p. 92

APRES-DEMAIN

Acoustique

- Retournement temporel: le pouvoir du son p. 94



■ PHOTO

Sublimation thermique: l'im

Dédiée aux tirages photo, la sublimation thermique n'utilise pas d'encre, mais des cires colorées, vaporisées par couches successives. Un procédé qui permet d'obtenir des millions de teintes sans artifice.

Face à l'essor de la photo numérique, les constructeurs proposent une gamme étendue d'imprimantes exclusivement destinées à la photo. On les reconnaît aisément à leur alimentation avec du papier photo uniquement et à leur compacité. Pour autant, toutes ne relèvent pas de la même technologie. D'un côté, il y a les jet d'encre, qui offrent la même qualité d'impression que leurs grandes sœurs, la simplicité d'utilisation et la portabilité en plus. De l'autre, il y a les modèles à sublimation thermique, dont les tirages ne permettent pas de discerner la moindre trame ou point de couleur.

De la cire de couleur chauffée puis projetée

Littéralement, la sublimation est le passage direct d'un corps de l'état solide à l'état gazeux. Dans une imprimante à sublimation thermique, la cire pigmentée, qui tient lieu d'encre, est chauffée à près de 200 °C par des micro-résistances réparties sur la tête d'impression. Elle passe ainsi instantanément de l'état solide à l'état gazeux, puis, projetée sur la feuille, elle refroidit à son contact et redevient solide. L'intérêt d'un tel procédé est qu'il exploite les propriétés de transparence de la cire: pour imprimer un point d'une couleur donnée, l'imprimante superpose trois couches de cire de densité variable (jaune, magenta et cyan), qui vont, ensemble, composer la teinte recherchée, dans une palette de 16,7 millions de couleurs.

1 L'image est décomposée en couleurs primaires

Le cliché au format RVB stocké dans l'appareil photo est envoyé à l'imprimante. Un processeur spécialisé la convertit alors en mode CMJ (cyan, magenta, jaune, soit les trois couleurs utilisées pour l'impression) en la décomposant en trois images distinctes, une par couleur de base. Les informations correspondant à ces trois couches sont ensuite envoyées les unes après les autres à la tête d'impression.

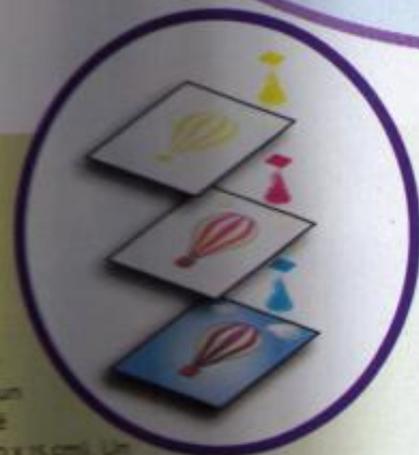
Avec la sublimation thermique, l'équation est simple: un point de couleur sur l'image numérique correspond à un point de couleur sur la photo imprimée. Rien à voir avec la technologie du jet d'encre ou du laser, qui juxtapose un grand nombre de points de couleurs primaires (jaune, magenta et cyan), de taille variable pour reproduire, par effet optique, un point de la couleur recherchée.

Sans trame et sans bavures

Cette tricherie optique est parfois visible à l'œil nu, sous la forme de trame ou de points apparents, un défaut absent des impressions par sublimation thermique. Par ailleurs, les photos obtenues par sublimation sont dénuées de bavures grâce au passage direct de la cire de l'état solide à l'état gazeux puis inversement. Seul inconvénient de cette technologie: la couleur noire est obtenue de façon composite (par superposition des trois couleurs en densité maximale), ce qui ne permet pas d'obtenir un noir franc. Ce type d'impression s'avère donc inadapté aux tirages en noir et blanc. ■

4 Le papier passe quatre fois sous la tête

Le chargeur contient des feuilles de papier photo spécial, d'un format déterminé (généralement 10 x 15 cm). Un rouleau déplace la feuille afin que sa surface passe progressivement sous la tête d'impression. L'impression s'effectue en quatre passes: trois pour les couleurs, une pour le vernis protecteur. Le papier utilisé peut résister à des températures élevées sans noircir ou se tordre, et sa surface est traitée pour fixer les couleurs à l'état gazeux. Il faut environ une minute pour imprimer une photo.



pression qui ne triche pas

2 Les quatre zones du ruban encreur

Le ruban encreur, très fin, comporte des séquences de quatre zones de cire, chacune aux dimensions du papier photo utilisé: trois zones de couleur (jaune, magenta, cyan) et un vernis protecteur (pour préserver la photo des UV, de l'humidité et des traces de doigts). Une fois une couleur traitée, on passe à la suivante, pour finir par le vernis. Le nombre de tirages est donc déterminé à l'avance. Sur un ruban prévu pour quarante photos, il y aura ainsi quarante séquences jaune, magenta, cyan, vernis protecteur.

3 La cire pigmentée est vaporisée

Les centaines de microrésistances réparties sur la tête d'impression reçoivent des signaux électriques d'intensité variable qui les font instantanément monter à très haute température (plus de 190 °C) afin de chauffer certains points du ruban encreur. Sous l'effet de cette chaleur intense, la cire colorée passe instantanément à l'état de vapeur. Le nuage de cire pigmentée se solidifie instantanément au contact du papier. Plus la température de la résistance est élevée, plus la quantité de cire vaporisée est importante. Avec 256 niveaux de température par couleur primaire, on atteint 16,7 millions (256 x 256 x 256) de teintes différentes, par superposition des couches jaune, magenta et cyan. Le noir est obtenu par saturation de ces trois couleurs.



PHOTO

Des prises de vue presque to

Avec un compact léger ou un bridge à grand téléobjectif, le photographe aura bien du mal à maintenir la stabilité de son appareil pour éviter la photo floue. C'est pourquoi de plus en plus d'appareils sont équipés d'un stabilisateur d'image.

Argentique ou numérique, le principe de la photo ne change pas : une surface sensible (pellicule ou capteur) doit capturer la lumière durant... un certain temps. Ce délai, souvent appelé temps de pose ou, ce qui est plus juste, durée d'exposition), dépendra de la luminosité ambiante, de l'ouverture choisie pour le diaphragme, mais aussi de la sensibilité de la surface de réception. Pour s'adapter à une lumière faible, le photographe peut en

effet élargir l'ouverture du diaphragme (mais cela rétrécit la profondeur de champ) ou augmenter la sensibilité du capteur numérique (mais au-delà d'un certain seuil, généralement 800 Iso, des pixels parasites apparaissent, c'est ce qu'on appelle le bruit numérique). On peut aussi allonger la durée d'exposition. L'inconvénient est alors d'augmenter le risque de flou si le sujet bouge ou si le photographe lui-même tremble un peu. A ce jeu, les compacts ne facilitent

pas la tâche, car, toujours plus légers, ils sont difficiles à maintenir bien stables, surtout lorsque la photo est prise en cadrant à partir de l'écran de visée. Quant aux appareils plus lourds (bridges ou reflex), c'est la puissance du téléobjectif qui augmente les risques.

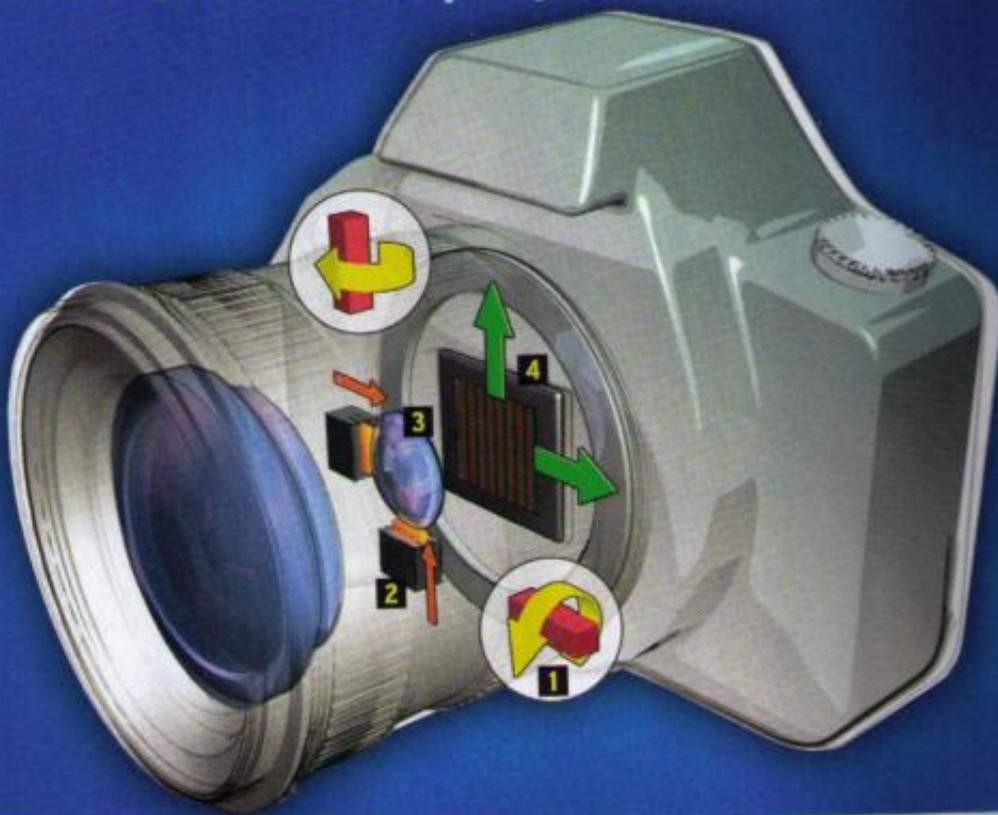
Un stabilisateur pour éviter le flou

Plus le grossissement est important et plus il est difficile pour le photographe de rester suffisamment stable. On estime que la durée d'exposition doit être plus faible que l'inverse de la focale. Par exemple, avec un grand-angle de 35 mm, une durée d'exposition de 1/30 de seconde est trop longue et le minimum sera 1/60 de seconde, mais il ne faut

pas dépasser 1/125 avec un téléobjectif de 105 mm. Or, de nombreux bridges vont aujourd'hui jusqu'à 300 mm...

Pour diminuer ces risques de flou (qui existent aussi avec les caméscopes), les constructeurs ont trouvé une parade : le stabilisateur. Grâce à lui, on peut augmenter le temps de pose et obtenir un cliché net. Il existe plusieurs moyens techniques, mais le principe reste toujours le même : compenser les petits mouvements du photographe durant l'exposition pour conserver la zone cadrée au départ sur la surface sensible. Cependant ces stabilisateurs ne permettent pas de suivre un sujet en mouvement. Dans ce cas, la seule méthode est de réduire le temps de pose. ■

Stabilisation optique : des lentilles motorisées

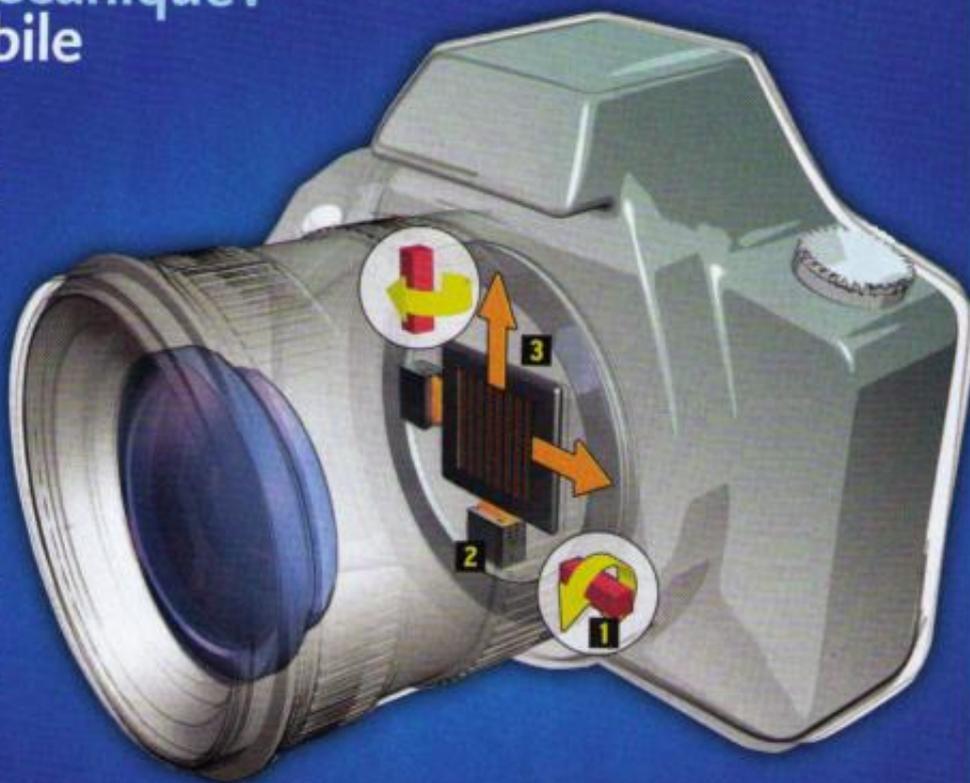


Placé dans l'objectif, ce système est assez cher à fabriquer, car il utilise un jeu de lentilles additionnelles. Bien adapté aux compacts et aux bridges, dont l'objectif est intégré, ce principe devient un handicap pour les reflex, dont les objectifs sont interchangeables. Un stabilisateur doit alors être intégré à chaque objectif, ce qui en augmente le prix. Lorsque l'appareil bouge, des capteurs de vitesse angulaire **1**, sortes de minuscules gyroscopes, mesurent les déplacements dans le plan horizontal et dans le plan vertical. Leurs informations sont transmises à un microprocesseur qui, après analyse, commande un mouvement compensateur à des micromoteurs **2** pour déplacer les lentilles additionnelles **3**. Celles-ci corrigent la trajectoire de la lumière pour qu'elle vienne toujours frapper le capteur **4** au même endroit.

o ujours nettes

Stabilisation mécanique : un capteur mobile

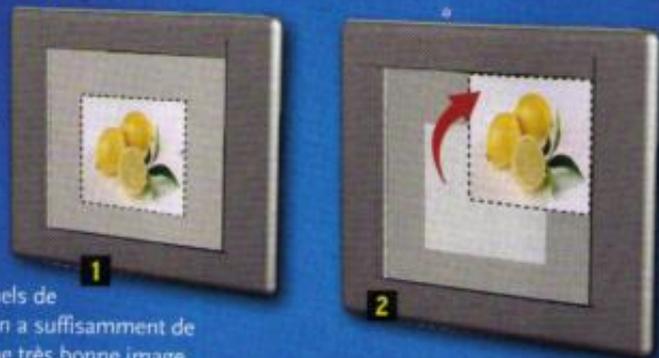
Comme pour la stabilisation optique, la méthode consiste à mesurer d'abord les mouvements de l'appareil photo à l'aide de gyroscopes miniatures. Mais ici, pas besoin de lentilles additionnelles : c'est le capteur qu'on fait bouger pour compenser le tremblement des mains du photographe. Le dispositif étant placé dans le boîtier, il s'avère bien adapté aux reflex, car il fonctionne quel que soit l'objectif. Les capteurs de mouvement angulaire **1** transmettent la direction et l'intensité des mouvements de l'appareil à un microprocesseur. Les moteurs **2** auxquels le processeur transmet les ordres de mouvement compensateur agissent sur le capteur CCD **3**. La trajectoire de la lumière n'est donc pas modifiée : c'est le capteur qui se déplace pour suivre l'image. Inventée par Konika sous le nom *Anti-Shake* (AS), la stabilisation mécanique, rebaptisée *Super Steady Shot*, équipe aujourd'hui le nouveau reflex de Sony. Pentax utilise un procédé similaire, mais électromagnétique, les moteurs étant de type piézoélectrique.



Stabilisation numérique : des corrections électroniques

Ici, pas de mécanique : il n'y a ni capteurs de mouvement, ni moteurs, ni aucun déplacement physique. Lorsque la stabilisation numérique est enclenchée, le capteur restreint la surface de réception à sa zone centrale, en laissant libre un bandeau latéral **1**. L'image est donc formée uniquement dans cette zone, sorte de capteur virtuel. Si un mouvement de l'appareil est détecté, ce capteur virtuel est déplacé pour suivre l'image **2**. Tant que l'image reste sur le capteur réel, le système peut compenser le mouvement. Reposant uniquement sur un traitement informatique de l'image, ce principe

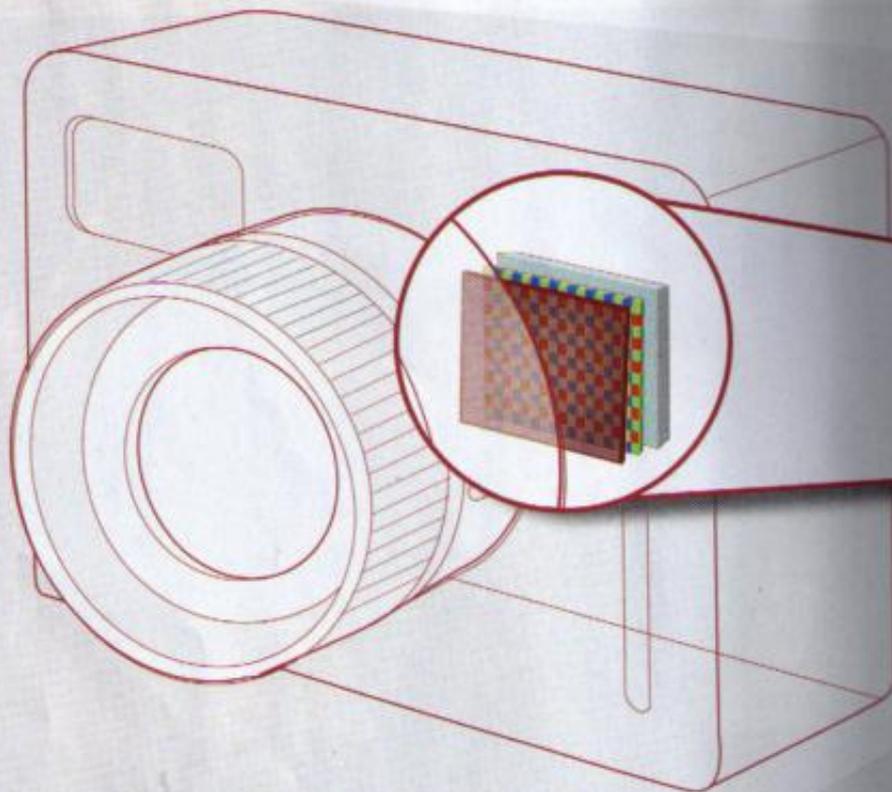
est beaucoup moins coûteux que les autres. Son inconvénient est qu'en diminuant la définition du capteur, on réduit la taille maximale de la photo. Mais avec les capteurs actuels de 8 ou 10 mégapixels, on a suffisamment de marge pour garder une très bonne image, même avec des tirages allant jusqu'au format A3. C'est pourquoi ce procédé équipe de plus en plus de compacts. Il est déjà adopté depuis longtemps



sur les caméscopes, dont les capteurs possèdent au moins 800 000 pixels, alors qu'une image vidéo de type DV n'exploite que 414 720 pixels (720 x 576 pixels).

■ PHOTO

Cmos et CCD: les faiseurs



Les capteurs des appareils photo numériques transforment la lumière qu'ils reçoivent en courant électrique grâce à des millions de cellules photosensibles.

Excellent rendu d'image et parfaite maîtrise du bruit. Le verdict des ingénieurs de notre laboratoire confirme une tendance récente: les capteurs de type Cmos talonnent désormais les CCD. Longtemps cantonnés aux appareils d'entrée de gamme en raison de leur piètre rendu, les capteurs Cmos ont en effet bénéficié de nets progrès ces dernières années. Ainsi, depuis l'année 2000, ils équipent certains appareils haut de gamme chez Canon. Nikon ayant de son côté conçu un modèle doté d'un capteur de ce type comportant 12,4 millions de pixels. L'histoire des capteurs d'image commence en 1969, dans les laboratoires de recherche Bell

(les fameux Bell Labs). Willard Boyle et George Smith, deux physiciens qui travaillent sur des circuits mémoire à base de semi-conducteurs, imaginent un système pouvant capturer puis transférer des charges électriques dans une plaque de silicium. Très vite, ils montrent que ce dispositif, baptisé CCD (*Charged Coupled Device*, ou dispositif à transfert de charge) est aussi capable de capter la lumière et de la transformer en électricité grâce à l'effet photoélectrique. Leur capteur se compose d'un ensemble de cellules sensibles à la lumière, disposées en lignes et en colonnes (on parle de matrice):

La capture de la lumière

1 Filtre infrarouge

Il sert à débarrasser le rayon lumineux des longueurs d'ondes infrarouges, qui pourraient «polluer» l'image en ajoutant des informations supplémentaires et inutiles (puisque l'œil ne les perçoit pas).

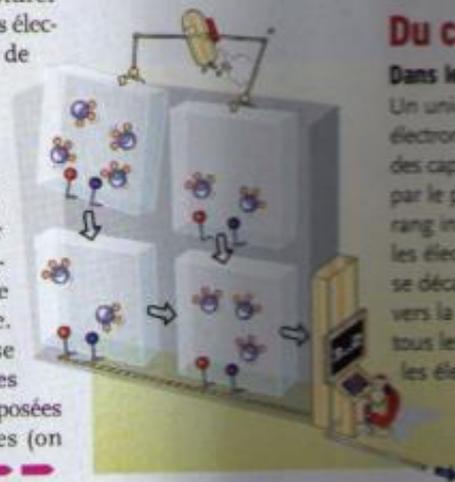
2 Matrice RVB

Ce filtre sélectionne trois types de longueurs d'ondes: celles qui correspondent au rouge, au vert et au bleu. Parce que l'œil est plus sensible au vert qu'aux autres couleurs, la matrice

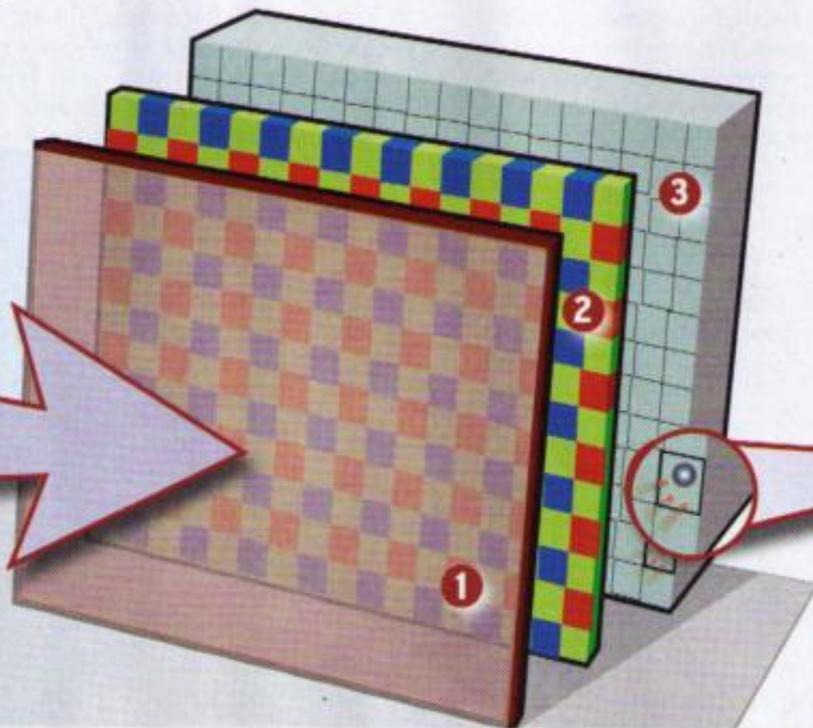
Du courant électrique

Dans les capteurs CCD

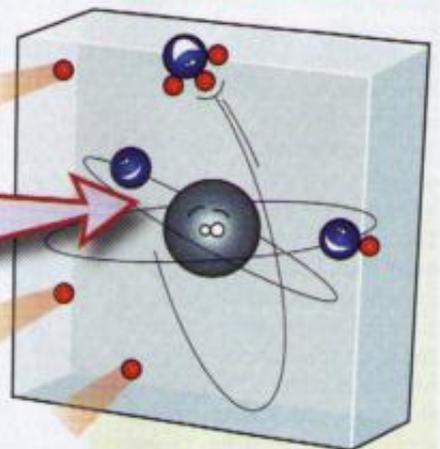
Un unique dispositif dénombre les électrons contenus dans les photosites des capteurs CCD. Le décompte débute par le photosite le plus à droite du rang inférieur. Dans le même temps, les électrons situés sur la même ligne se décalent de photosite en photosite, vers la droite. Lorsque le contenu de tous les photosites de la ligne a été lu, les électrons de la ligne supérieure se logent dans les photosites qui viennent de se vider.



d e pixels



**Le photosite :
de la lumière au
courant électrique**



RVB comporte deux fois plus de filtres verts que de bleus et de rouges. Ainsi, deux fois plus d'informations vertes atteignent le capteur, renforçant le piqué de l'image.

3 Couche de silicium

C'est elle qui reçoit et emmagasine la lumière. Elle est composée de cellules photosensibles, les photosites, qui transforment l'énergie lumineuse qu'elles reçoivent en charges électriques.

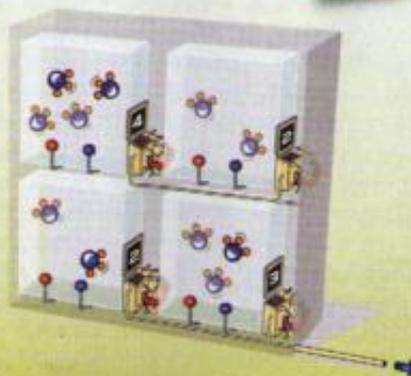
Chaque photosite correspond à un point élémentaire de l'image (un pixel), l'ensemble étant disposé dans une matrice (un ensemble de lignes et de colonnes) : c'est le nombre de photosites de cette matrice qui détermine la définition maximale du capteur (le nombre total de pixels qui composent l'image). La définition effective de la photographie dépend, elle, du niveau de qualité sélectionné sur l'appareil, ainsi que du type de compression utilisé.

Les photosites du capteur, traditionnellement carrés (les capteurs Super CCD, de Fuji, sont formés de cellules hexagonales), sont composés de silicium dopé (on lui ajoute des impuretés pour modifier ses propriétés conductrices). Le silicium est semi-conducteur : ses électrons ne se détachent pas de leur noyau tant qu'on ne les stimule pas. Mais lorsqu'un rayon lumineux atteint les photosites, les photons excitent les atomes de silicium et leur arrachent des électrons. Les électrons libérés se regroupent alors sur l'une des électrodes des photosites. Le nombre d'électrons indique la quantité de lumière reçue par chaque photosite.

aux données numériques

Dans les capteurs Cmos

Tous les photosites des capteurs Cmos contiennent des composants électroniques chargés d'amplifier le microcourant produit par les électrons libérés afin de pouvoir les compter. D'autres composants peuvent être ajoutés sur chaque photosite afin d'améliorer les performances des capteurs : repérer les électrons résiduels, responsables de bruit sur les images, évacuer le trop-plein d'électrons en cas d'éblouissement, etc.



— — — ce sont les photosites. Quand ils sont éclairés, ceux-ci transforment l'énergie lumineuse qu'ils reçoivent en charges électriques, qui s'accumulent temporairement dans un circuit de silicium.

A l'origine, une matrice de 100 x 100 points!

De la lumière à l'image, il n'y a qu'un pas, allègrement franchi, et, en 1970, nos deux chercheurs mettent au point un premier prototype de caméra vidéo équipée d'un capteur CCD. En 1974, l'entreprise Fairchild commercialise un appareil basé sur cette technologie avec une matrice, et donc une définition, de 100 x 100 points! Dans un capteur CCD, les charges reçues par les cellules ne sont pas directement transformées en tensions électriques utilisables par des circuits électroniques, elles sont récupérées de façon séquentielle, rangée par rangée, et transformées juste avant la sortie en tensions par un dispositif centralisé. Outre une relative lenteur, ce fonctionnement engendre un processus de fabrication complexe et coûteux.

Le Cmos, plus réactif et moins sensible

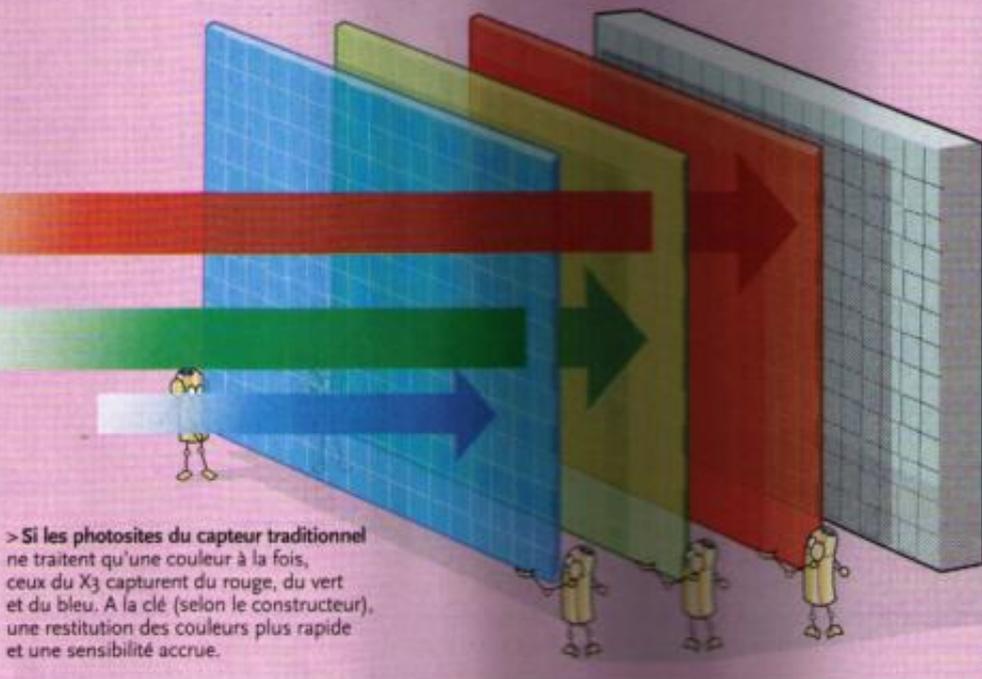
Dans les années 80, des industriels ont cherché à utiliser un procédé de fabrication pour réaliser des capteurs de façon plus simple et plus économique. Ils ont ainsi adapté la technologie Cmos (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*), exploitée pour la fabrication des circuits intégrés - notamment des microprocesseurs. Elle permet d'intégrer, dans chaque photosite, des composants électroniques chargés de convertir la charge électrique récupérée en tension et de l'amplifier.

Sur le plan technique, on gagne en réactivité en se débarrassant du fonctionnement séquentiel, chaque photosite produisant sa propre tension. Sur le plan industriel, l'utilisation des

Le défi: mieux restituer les couleurs

Plusieurs fabricants de capteurs cherchent à améliorer le rendu des couleurs. Foveon a ainsi mis au point un procédé, baptisé X3, qui consiste à empiler trois photodétecteurs sur un même photosite. Quand la lumière arrive sur le capteur, le premier photodétecteur capture le bleu et laisse passer le vert et le rouge. Le deuxième capte le vert tandis que les rayons

rouges atteignent le dernier. Par comparaison avec les capteurs traditionnels, qui ne capturent que 50 % de vert, 25 % de rouge et 25 % de bleu, le X3 traite 100 % des trois couleurs. Un capteur X3 de 3,4 millions de pixels peut ainsi élaborer une image de 10,2 millions de pixels. Aujourd'hui, seul le japonais Sigma utilise ce procédé, sur ses reflex SD9 et SD10.



> Si les photosites du capteur traditionnel ne traitent qu'une couleur à la fois, ceux du X3 capturent du rouge, du vert et du bleu. A la clé (selon le constructeur), une restitution des couleurs plus rapide et une sensibilité accrue.

mêmes chaînes de fabrication que celles destinées aux circuits intégrés permet de faire chuter le prix de revient des capteurs. Réclamant moins de circuits annexes, ils sont plus faciles à intégrer, notamment quand la place manque: c'est pourquoi on les retrouve aujourd'hui fréquemment dans les appareils photo numériques d'entrée de gamme, mais aussi dans les téléphones mobiles, les webcams, ainsi que les caméras de vidéosurveillance.

Reste toutefois le problème lié à la taille des capteurs. Associés à des composants intégrés, les photosites du capteur Cmos sont plus petits que ceux du CCD (ces derniers sont d'une longueur oscillant généralement entre 5,4 et 24 micromètres; sur les modèles Cmos, ils vont de 2,7 à 20 micromètres). Comme la surface d'exposition des pho-

tosites est plus importante, les capteurs CCD sont plus sensibles à la lumière. En outre, tout le monde n'a pas besoin d'un traitement ultrarapide: les spécialistes en astronomie, par exemple, préfèrent faire appel à des capteurs lents, mais qui leur offrent une image de qualité meilleure.

Des pistes de recherche

Ainsi, le satellite météo Spot recourt à un système de barrettes CCD (avec non pas des matrices de photosites mais des lignes de cellules photosensibles, comme sur les scanners) pour produire ses clichés. Toutefois, comme en témoignent les reflex des marques Canon et Nikon, le Cmos a fait de nets progrès en qualité d'image ces dernières années. Des expérimentations prometteuses préfigurent la bataille

sermée à laquelle prendront part les technologies Cmos et CCD dans les prochaines années. Des chercheurs de l'université de Rochester, aux Etats-Unis, ont ainsi mis au point des convertisseurs analogiques numériques plus performants et surtout moins encombrants. Ils sont parvenus également à simplifier le traitement du signal en adoptant une disposition irrégulière des photosites.

De son côté, la start-up californienne Pixim planche sur des temps d'exposition variables pour chaque photosite, dépendant de la quantité de lumière qu'ils reçoivent. D'autres travaux sont menés afin d'améliorer la restitution des couleurs (voir encadré ci-dessus). A plus long terme, les capteurs de nos appareils deviendront même peut-être intelligents et infallibles (voir page 84). ■

■ VIDEO

DLP: pour un contraste optimal

Des miroirs microscopiques qui basculent plusieurs milliers de fois par seconde: c'est le principe de la technologie DLP, utilisée dans certains vidéoprojecteurs.

Selon le procédé d'affichage utilisé, les vidéoprojecteurs destinés au grand public se divisent en deux familles: d'un côté, les modèles LCD (*Liquid Crystal Display*), de l'autre, les DLP (*Digital Light Processing*). C'est à cette seconde technologie, réputée pour la qualité de son contraste, que nous nous intéressons ici. Le DLP est basé sur un circuit DMD (*Digital Micromirror Device*), inventé en 1987 par Larry Hornback, un ingénieur de Texas Instruments. Les premiers prototypes de vidéoprojecteurs DLP sont apparus en 1994. Et voilà environ dix ans qu'on les trouve dans le commerce.

1 024 niveaux de gris

La grande originalité du circuit DMD est de combiner électronique, optique et mécanique: sa face supérieure comporte une matrice de miroirs microscopiques qui, selon leur position, renvoient ou pas vers l'écran la lumière qu'ils reçoivent. Chaque miroir correspond à un pixel. Ainsi, un vidéoprojecteur DLP d'une définition de 1280 x 720 points contient une « puce » composée de 921 600 miroirs! Le principe du DMD? Le circuit est parcouru par

Une technologie, deux évolutions

Le DLP continue de s'améliorer. Plusieurs innovations récentes permettent de réaliser des appareils plus compacts et plus durants, mais aussi de produire des couleurs plus nuancées.

Des diodes à la place des lampes

Mitsubishi et Toshiba ont présenté l'année dernière des vidéoprojecteurs miniatures, à peine plus gros qu'un livre. L'astuce? La lampe est remplacée par des Led (des diodes électroluminescentes). Ce système présente plusieurs avantages par rapport aux lampes à mercure utilisées traditionnellement: l'encombrement est réduit, le poids nettement diminué (souvent inférieur à 500 g)

et la durée de vie de la source lumineuse augmentée (environ 10000 heures selon les constructeurs, contre 2000 en moyenne pour les lampes classiques). Autre atout: ces modèles ne demandent ni temps de chauffe, ni période de refroidissement lors de la mise sous et hors tension. Les Led s'invitent également dans les téléviseurs DLP: ainsi, Texas Instruments a développé un procédé dans lequel des diodes de couleur remplacent à la fois la lampe et la roue chromatique.



> Utilisant des diodes électroluminescentes en guise de source lumineuse, le vidéoprojecteur FF1, de Toshiba, est à peine plus gros qu'un livre.

Des roues à six couleurs

Texas Instruments a mis au point le BrillantColor, une technologie permettant de reproduire les couleurs de la nature avec une extrême finesse. Dans les vidéoprojecteurs, elle intervient au niveau du processeur et sur la roue codeuse, qui comprend six segments: vert, rouge, bleu, jaune, magenta, cyan. Le résultat? Une gamme de couleurs beaucoup plus étendue. La technologie BrillantColor fonctionne également avec des roues qui ne comportent que trois segments, en interprétant les transitions de couleurs vert/bleu comme du cyan, rouge/bleu comme du magenta, et rouge/vert comme du jaune. Mais la gamme de couleurs reproduites est alors plus réduite.

> Le HC3000, de Mitsubishi, a été le premier vidéoprojecteur DLP basé sur le procédé BrillantColor.



Le processeur traite le signal vidéo

Qu'ils soient LCD ou DLP, les vidéoprojecteurs numériques contiennent tous un processeur chargé de traiter le signal vidéo. Son rôle principal: adapter la définition du signal entrant (en provenance d'un lecteur DVD, d'une console de jeu, etc.) à celle du vidéoprojecteur. Dans ces appareils, l'image doit posséder la même définition que la puce (celle de sa matrice). Le processeur effectue aussi une série de traitements destinés à améliorer l'image: désentrelacement, réduction de bruit, correction des couleurs, amélioration de la fluidité des mouvements, etc. Et, bien entendu, c'est lui qui pilote les miroirs de la puce DLP.

— un réseau d'électrodes. Chaque électrode est associée à un miroir, et l'ensemble est contrôlé par un processeur chargé de traiter le signal vidéo (voir infographie ci-contre). En fonction des caractéristiques du signal vidéo (et donc de l'image à afficher), le processeur active certaines électrodes. Soumis à un micro-champ magnétique, les miroirs appariés aux électrodes actives s'orientent alors vers la source lumineuse qui éclaire le circuit (généralement une lampe à mercure, qui produit de la lumière blanche). Quand un miroir est incliné vers la lumière (en position On), il reflète un rayon vers l'écran et forme ainsi un pixel blanc. Quand les électrodes sont inactives, les miroirs restent en position Off et ne reflètent pas de lumière vers l'écran (les pixels correspondants sont noirs).

Même si un miroir ne peut adopter que deux positions, un circuit DMD est capable de produire différentes nuances de luminosité (jusqu'à 1024 gris différents, par exemple). En effet, les miroirs peuvent changer de position plusieurs milliers de fois par seconde: si un miroir ne renvoie pas souvent le rayon lumineux, le pixel correspondant sera gris foncé; s'il le réfléchit fréquemment, le pixel sera gris clair.

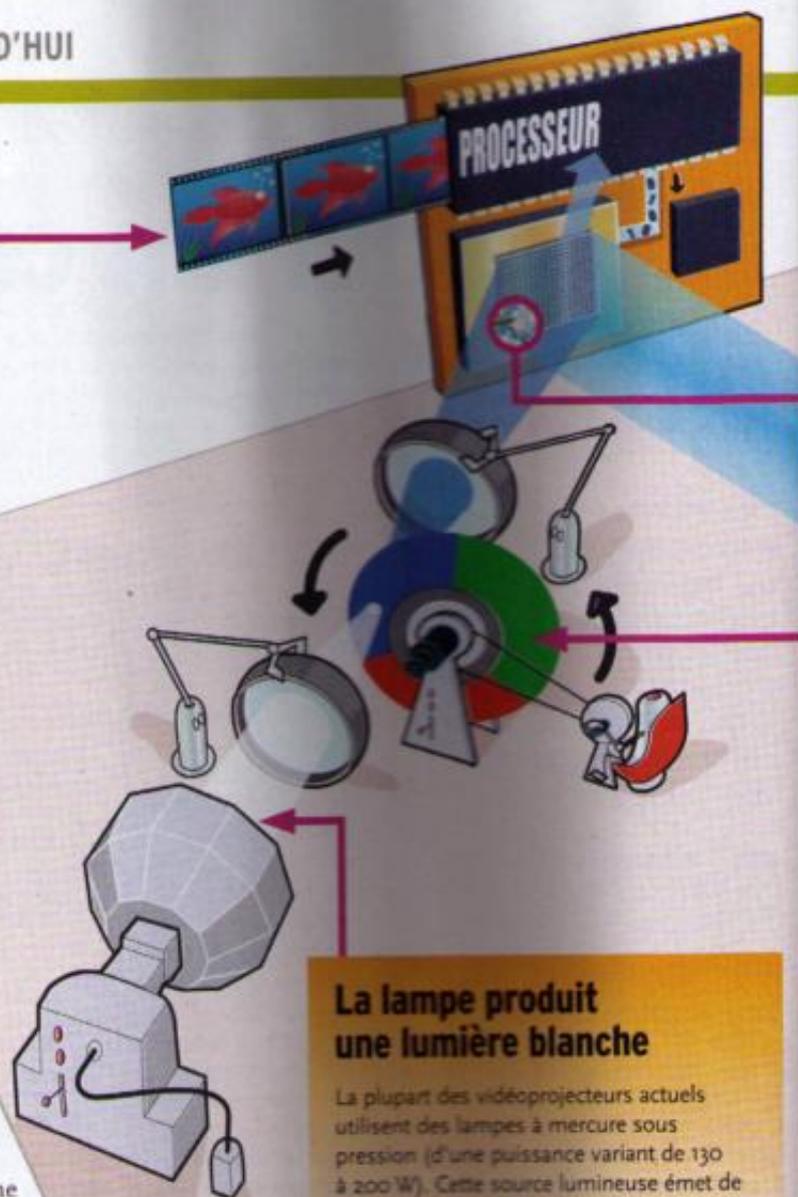
Plus de 16 millions de couleurs restituées

La couleur s'obtient par le biais d'une roue chromatique placée sur le chemin des rayons lumineux. Tournant à haute vitesse (des milliers de tours par minute), elle comporte plusieurs segments de couleur (rouge, vert, bleu, c'est-à-dire les trois fondamentales de la vidéo)

qui teintent successivement le faisceau de lumière (voir infographie). Avec ce procédé, un vidéoprojecteur DLP restitue plus de 16 millions de couleurs. Mais ce système présente un inconvénient: l'effet arc-en-ciel. Certaines personnes supportent mal en effet la décomposition de l'image en couches successives de couleurs, leurs yeux percevant des éclairs rouge, vert et bleu. Pour atténuer cet effet, les constructeurs utilisent désormais des roues tournant plus

vite et contenant plus de segments de couleurs.

Contrairement aux projecteurs DLP grand public prévus pour le home cinéma, les modèles professionnels conçus pour le cinéma ou les conférences n'induisent pas d'effet arc-en-ciel. Et pour cause, ils ne recourent pas à des roues pour générer les couches successives de couleurs, mais à trois puces DMD (une pour le vert, une pour le rouge, une pour le bleu), qui renvoient simultanément des



La lampe produit une lumière blanche

La plupart des vidéoprojecteurs actuels utilisent des lampes à mercure sous pression (d'une puissance variant de 130 à 200 W). Cette source lumineuse émet de la lumière blanche (une lumière composée de toutes les couleurs, comme la lumière du jour), qui est ensuite dirigée, par un jeu de lentilles, vers les miroirs de la puce DMD.



Les miroirs pivotent pour former les pixels

Le circuit DMD est éclairé par le faisceau lumineux coloré (une seule teinte à un instant donné, le bleu par exemple).

En fonction des différents ordres envoyés par le processeur, les électrodes placées à l'intérieur du circuit orientent les miroirs, qui pivotent sur un axe diagonal sous l'effet d'un champ magnétique, selon un angle de 12°. Les miroirs qui doivent afficher des pixels de la couleur envoyée basculent en position On pour réfléchir la lumière

vers l'écran, les miroirs qui correspondent à des pixels noirs restent en position Off afin de ne pas renvoyer de lumière vers l'écran. Ce mouvement, qui peut se produire jusqu'à 5000 fois par seconde, permet de doser la quantité de lumière réfléchie vers l'écran et d'obtenir des nuances de luminosité. L'image à l'écran est ainsi composée par couches successives de couleurs fondamentales, les différences de dosage et de luminosité permettant d'obtenir toutes les autres nuances.

La roue teinte le faisceau lumineux

En chemin, le faisceau lumineux traverse une roue chromatique divisée en segments rouge, vert et bleu, les trois couleurs de base de la vidéo. En traversant un segment (le bleu, par exemple), le faisceau se colore de la teinte correspondante. La roue tourne pour produire les rayons rouge, vert, bleu, qui vont frapper les micromiroirs. Sur les premiers dispositifs DLP (dits 1x), la vitesse de rotation était de 3600 tours par minute. Aujourd'hui, sur les modèles 6x, elle est de 21600 tours par minute, ce qui permet d'atténuer l'effet arc-en-ciel dû à la succession des couleurs.



rayons colorés vers l'écran. L'effet arc-en-ciel est en revanche perceptible dans les téléviseurs DLP, qui reposent sur le même principe que les vidéoprojecteurs. A un détail près: il s'agit de rétroprojection. Le dispositif contient un miroir situé dans le fond de l'appareil qui réfléchit vers l'écran le faisceau lumineux des micromiroirs.

Depuis leur création, les circuits DMD n'ont cessé de se perfectionner. Les miroirs, ovales à l'origine, sont devenus carrés, et

les espaces qui les séparent ont ainsi été diminués. Des changements qui ont contribué à améliorer de manière importante le taux de contraste, qui est passé de 50:1 sur les premiers appareils à plus de 5000:1.

Noir profond et pas de rémanence avec le DLP

Ce point constitue le principal atout du DLP face au LCD, son rival dans le domaine de la vidéoprojection: avec le DLP, le noir s'obtient en ne renvoyant

pas de lumière vers l'écran (les miroirs restent en position Off); avec un LCD, le faisceau lumineux est bloqué par des cellules de cristaux liquides, mais comme la matrice de LCD reste éclairée, la lumière continue de passer (fortement atténuée) et le noir est rendu par un gris très sombre.

C'est justement parce qu'il permet de restituer des noirs profonds (et donc des images plus contrastées et plus « dynamiques ») que le DLP conserve les

faveurs des amateurs de home cinéma.

Ces derniers mettent aussi en avant un autre avantage du DLP sur le LCD, l'absence de rémanence: comme les micromiroirs du circuit DMD bougent rapidement, on ne voit pas de traînées à l'écran dans les images en mouvement, contrairement aux LCD, qui doivent composer avec le fameux temps de réponse. Autant de points forts qui pourraient assurer un succès grandissant à cette technologie. ■

■ VIDEO

DivX 6: il a tout du DVD

Avec la version 6, le DivX a fait sa mue: de simple outil de compression vidéo, il est devenu véritable format de fichier multimédia, intégrant bande-son, sous-titres et chapitres.

Tous les amateurs de vidéo connaissent depuis longtemps la grande qualité du DivX: il est capable de réduire de cinq à dix fois le poids d'un fichier vidéo tout en lui conservant une qualité acceptable, du moins aux yeux des non-spécialistes. Cependant, jusqu'à sa version 5.2, il se contentait de figurer parmi les meilleurs codecs vidéo.

Un codec (acronyme de codeur/décodeur) est un morceau de logiciel; une combinaison d'algorithmes utilisée pour encoder et décoder un fichier. Ce type de compression est destructeur: il dégrade le fichier d'origine, mais dans des proportions acceptables au moment de la restitution. C'est le cas du MP3 pour le son et donc du DivX pour la vidéo. De ce point de vue, chaque codec est conçu et optimisé pour un type de données particulier.

Profiter d'un film, c'est aussi écouter une bande-son et parfois même lire des sous-titres. Ce que le DivX, limité à l'image vidéo, ne proposait pas. Pas plus qu'il ne permettait un accès

direct aux différents chapitres du film, à la manière du DVD. Pour être exploitable, un DivX devait être associé à un fichier sonore, lui aussi compressé (en MP3, par exemple). Ces deux fichiers, l'un vidéo, l'autre audio, étaient alors réunis en un seul dans un fichier Avi (*Audio Video Interleave*). Ce format, mis au point en 1992 par Microsoft, peut contenir des données vidéo et audio, quel que soit leur mode de compression. C'est un conteneur multimédia en quelque sorte.

Remplacer l'Avi vieillissant

Mais comment lire ce fichier Avi? En utilisant un logiciel de lecture tel que Windows Media Player, de Microsoft, QuickTime, d'Apple ou Winamp, de Nullsoft, capable de reconnaître le codec utilisé à la compression de chaque fichier grâce à une signature laissée sur celui-ci. Ainsi, pendant la lecture, le logiciel retrouve sur le disque dur les codecs correspondant aux modes de compression des données, vidéo et

Des vidéos plus légères et plus fluides

Pour réduire la taille des vidéos, l'encodeur du DivX 6 s'appuie sur des outils de la norme MPEG4 Part2: la prédiction d'images, le mode d'optimisation QPEL et la compression avancée GMC.

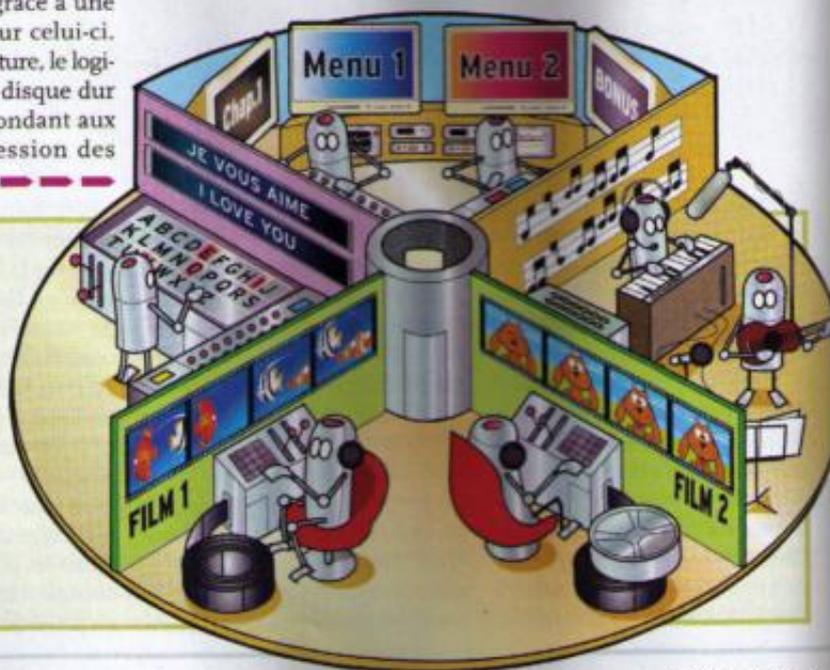
1 Le découpage: du Gop aux macroblocs



La séquence est décomposée en groupes d'images (Gop, Group of Pictures) semblables. L'encodeur tire parti de cette similarité. Il compressé chaque image en JPEG et la découpe en macroblocs de 16 x 16 pixels. Plutôt que de stocker les blocs identiques d'une image à l'autre, l'encodeur repère les changements et stocke les vecteurs de déplacement correspondants.

Un contenu plus riche

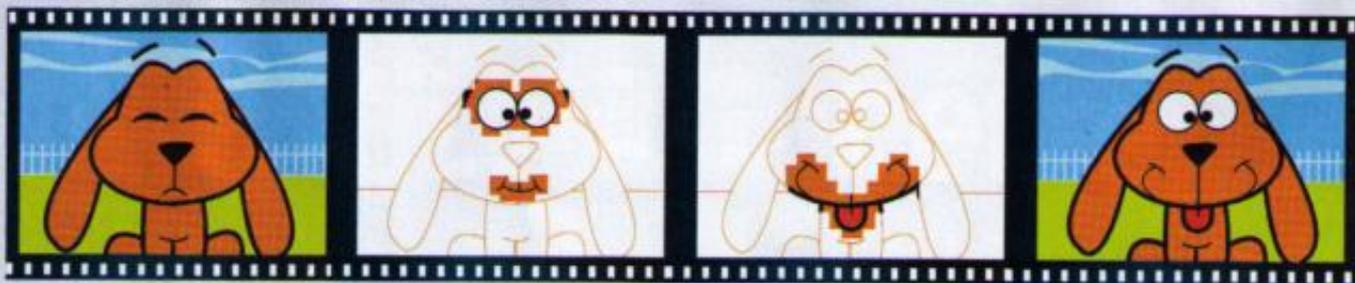
La taille des conteneurs DivX n'est pas limitée. Ils peuvent stocker plusieurs pistes vidéo, encodées avec des définitions différentes (pour être regardées par exemple aussi bien sur un téléviseur que sur un baladeur vidéo), plusieurs pistes audio (jusqu'à 8, de type MP3, AC3, Ogg Vorbis, WMA, etc.), enrichies par des sous-titres (8 au maximum) ainsi que les données nécessaires au chapitrage des films. En clair, lorsqu'on lit un fichier encodé en DivX 6, ce qu'on voit s'apparente au contenu d'un DVD.



2 L'identification des images-clés et des intermédiaires

La prédiction d'images est un mode de traitement qui distingue deux grands types d'images: les intra-images (ou images-clés) et les images prédictives. Dans cette séquence, la première et la dernière image sont des intra-images: tous leurs blocs sont conservés. Lourdes à stocker, elles sont indispensables

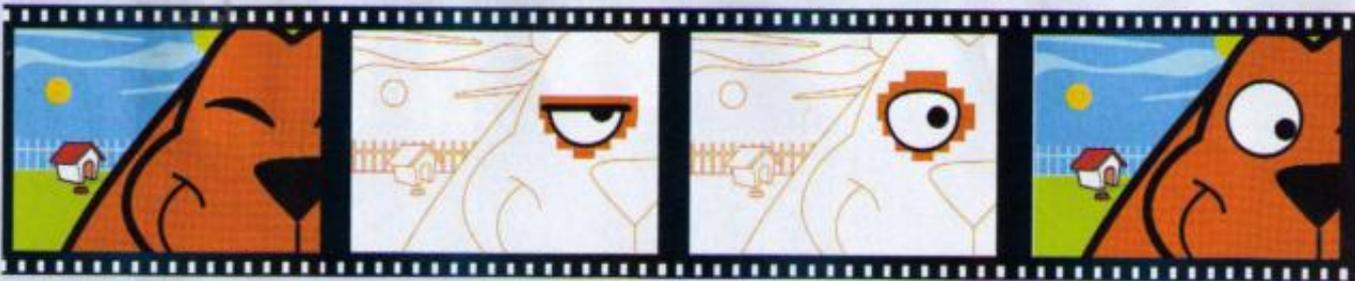
car c'est à partir d'elles que sont générées les images intermédiaires prédictives (les deux images centrales de notre séquence). Dans celles-ci, seuls les vecteurs de déplacement et les blocs correspondant à de nouveaux détails, comme les grands yeux ouverts du petit chien et sa langue pendante, sont stockés.



3 La détection des mouvements

Le calcul des vecteurs de déplacement des blocs prédictifs s'effectue avec une précision d'un pixel: l'encodeur tente de localiser les blocs déplacés dans l'intra-image de référence en procédant à des comparaisons entre images, pixel par pixel.

L'option QPel (*Quarter Picture Element*) permet d'affiner ce calcul. Les recherches de déplacement s'opèrent alors sur des quarts de pixel pour plus de fluidité des mouvements. Ainsi traitée, la paupière du chien ne s'ouvre pas de façon saccadée.



4 Le traitement simplifié des mouvements de caméra

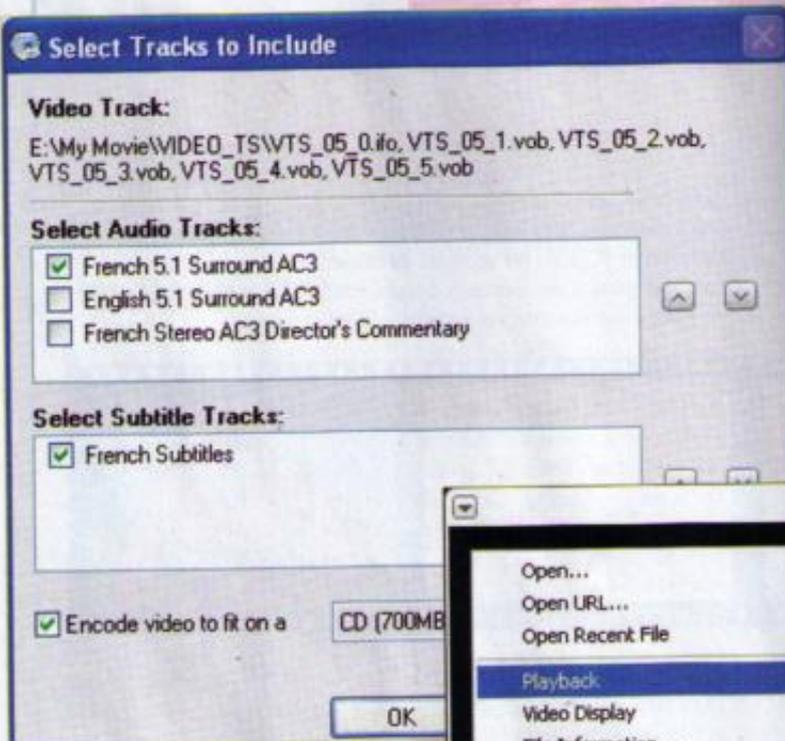
Quand la caméra balaye un paysage, effectue un zoom ou une rotation, les vecteurs de déplacement suivent un mouvement d'ensemble. Plutôt que de les calculer un par un, l'algorithme de compensation du mouvement global (GMC) permet à l'encodeur d'enregistrer un déplacement général. Dans cette séquence,

la caméra balaye la scène de droite à gauche, de l'arbre vers la niche. La plupart des blocs suivent donc un mouvement de la gauche vers la droite. Lorsque l'encodeur traite les deux images intermédiaires, il ne stocke que les blocs correspondant aux nouveaux éléments: le chien pour la deuxième image, la niche pour la troisième.



La V.O. enfin sous-titrée

Avec la version 6, les films encodés en DivX sont contenus dans des fichiers conteneurs .divx, qui comprennent aussi le sous-titrage encodé au format XSub. En ce qui concerne le son, il est désormais possible d'intégrer dans un fichier .divx des pistes encodées dans divers formats, dont l'AC3 (le Dolby Digital des DVD), le MP3, le WMA ou l'ADPCM. Toutefois, pour profiter du son de ses vidéos sur un lecteur de DVD de salon, mieux vaut se restreindre aux formats AC3 et MP3. Le label « DivX certified » des platines, délivré par DivX Networks, certifie que le lecteur de DVD reconnaît les formats audio MPEG1 Layer 2 (donc AC3) et MP3. Le label « DivX Ultra certified » sur les platines capables de lire le DivX 6, garantit que celles-ci lisent aussi le MP3 Surround.



audio, et les synchronise. Cependant le format Avi a vieilli: en effet, il ne gère que l'audio et la vidéo. A moins d'opérer quelques bidouillages, il ignore ce qu'est un sous-titrage, un chapitrage ou une diffusion en streaming nécessaire à l'affichage de vidéos en ligne.

Un logiciel pour profiter de l'interactivité

Des fonctions que proposent en revanche le nouveau format ASF, de Microsoft, le Mov, d'Apple, et le MPEG4. Pour gagner le respect des amateurs de vidéo (indispensable à son développement commercial ultérieur), la société DivX Networks se devait donc de proposer son propre format de conteneur. C'est donc chose faite depuis la version 6 et ses déclinaisons successives. Ce conteneur porte un nom: DivX Media Format (DMF), et ses fichiers sont désormais facilement identifiables: ils portent l'extension .divx.

Du point de vue de la compression, la version 6 s'avère par ailleurs plus performante: selon

DivX Networks, le poids des fichiers est réduit de 20 à 40 % par rapport au DivX 5. Et, avec la toute dernière version, la vitesse d'encodage est, selon l'éditeur, largement améliorée: jusqu'à 80 % de gain avec les processeurs simple cœur, voire 250 % avec les processeurs double cœur et hyperthreading. Attention, désormais, pour lire un

fichier encodé en DivX 6 et pouvoir en exploiter l'interactivité, une seule solution: télécharger, sur le site de l'éditeur, le logiciel DivX Player (gratuit).

« DivX Ultra certified »

Certes, on peut toujours continuer à lire les fichiers .divx à l'aide d'un logiciel de lecture multimédia classique, mais à

condition de changer au préalable l'extension .divx en .avi, ce qui provoque alors la perte de tous les éléments d'interactivité. Il en va de même pour les platines de salon certifiées DivX, voire simplement compatibles MPEG4. Pour profiter des atouts du DivX 6, les platines compatibles portent la mention « DivX Ultra certified ». ■

■ VIDEO

Ecrans plats: de la SD à la

Pour afficher correctement des images provenant de sources en définition standard, les téléviseurs HD utilisent des circuits spécialisés capables d'inventer de nouveaux pixels tout en gommant les artefacts.

On assiste à un engouement pour les téléviseurs à écran plat, de type LCD ou plasma, capables d'afficher des images en haute définition (HD). Ces modèles qui arborent le logo «HD Ready» séduisent par la qualité d'image qu'ils délivrent avec des sources HD. Hélas, ces dernières sont rares (si on excepte quelques titres disponibles au format Blu-Ray ou HD-DVD et quelques chaînes diffusées par satellite ou ADSL). C'est donc une image en définition standard (SD) qui sera la plupart du temps affichée sur le téléviseur 16/9 HD Ready ou Full HD, qu'il s'agisse de films sur DVD ou des chaînes de la TNT. Aucun problème, «*qui peut le plus peut le moins!*», seriez-vous tenté de dire... Hélas, en matière de TV HD, il n'en est rien: un téléviseur HD ne sait pas afficher directement une image en SD, tout simplement parce qu'elle ne contient pas assez de pixels!

Succession de traitements numériques

Une image SD d'origine compte 414 720 points (576 lignes de 720 points), alors qu'il en faut 920 600 pour un écran HD Ready (et même 2 073 600 pour un modèle Full HD). Pire, la plupart des sources vidéo connectées à un téléviseur – HD ou non – le sont par le biais d'une connexion analogique (Composite, S-Video, composantes YUV). Or, ces connexions véhiculent (sauf à de rares exceptions) un signal vidéo qu'on dit entrelacé, adapté au mode d'affichage par balayage des écrans cathodi-

ques... mais pas à celui, de type matriciel, utilisé par les écrans plats! Le téléviseur HD doit donc procéder à plusieurs traitements successifs avant d'être en mesure d'afficher l'image SD. Il peut encore être amené à adapter le rapport largeur/hauteur d'une image SD 4/3 à son propre rapport HD (systématiquement 16/9), ce qui induit un nouveau traitement numérique (voir infographie).

Ces multiples opérations altèrent de manière importante la qualité de l'image originale, au point qu'elle pourrait apparaître sur l'écran HD moins bonne que sur un téléviseur classique! Aussi, les constructeurs ont-ils développé des dispositifs visant à améliorer l'image (DNIe chez Samsung ou Pixel Plus HD chez Philips, pour ne citer qu'eux), qui interviennent après son adaptation à la dalle. Des processeurs spécialisés intégrés dans le téléviseur mettent ainsi en œuvre de puissants algorithmes visant à minimiser les défauts et autres artefacts de l'image convertie, le tout en temps réel.

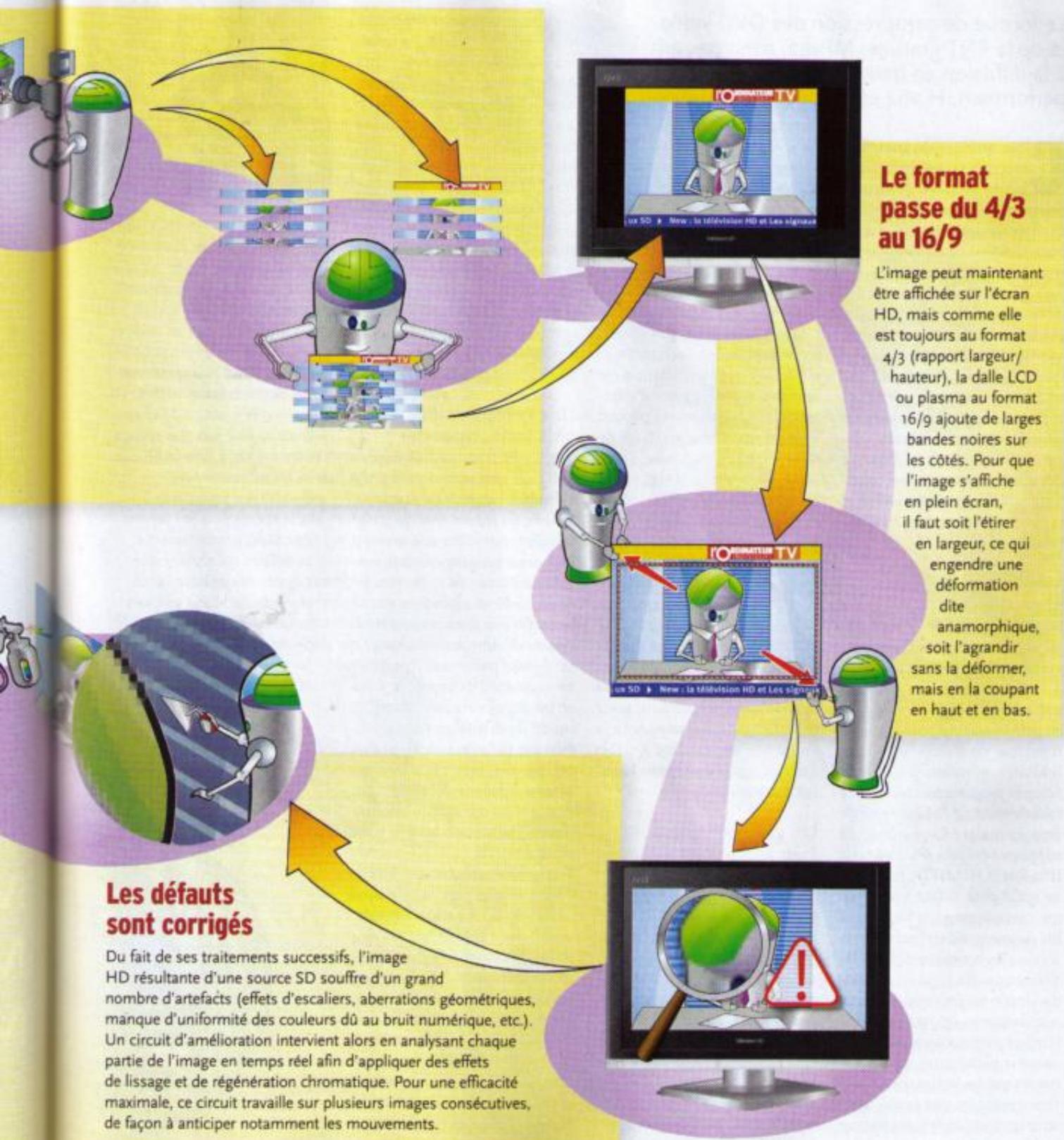
C'est sur ce terrain du traitement de l'image que les constructeurs se livrent à une surenchère technologique, la réactivité de la dalle LCD ou son taux de contraste, désormais peu différents d'un modèle à un autre, étant peu à peu relégués au second plan. Ces traitements numériques font maintenant la différence et expliquent en grande partie les disparités de prix constatées entre des modèles HD, aux caractéristiques par ailleurs très proches. ■

L'image est désentrelacée et des lignes sont ajoutées

Pour des raisons techniques historiques, l'affichage TV s'effectue en deux passes, les lignes paires puis les lignes impaires alternativement tous les 1/50 de seconde afin d'obtenir 25 images complètes par seconde. Un écran LCD utilisant une matrice de points finie, il ne peut accepter ce mode d'affichage en deux temps. Aussi, un circuit est chargé de numériser (si la source est analogique) puis de réassembler les différentes lignes qui composent l'image de départ en mémorisant les informations d'un cycle à l'autre. Il s'agit du procédé de désentrelacement. Mais, même désentrelacée, l'image SD reste composée de 576 lignes, alors que la dalle HD de l'écran requiert 720 lignes (TV HD Ready), voire 1 080 lignes (TV Full HD). Il faut donc mettre à l'échelle l'image originale (on parle de *scale-up*) en insérant artificiellement entre les lignes de l'image de départ des lignes calculées (+25% sur un modèle HD Ready et même +87% sur un modèle Full HD). Cet ajout de lignes par simple multiplication engendre de nombreux artefacts.



HD



VIDEO

H.264: la compression en ha

Le format de compression des DVD-vidéo et de la TNT gratuite, MPeg2, n'est pas adapté à la diffusion en haute définition. Bien plus performant, H.264 est appelé à le remplacer.

Ceux qui font du montage vidéo le savent bien: une heure de vidéo non compressée en 720 x 576 points monopolise quelque 71 Go d'espace disque! C'est beaucoup, mais ce n'est rien comparé à une heure de vidéo en haute définition: en 1920 x 1080 points, il faut compter plus de 350 Go! Un volume de données trop élevé pour être stocké sur un support optique actuel et impossible à transférer en temps réel, ni par le réseau hertzien, ni même par ADSL: le débit nécessaire à un tel transfert serait d'environ 800 Mbit/s! C'est là qu'intervient la compression vidéo...

Meilleur en débit et en qualité

Pour des images en 720 x 576 points, le MPeg2 fait très bien l'affaire. Il autorise le stockage d'un film - et de ses bonus - sur les 8,5 Go d'un DVD-vidéo et, pour la télévision numérique, il permet de réduire le débit à 8 Mbit/s, et même à 1 Mbit/s, selon le programme. Mais, avec l'avènement de la haute définition, et malgré l'apparition de supports optiques plus spacieux (Blu-Ray et HD-DVD), le MPeg2 ne suffit plus. Il faut un format qui comprime plus fortement les données vidéo tout en préservant les bénéfices de la haute définition. Et c'est le H.264, développé par les organismes de normalisation Iso/MPeg et UIT (Union internationale des télécommunications), qui a été retenu par les industriels. Il permet, à qualité égale, d'obtenir un débit deux fois inférieur à celui du MPeg2 et, à débit

égal, d'atteindre une qualité d'image bien supérieure à celle d'une vidéo en MPeg4 Part2 (qui est au cœur des formats DivX, XviD et WMV). Les principes d'encodage du H.264, également connu sous les appellations MPeg4 Part10 ou MPeg4/AVC (*Advanced Video Coding*), ne diffère pas fondamentalement de ceux du MPeg2 ou du MPeg4 Part2 dont il est dérivé. Il s'agit toujours d'effectuer la compression en partant d'un groupe d'images (Gop) de taille variable, composé d'une image de référence (appelée I pour intra) intégralement codée et de plusieurs images relatives (appelées P pour prédictive ou B pour bidirectionnelle), dont seules les variations entre images sont conservées. Par rapport au MPeg2 et au MPeg4, le H.264 ajoute aux images I, P et B deux types d'images intermédiaires, SI et SP, calculées et intercalées dans le flux, notamment pour fluidifier la transmission de la vidéo sur les canaux à débit variable (ceux du réseau Internet, notamment).

Un gain considérable

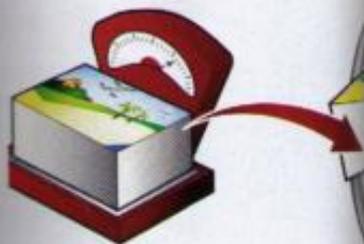
Pour analyser les variations entre images, c'est-à-dire le « mouvement » des pixels, le MPeg4 divise chaque image en blocs de pixels, dont il recherche la présence dans les images précédentes ou suivantes, les mouvements relevés étant ensuite traduits en vecteurs. Lors de cette opération, et contrairement au MPeg4, qui utilise une transformée de Fourier, le H.264 exploite une transformée sans arrondi après la virgule, donc sans perte d'in-

formations supplémentaire. Au terme de cette phase, les informations redondantes d'une image à une autre ont été supprimées et les mouvements observés ont été encodés sous forme de vecteurs et d'informations de variations. Le gain est considérable, mais, et c'est le propre des compressions destructrices, des informations ont été perdues lors de l'opération. La principale qualité du format H.264 apparaît à ce niveau: le bloc issu de cette première compression est comparé avec ceux qui le jouxtent pour corriger les erreurs résiduelles après prédiction.

Une compression plus forte, mais qui dégrade moins l'image

Suit alors une seconde compression du bloc, non destructrice celle-là, du même type que celle utilisée pour créer une archive Zip, pour un gain en compression de l'ordre de 15%. Finalement, le H.264 procède, par le biais de son composant NAL (*Network Abstraction Layer*), à un dernier traitement (non illustré ci-contre). Il formate la vidéo en un signal structuré adapté au mode de diffusion: transmission par paquets (satellite, radio ou Internet) ou en flux continu (disque optique). A l'arrivée, un flux en haute définition ne requiert plus que 8 Mbit/s, voire moins.

Ses qualités ne doivent cependant pas masquer le principal défaut de ce format de compression: par rapport au MPeg4 Part2, la complexité du codage est multipliée par 8. Pour une diffusion en temps réel, la puissance de traitement nécessaire devient colossale, les codeurs temps réel actuels ne permettant, pour l'instant, de n'utiliser que 40% du potentiel du H.264, avec des taux de compression encore limités. ■



4 Les blocs subissent une dernière compression

Avant d'être intégré à l'image finale, le bloc subit un codage dit entropique, une technique de compression non destructrice équivalente à celle opérée pour les fichiers Zip. Mais, contrairement au MPeg2 qui n'utilise que l'algorithme de base, dit de Huffman, le H.264 emploie selon le bloc plusieurs de ses variantes, qui sont plus sophistiquées et plus efficaces. ■



La haute qualité

1 L'image est découpée en blocs

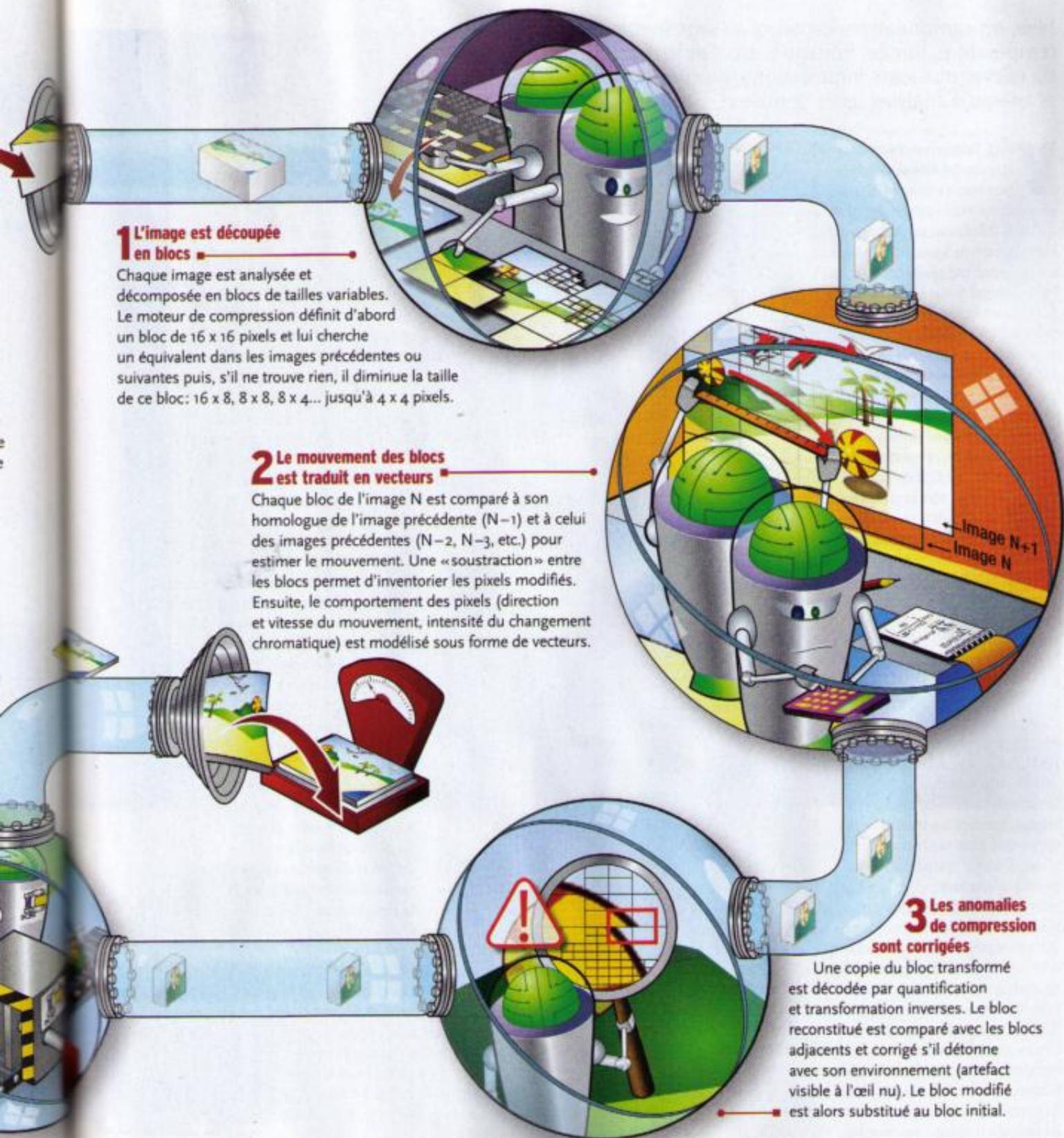
Chaque image est analysée et décomposée en blocs de tailles variables. Le moteur de compression définit d'abord un bloc de 16 x 16 pixels et lui cherche un équivalent dans les images précédentes ou suivantes puis, s'il ne trouve rien, il diminue la taille de ce bloc: 16 x 8, 8 x 8, 8 x 4... jusqu'à 4 x 4 pixels.

2 Le mouvement des blocs est traduit en vecteurs

Chaque bloc de l'image N est comparé à son homologue de l'image précédente (N-1) et à celui des images précédentes (N-2, N-3, etc.) pour estimer le mouvement. Une « soustraction » entre les blocs permet d'inventorier les pixels modifiés. Ensuite, le comportement des pixels (direction et vitesse du mouvement, intensité du changement chromatique) est modélisé sous forme de vecteurs.

3 Les anomalies de compression sont corrigées

Une copie du bloc transformé est décodée par quantification et transformation inverses. Le bloc reconstitué est comparé avec les blocs adjacents et corrigé s'il détonne avec son environnement (artefact visible à l'œil nu). Le bloc modifié est alors substitué au bloc initial.



■ CAPTEUR

Enregistrer c'est bien, analy

Hier, on cantonnait les capteurs au simple rôle de détecteur: température, fumée, intrusion, etc. On leur demande maintenant de relever plusieurs informations, de communiquer entre eux, et même d'analyser leurs données!

Vous faites un saut à la supérette du coin. Les portes automatiques s'ouvrent à votre approche: un capteur à infrarouge a détecté votre présence. Vous passez à la caisse pour payer: le capteur à laser intégré dans la douchette du caissier lit le code-barres inscrit sur l'étiquette du produit. Et si vous tentez de partir avec un article en poche sans le payer, un capteur à ondes radio, situé dans le portique de sortie, se charge de donner l'alerte.

Les capteurs sont partout. Le moindre appareil photo numérique (voir page 70), le plus simple des ordinateurs, la plus banale des voitures..., tous possèdent des capteurs. Leur rôle: transformer une grandeur physique (température, luminosité, bruit, etc.) en donnée mesurable.

Du rudimentaire au plus sophistiqué

Tout capteur intègre un transducteur, qui convertit une énergie en une autre: par exemple, une énergie mécanique en énergie électrique. Le plus souvent, le capteur délivre un signal électrique, mesuré ou traité par un dispositif plus ou moins complexe. Dans certains cas, le dispositif se contente d'afficher la mesure effectuée (un capteur de vitesse associé à un compteur, par exemple). Mais il peut aussi actionner un autre appareil quand le signal atteint un certain seuil (comme les capteurs de détection d'incendie, qui déclenchent une alarme si la température dépasse une valeur plafond).

Si certains capteurs sont plutôt d'un fonctionne- 



> Rattraper les erreurs de prise de vue. Si le premier plan d'une photo est flou et le fond net (ci-dessus), on pourra modifier la mise au point par traitement informatique grâce à un capteur d'image et à un objectif traditionnels associés à une matrice de microlentilles (ci-contre).

Des appareils photo infallibles

Une photo avec un premier plan flou et un fond net, tout le monde connaît. Il suffit que l'autofocus se cale ailleurs que sur le sujet principal, et la photo est ratée! L'idéal serait de pouvoir rattraper l'erreur a posteriori (avec un logiciel, par exemple). Mais aucun traitement ne peut ajouter une information qui n'a pas été enregistrée lors de la prise de vue. Les chercheurs de l'université de Stanford ont pourtant mis au point une technologie contredisant en partie cette certitude. Ce système est composé d'un capteur d'image et d'un objectif traditionnels, comme dans n'importe quel appareil photo numérique. Mais il dispose aussi d'une matrice de microlentilles placée devant le capteur qui, au moment de la prise de vue, relève des informations sur la lumière (son intensité ainsi que son orientation). Ces informations permettent ensuite de modifier la mise au point de l'image par traitement informatique en simulant l'allongement ou la réduction des rayons lumineux. L'utilisateur peut ainsi décider de faire apparaître l'élément du milieu net, mais les premier et dernier plans flous. Comme s'il pouvait revenir en arrière et modifier les paramètres de prise de vue.



y ser c'est mieux!



Structure intelligente

Ils sont minuscules, capables de communiquer entre eux et même de s'alimenter à l'énergie solaire. Non, il ne s'agit pas de microrobots écolos, mais de *smart dust* (poussière intelligente, en français), un concept de microsystèmes électroniques fonctionnant en réseau de manière autonome, qui intéresse aussi bien les militaires que les scientifiques travaillant dans le domaine de l'exploration (voir également page 53). En Australie, au Csiro (*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*), des équipes de chercheurs se sont lancées dans le développement de ce qu'ils appellent «structures autonomes douées de sensations». Ainsi, une maquette de véhicule spatial a été équipée de 200 cellules disposées sur son fuselage,

chacune munie de quatre capteurs acoustiques, d'un module électronique de contrôle et de traitement de l'information et d'un dispositif de transmission des données. En cas d'impact, ces cellules sont capables, en échangeant leurs informations, d'évaluer la nature du choc et l'étendue des dommages subis. Chaque cellule est analysée («échantillonnée») un million de fois par seconde. Filtrage, numérisation et calcul requièrent une puissance de 100 Mips (millions d'instructions par seconde), l'équivalent de celle d'un Pentium de première génération. Avec ou sans fil, l'échange des données entre cellules s'effectue à 1 Mbit/s sur un réseau maillé afin que le fonctionnement de l'ensemble du dispositif ne soit pas perturbé par la défaillance d'une cellule.



A l'affût du feu

Les larves des coléoptères du genre *Melanophila* ne se développent que dans le bois d'arbres récemment brûlés. La nature a doté ces insectes d'un organe capable de détecter un incendie à 80 km de distance! Grâce à des cavités sphériques situées sur leur thorax, remplies d'une sorte de cire et reliées à des cellules nerveuses, ces coléoptères sont sensibles aux infrarouges, donc à la chaleur.

Un laboratoire de la Darpa (*Defense Advanced Research Projects Agency*), l'agence de recherche

de l'armée américaine, a ainsi mis au point un capteur infrarouge beaucoup plus sensible que les modèles utilisés par les militaires, dont le principe s'inspire du mécanisme de détection de ces insectes. Il est basé sur des protéines bactériennes qui grossissent sous l'effet d'un rayonnement infrarouge. Pour enregistrer ce changement d'état (la fonction des cellules nerveuses chez les coléoptères), les chercheurs américains utilisent un laser dont l'angle de réflexion varie en fonction du volume du capteur.

Au cœur des Mems

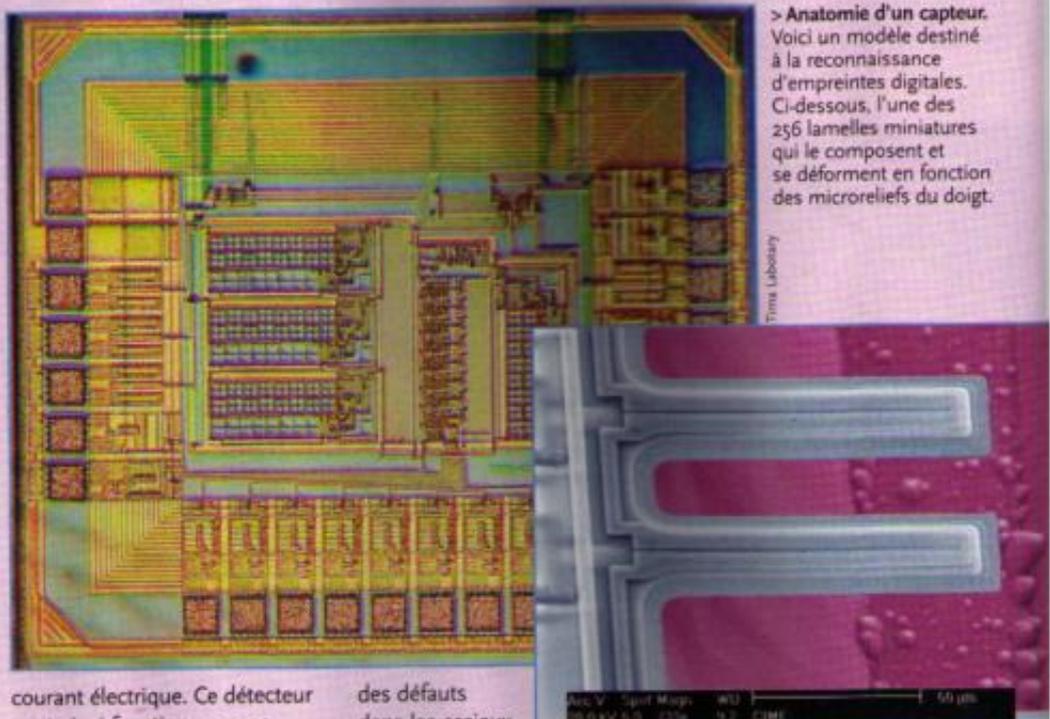
Les capteurs occupent un rôle central dans ce qu'on appelle les Mems (*Micro-Electro-Mechanical Systems*), systèmes ultra-miniaturisés qui combinent éléments électroniques et mécaniques sur une même puce.

> Le laboratoire Tima, de Grenoble, a ainsi mis au point un capteur dédié à la reconnaissance d'empreintes digitales. Il est constitué de 256 lamelles miniatures (un dixième de millimètre de longueur) qui se déforment une par une en fonction des microreliefs du doigt. Une fois mémorisée, la cartographie de ces déformations peut servir de sésame à tout type d'appareil.

Tout le système tient sur une puce: trois rangées de lamelles, des jauges de pression (une à la base de chaque lamelle) et des transducteurs.

> Le détecteur à cascade quantique, développé par le groupe Thales, le CNRS et l'université Paris VII.

Il s'agit d'un capteur d'ondes infrarouges. Sa particularité: les photons qu'il reçoit entraînent la migration en cascade de ses électrons, cette migration générant un



> Anatomie d'un capteur. Voici un modèle destiné à la reconnaissance d'empreintes digitales. Ci-dessous, l'une des 256 lamelles miniatures qui le composent et se déforment en fonction des microreliefs du doigt.

courant électrique. Ce détecteur peut ainsi fonctionner sans alimentation et donc s'émanciper du traditionnel bruit de fond qui affecte les capteurs infrarouges traditionnels (le même phénomène s'observe sur les téléviseurs dont l'alimentation provoque le moutonnement des images). D'ici à quelques années, ce capteur équipera peut-être des caméras utilisées pour s'orienter dans la nuit, le brouillard ou la fumée, repérer

des défauts dans les essieux de TGV pendant qu'ils roulent ou détecter des fissures dans les centrales nucléaires. Système à nanolamelles et capteur à cascade quantique ont un point commun: constitués de couches semi-conductrices, ils sont fabriqués comme un microprocesseur ou une mémoire. Les procédés de lithographie et de gravure sont identiques. C'est l'un des points

forts des Mems: produits dans les mêmes conditions que les semi-conducteurs, ils présentent des coûts de production raisonnables. Dès lors, rien ne s'oppose à ce qu'ils fassent vite partie de notre quotidien. Hormis les fabricants de semi-conducteurs, qui doutent que ces nouvelles technologies puissent être rentables à court terme...

ment rudimentaires (ceux des thermomètres, par exemple), d'autres sont très sophistiqués. C'est le cas des modèles dits intelligents, qui combinent un dispositif de calcul (un microprocesseur ou un microcontrôleur), un système de conditionnement du signal programmable et une interface de communication chargée de la transmission du signal.

Analyse du mouvement, voire de la chute

Le capteur d'accélération triaxial MMA7260Q, de Freescale Semiconductor, fait partie de cette nouvelle génération de modèles intelligents. Intégré

dans les baladeurs audio/vidéo YH-J70, de Samsung, il protège le disque dur en cas de chute de l'appareil. Dès que l'accélération dépasse un seuil programmé par le constructeur, et quelle que soit la direction que prend l'appareil dans sa chute, le système d'exploitation du baladeur déclenche le rangement des têtes de lecture du disque dur. Au sol, la jolie coque en plastique du YH-J70 sera peut-être en morceaux, mais le disque dur en sortira – théoriquement – intact. Ce même capteur sert aussi à naviguer dans les menus: pour passer de l'un à l'autre, il suffit d'incliner l'appareil du bon côté!

Il existe aujourd'hui de nombreux capteurs intelligents, utilisés dans des domaines très variés. L'équipementier automobile Valeo propose ainsi un capteur de pluie et de lumière qui déclenche automatiquement l'allumage des feux de la voiture. Meteo Optimum a mis au point un capteur pour les exploitants de réseaux routiers qui, une fois intégré dans la chaussée, indique l'état du revêtement (sale, humide, enneigé, etc.), sa température et sa concentration en sel. MUT Aviation-Technology a développé un capteur de détection d'incendie pour les soutes d'avions, qui, associé à une caméra infrarouge et un logiciel

de traitement d'images, alerte les pilotes en cas de situation dangereuse, puis leur permet de contrôler l'efficacité des mesures mises en œuvre.

Economiques, peu encombrants, peu gourmands en énergie, mais aussi faciles à intégrer dans des produits industriels: les capteurs de demain devront réunir toutes ces qualités. Les plus intelligents seront capables de s'associer à des traitements numériques complexes et intensifs. Ils pourront alors sortir des laboratoires pour rejoindre les capteurs, certes encore basiques, mais tout de même fiables et bien pratiques, qui nous entourent déjà. ■

■ **COMPRESSION**

Quels **successeurs** pour le **JPeg** et le **MPeg** ?

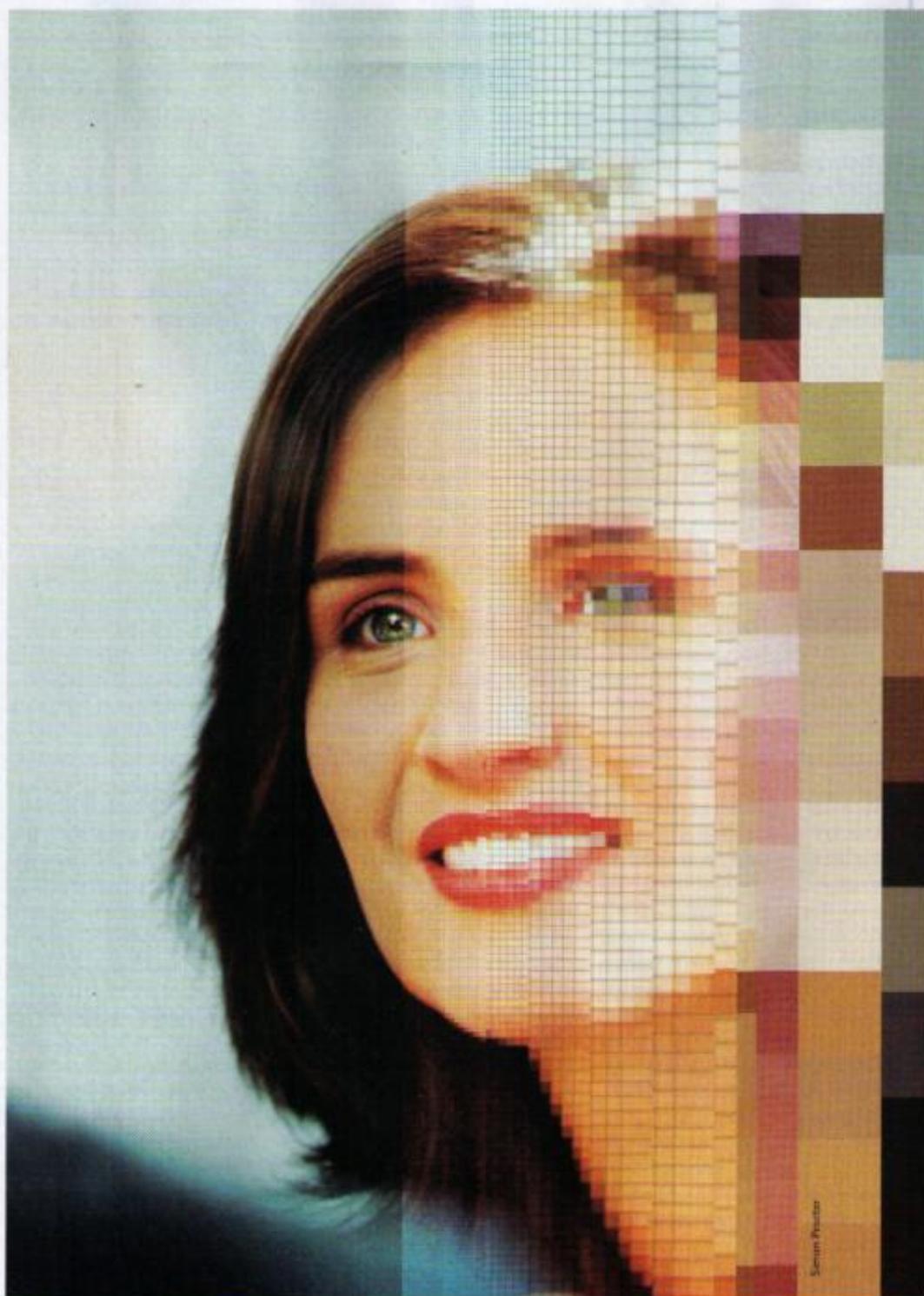
Réduire le poids des images sans en altérer la qualité : c'est le but des techniques de compression que les chercheurs tentent d'améliorer.

Photos, vidéos, télévision, nous consommons toujours plus d'images numériques. Mais les tuyaux qui servent à les diffuser (liaisons ADSL et câble, réseaux de téléphonie mobile, etc.) comme les supports qui permettent de les stocker (cartes mémoire, disques durs, DVD, etc.) n'ont pas des capacités infinies... même si elles augmentent continuellement.

D'autant que ces flots de pixels vont encore s'accroître avec le développement de nouvelles technologies, telles la haute définition, la télévision sur téléphone mobile, etc. Pour satisfaire ces nouveaux besoins, les spécialistes cherchent à mettre au point d'autres méthodes de compression d'image, afin de réduire le poids des données. Avec une contrainte incontournable : ne pas – trop – dégrader la qualité.

Une image découpée en carrés

Les premiers standards de compression d'image n'avaient que peu d'incidences sur la qualité. A l'instar des techniques de compression de données « informatiques », elles se contentaient de réduire la taille des fichiers en codant intelligemment les redondances (les parties qui se répètent



à l'identique). Ainsi, au lieu de coder une image point par point, toutes les zones présentant des caractéristiques semblables (des aplats de couleurs, par exemple) utilisaient le même code, et ce code était d'autant plus court que l'élément était fréquent. Avec ce type de compression, l'image compressée ne présentait qu'un faible taux de dégradation, elle ressemblait beaucoup à l'image d'origine. Revers de la médaille: le poids du fichier était souvent quasi identique à celui du fichier d'origine!

Un nouveau JPEG basé sur les ondelettes

Puis est arrivé le JPEG. Ce format tire son nom du *Joint Photographic Expert Group*, le comité de spécialistes de l'image qui a défini sa norme en 1991. Destructif, le JPEG permet de faire varier le taux de compression de façon inversement proportionnelle à la qualité de l'image.

Son principe repose sur le découpage de l'image en carrés de 8 x 8 pixels (ou 16 x 16), puis sur leur compression à l'aide d'une opération mathématique appelée DCT (*Discret Cosine Transform*, soit en français Transformée en cosinus discrète). Cette opération traduit ces carrés d'une part en fréquences, dont la valeur représente l'importance et la rapidité d'un changement dans l'image, d'autre part en amplitudes, dont la valeur représente l'écart des changements de couleurs.

Pour faire baisser le poids des images, on augmente le taux de compression en éliminant les fréquences de faible amplitude. Bien entendu, plus le nombre de valeurs supprimées de cette façon est important, plus l'image est mauvaise: après l'opération, le réassemblage des carrés engendre des artefacts disgracieux en faisant apparaître des traces au niveau de leurs jonctions, tels des effets moirés. Mais c'était, jusqu'à il y a peu de temps, le prix à payer pour une compression importante. En 2001, des chercheurs ont

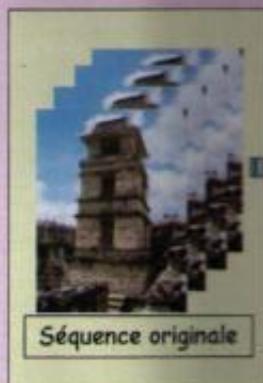
finalisé un procédé qui élimine ce défaut. Baptisé JPEG 2000, il ne repose plus sur les DCT, mais sur les ondelettes (une fonction mathématique).

Plutôt que de compresser l'ensemble de l'image au même taux, le procédé des ondelettes analyse les contrastes et les classe en fonction de leur importance. La compression tient compte de ces différences: une dégradation plus importante est admise pour les régions à faible contraste, là où les approximations n'auront que peu d'importance pour le rendu de l'image. Les zones de fort contraste sont, en revanche, ménagées. Cette compression à géométrie variable autorise, à qualité identique, une compacité plus grande que le JPEG classique. S'il n'est pas parfait, le résultat introduit une impression de flou général plus acceptable que l'apparition d'artefacts aux jointures des blocs. Mais la complexité de ses calculs nécessite tant de ressources au niveau de la mémoire et des processeurs que le JPEG 2000 n'a pas vraiment réussi à s'imposer.

Un standard difficile à détrôner

Aujourd'hui, plusieurs pistes sont suivies pour trouver un digne successeur au JPEG. Certains chercheurs tentent d'améliorer les processus mathématiques servant à compresser les images, tandis que d'autres essaient d'en élaborer de nouveaux. Mais aucun n'a encore fait la preuve de la supériorité de son procédé de compression par rapport au JPEG. L'enjeu est pourtant de taille, car imposer un nouveau format reviendrait à percevoir des droits de la part de nombreux fabricants (constructeurs d'appareils photo numériques, de décodeurs, de téléphones mobiles...). C'est pour cette raison que les chercheurs restent discrets sur leurs nouvelles pistes et leurs progrès. En matière de compression d'images, la bataille des standards ne fait que débuter. ■

La vidéo en pleine mutation



Séquence originale

> Le taux de compression diffère selon le support qui doit accueillir l'image. Plus élevé pour une diffusion sur l'écran d'un téléphone mobile, il sera moindre pour un fichier destiné à être diffusé sur un téléviseur.

► Baptisé H.265 ou SVC

(*Scalable Video Coding*), le successeur du H.264 ou Mpeg4 Part10 (voir page 82)

devrait être normalisé d'ici à cinq ans. Par rapport à ce dernier, le H.265 réduira de moitié le débit nécessaire

à une transmission ainsi que l'espace de stockage, pour une qualité d'image équivalente. Sa particularité: il sera capable de s'adapter au support d'affichage des images (voir notre exemple en images).

Le procédé de compression opérera de façon hiérarchique, par couches: la couche de base obtenue lors de la compression d'une image sera la même, quel que soit le support de diffusion. Les images destinées à la télévision auront plus de couches que celles réservées aux mobiles.



Qualité inférieure



Pleine qualité

► Le VC-1, retenu en France par Club Internet pour son service de télévision sur ADSL, a été mis au point par Microsoft. Microsoft entend le rendre auto-adaptable aux différents moyens de diffusion. La Chine essaye, elle aussi, d'imposer son procédé de compression vidéo. L'AVS (*Audio Video Coding Standard*) a été développé par le *Workgroup of China*, un consortium qui regroupe une cinquantaine d'universités et de sociétés sous la houlette du ministère de l'Industrie chinois.

Utiliser les fractales

Depuis 1986, Michael Barnsley, chercheur au *Georgia Institute of Technology* d'Atlanta, développe une méthode pour compresser les images à l'aide d'algorithmes basés sur les fractales, ces courbes dont les motifs se répètent à l'intérieur d'elles-mêmes. La compression fractale considère qu'une image est composée de zones qui répliquent, en plus petit ou en plus grand, d'autres parties de l'image. Elle autorise de meilleurs résultats que le JPEG sur les images comportant de nombreux

Comment améliorer le JPeg

► **Les spécialistes de France Télécom** qui collaborent au *Joint Photographic Expert Group* travaillent sur des ondelettes de seconde génération, plus efficaces que celles, classiques, utilisées dans le JPeg 2000. Adaptées aux zones comportant des formes géométriques (avec des lignes ou des contours marqués), cette nouvelle génération d'ondelettes doit cependant être améliorée au niveau du codage des textures et des détails.

> Les ondelettes de France Télécom doivent être améliorées au niveau des textures et des détails.



> Tandis que les procédés JPeg divisent l'image en carrés de taille identique, les bandelettes de Let It Wave s'adaptent aux structures géométriques et aux contours.

► **La méthode des bandelettes**, inventée par des mathématiciens français issus de Polytechnique, consiste à reconnaître les bords d'un motif. Adapté aux images de petite taille qui doivent préserver des détails fins (les photos d'identité, par exemple), ce procédé est déjà mis en œuvre dans un logiciel commercialisé par Let it Wave.

► **Henrique Marval, chercheur chez Microsoft**, est à l'origine du PWC (*Progressive Wavelet Codec*). Ce procédé consiste à diviser l'image en zones qui suivent les arrondis et les courbes des éléments représentés, et non plus en carrés. Le PWC autoriserait une compression à un taux supérieur au JPeg à qualité d'image égale, voire meilleure. De plus, il suffirait de choisir la taille finale de l'image pour que le logiciel de compression comprenne et exécute cette tâche en une fois (au contraire du JPeg, qui exige en général plusieurs essais avant d'obtenir un fichier d'une taille préalablement définie).

► **Autre méthode**: celle de Trac D. Tran, de l'université John-Hopkins de Baltimore. Basée sur une opération mathématique appelée *Lapped Transform*, sa technique permettrait de coder une image en tenant compte des différences et des ressemblances que présente chaque carré avec ses voisins.

détails irréguliers, comme des photos de littoral accidenté ou d'empreinte digitale, par exemple. Mais ce procédé souffre d'un défaut: la lenteur des calculs. Des recherches sur l'amélioration de cette méthode de compression sont ainsi menées notamment à l'université de Waterloo et à l'école Polytechnique au Canada, à l'université de Bath en Angleterre et à l'Inria (Institut de recherche en informatique et en automatique) de Rocquencourt.

■ GESTION DE FICHIERS

Prise d'empreintes musicale

Les chercheurs développent des logiciels capables de reconnaître, de classer et même de résumer automatiquement toutes sortes de fichiers audio.

Le numérique n'a pas seulement révolutionné l'enregistrement audio, il a aussi profondément bouleversé la diffusion de la musique, et pas uniquement en raison des copies pirates. De fait, le couplage du MP3 et d'Internet a fait se multiplier dans d'immenses proportions les fichiers audio sur toutes sortes d'appareils (ordinateurs, baladeurs, téléphones mobiles, etc.). Et si on ne s'astreint pas à un minimum d'organisation, on peut aisément

se perdre parmi les centaines voire les milliers de chansons que peut contenir un disque dur de PC. C'est précisément à ce type de problème que travaillent désormais certains laboratoires spécialisés en recherche musicale. Car même si on peut toujours améliorer les aspects purement techniques de l'audio (grâce à de l'encodage compressé avec un minimum de pertes ou à des haut-parleurs plus fidèles, par exemple), ce sont davantage les

questions de classement et d'identification qui passionnent actuellement les spécialistes. Plusieurs expériences menées dans des laboratoires donnent déjà une bonne idée de la façon dont les amateurs de musique pourront prochainement organiser leurs collections, retrouver rapidement des morceaux et même faire des découvertes par affinités.

Conseil, expertise et synthèse

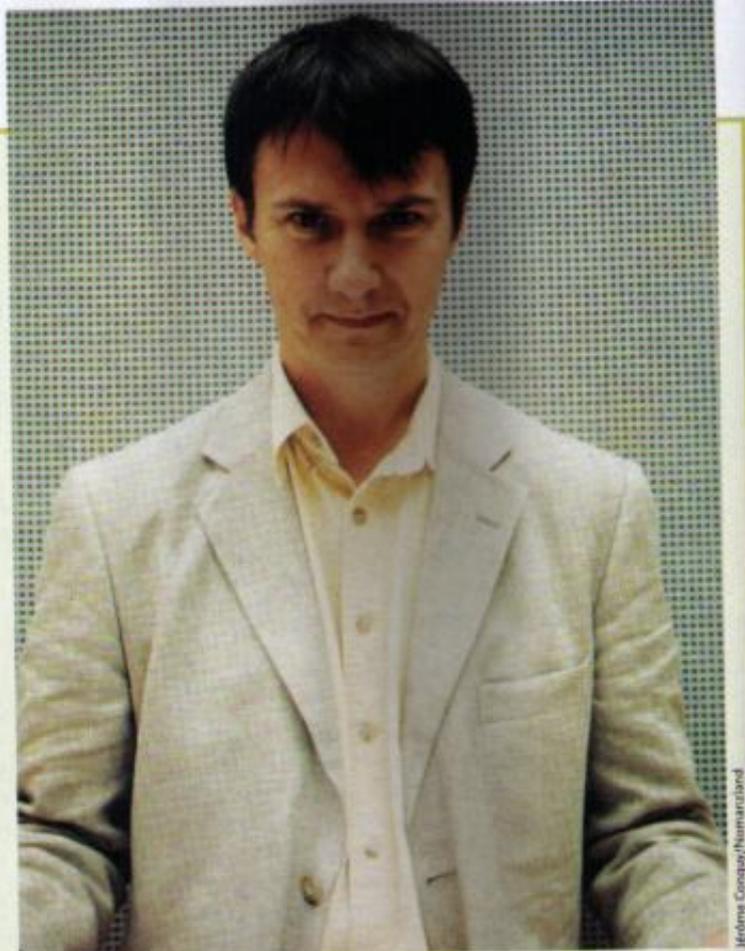
Des logiciels existent déjà à l'état de prototypes pour classer automatiquement des morceaux selon certaines similitudes musicales, identifier une chanson en fredonnant un air ou

encore « condenser » l'esprit d'une symphonie entière en trente secondes ! Ces recherches viendront un jour compléter les fonctions des logiciels de gestion multimédias, comme le Lecteur Windows Multimédia, de Microsoft, ou iTunes, d'Apple, qui s'appuient essentiellement sur les informations textuelles stockées dans les étiquettes intégrées aux fichiers (les fameux tags ID3 des MP3). Elles devraient ainsi enrichir les modules de recherche et de découverte proposés par les magasins en ligne. Et elles pourraient se retrouver embarquées dans les chaînes hi-fi du futur, comme le promet le projet européen SemanticHIFI. ■

Réduire à l'essentiel

Si les sites de vente de musique proposent bien des extraits musicaux d'une trentaine de secondes, ils ne sont pas toujours représentatifs d'un morceau complet. Pas plus que l'écoute des seules introductions... L'idéal, pour se faire rapidement une idée d'un morceau, serait d'en entendre un condensé, un résumé des « phrases clés ». C'est précisément ce à quoi travaille Hugues Vinet, directeur scientifique à l'Institut de recherche et coordination acoustique/musique (Ircam) de Paris. Avec son équipe, il a mis au point un logiciel capable d'extraire la substantifique moelle d'une chanson ou d'une symphonie. Ce programme analyse la structure complète d'un morceau afin de repérer ses séquences caractéristiques (intro, couplet, refrain, pont, solo, etc.). Partant de cette cartographie, il effectue une synthèse en mettant bout à bout des bribes de chacun de ces états stables, à l'aide de discrets fondus enchaînés, et en unifiant si besoin le tempo. Le résultat, qui ne dure pas plus de trente secondes, est non seulement parfaitement représentatif de la musique d'origine, mais reste aussi très agréable à écouter.

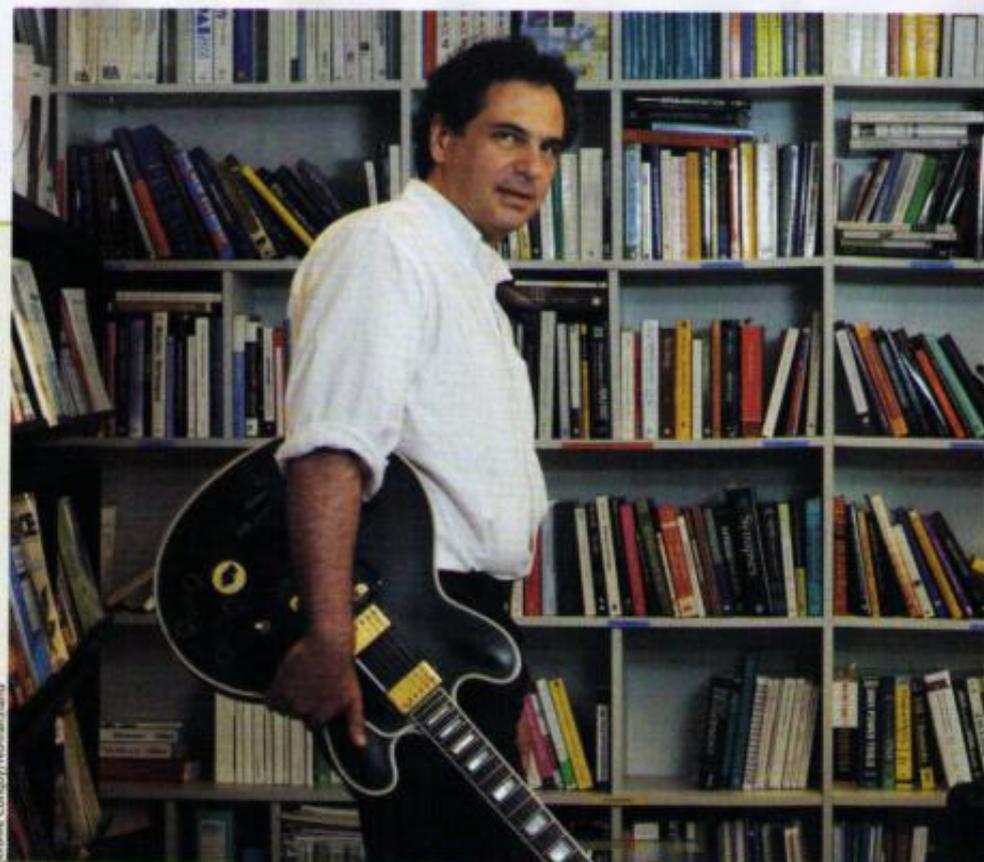
> **Le maître de la synthèse.** Grâce aux travaux d'Hugues Vinet à l'Ircam, on peut désormais écouter un morceau sous la forme d'un résumé d'une trentaine de secondes. Mélodie, rythme, phrasé... L'essentiel est là.



Jerôme Comoy/Numarizans

Classer par similitudes

François Pachet aime trouver des musiques qu'il ne connaît pas, mais qu'il sait qu'il apprécie ! Au sein du laboratoire parisien de Sony, ce chercheur a en effet participé à la conception d'un logiciel capable de classer des morceaux en fonction de leurs caractéristiques sonores et musicales (timbres, rythme, etc.) et selon une taxonomie choisie par son utilisateur. Ce « butineur », comme l'appelle François Pachet, sait ainsi ranger la chanson *Eleanor Rigby*, des Beatles, à côté d'un air baroque d'Henry Purcell, simplement parce que ces deux morceaux comportent des similitudes musicales. Au fur et à mesure que l'utilisateur assigne des catégories à ses morceaux, le logiciel affine automatiquement son classement. Le but ? Ne plus dépendre des catégories, parfois artificielles, définies par les maisons de disques et les distributeurs, et casser les barrières entre les genres (rock, jazz, classique, pop, etc.) de façon à faire découvrir la musique par affinités de contenu, un peu à la manière dont le fait



> **Mixeur de genres.** Dans le laboratoire de Sony, François Pachet et son équipe ont mis au point un logiciel qui permet d'aborder la musique par affinité de contenu et non plus par genres.

le Music Genome Project, qui motorise la célèbre webradio Pandora (www.pandora.com). Un excellent moyen d'ouvrir de nouveaux horizons musicaux et de faire des découvertes.

Rechercher en fredonnant

Une mélodie qui trotte dans la tête, mais impossible de remettre un nom sur le titre de la chanson : tout le monde a déjà connu ça... Chez Fraunhofer-Gesellschaft, ce n'est plus un problème. L'organisme de recherche allemand – pour la petite histoire à l'origine du format de compression MP3 – a mis au point un logiciel baptisé Query by Humming, capable de retrouver, en quelques instants, une musique à partir de sa mélodie. Il suffit en effet de fredonner un air dans un microphone branché sur un ordinateur pour que le programme l'analyse. En faisant abstraction des parasites (bruits de fond et autres) et en s'adaptant aux inévitables problèmes de justesse (tout le monde n'est pas chanteur d'opéra !), il en isole les notes déterminées par leur hauteur, leur position et leur durée) pour en « écrire » virtuellement la partition. Il compare ensuite cet enchaînement de notes avec les milliers de thèmes contenus dans son immense base de données, puis il affiche les titres trouvés par ordre de ressemblance. Et les premiers tests sont prometteurs puisque Fraunhofer-Gesellschaft annonce un taux de réussite de 95 %.



> **Il connaît la chanson.** Un ordinateur, un microphone et une voix : grâce au logiciel Query by Humming, il est possible de mettre un titre sur n'importe quel air, simplement en le fredonnant.

■ E-PAPER

La feuille électronique

Légèreté, souplesse et lisibilité. Garder les vertus du papier et s'adapter au tout numérique: voilà le défi de l'e-paper, dont les premières applications devraient arriver dans un an.

Dans une petite décennie, les quotidiens traditionnels – ceux qui noircissent les doigts! –, auront peut-être disparu, supplantés par la feuille de papier électronique, ou *e-paper*, en anglais.

Une fine feuille en plastique capable d'afficher, avec la même lisibilité que celle offerte par le papier traditionnel, les articles que le lecteur aura préalablement téléchargés sur Internet par le biais d'un ordinateur ou d'une borne Wi-Fi.

Les qualités du papier sans ses défauts

Certains journaux croient déjà en l'avenir de ce nouveau support. En 2008, le quotidien *Les Echos* devrait être disponible sur papier électronique. Le *New York Times* et *USA Today*, aux Etats-Unis, ou encore *Nikkei*, au Japon, préparent des projets similaires. La technologie est prête, ou presque. L'objectif: conserver les qualités du papier imprimé traditionnel en évacuant ses principaux défauts. Pour mériter son appellation, le papier électronique doit donc être léger, fin (moins de 1 mm d'épaisseur) et suffisamment souple pour être roulé. En outre, son affichage doit rester lisible dans des luminosités ambiantes variées, quel que soit l'angle de vision de l'utilisateur. Tous les prototypes d'e-paper présentés depuis deux ans répondent à ces impératifs.



> Ecran souple ou feuille volante, Philips travaille sur un e-paper qui pourrait servir d'écran souple pour appareil mobile ou de feuille pouvant être roulée et glissée dans la poche.

Le papier à particules

Aujourd'hui, ce procédé développé dans les années 90 par des chercheurs du MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) est le plus abouti. L'e-paper est ici composé de milliers de microcapsules juxtaposées, chacune d'elles contenant un liquide transparent dans lequel baignent des particules noires et blanches chargées d'électricité: négative pour les noires, positive pour les blanches. Pour afficher des pixels, on applique une tension négative à la base de certaines capsules: les particules noires, rejetées à la surface, deviennent visibles. Et inversement pour les particules blanches. Cette technologie est aujourd'hui développée par E-Ink. Elle devrait permettre de bientôt afficher sur plusieurs supports, du plastique, du verre ou du vrai papier. E-Ink est notamment associée à Plastic Logic, dont le papier noir et blanc pourrait servir de support à l'e-version des *Echos* prévue pour 2008. De son côté, l'anglais Bridgestone travaille sur un e-paper à base de particules (en partenariat avec Hitachi), mais qui flottent dans l'air et non dans un liquide. Avantage: des temps de réponse très courts (0,2 ms pour Bridgestone, contre 400 ms pour E-Ink!), qui en font une technique prometteuse pour la vidéo.

Si les quatre principales techniques de fabrication (voir encadrés) sont toutes prometteuses, de très nombreux progrès restent à accomplir. Les chercheurs doivent encore améliorer la souplesse et la solidité de leurs différents prototypes. Il faut également qu'ils augmentent les dimensions de l'image (de 5 à 25 cm de diagonale, aujourd'hui) ainsi que sa netteté, et qu'ils accélèrent la vitesse d'affichage des procédés. Ils devront en outre privilégier les technologies permettant d'afficher le contenu de la page sans alimentation électrique (jusqu'à sa mise à

jour). Les premières feuilles électroniques devaient apparaître au cours du premier semestre de cette année. D'ailleurs, le site des *Echos* invite les lecteurs intéressés à s'inscrire pour suivre très bientôt «l'aventure de l'e-paper».

Premiers journaux sur e-paper en 2008

Une application en cours de test au Japon sert à indiquer les prix dans les magasins. Le modèle utilisé est au format carte de crédit et n'affiche que deux couleurs. Les premiers journaux sur feuilles électroniques

devraient, eux, faire leur apparition vers 2008: au format A4, ils seront vraisemblablement en noir et blanc. Ensuite, il faudra attendre quelques années pour que le papier électronique adopte la couleur, et quelque temps encore avant qu'il n'affiche la vidéo.

Enfin, aux alentours de 2015, il remplacera peut-être le papier grand format des affichages publicitaires, mais aussi les étiquettes des produits de consommation courante (paquets de biscuits, canettes de soda, jouets, etc.), qui s'animeront alors de petits clips vidéo. ■



Le papier à cristaux liquides

Certains chercheurs utilisent les cristaux liquides, déjà exploités dans les écrans LCD, pour fabriquer du e-paper. Soumis à un champ électrique, ces cristaux ont en effet la propriété de s'orienter dans la même direction et ainsi de dévier la lumière ambiante. Le papier électronique de Fujitsu est composé de trois strates. Dans la première, les cristaux liquides sont orientés de façon à refléter (ou non) les rayons lumineux dont la longueur d'onde correspond au rouge, dans la deuxième, au bleu et dans la dernière, au vert. Fuji affirme que cette technologie permet de réfléchir, et donc d'utiliser 50 % de la lumière ambiante. Les prototypes ne mesurent encore qu'une dizaine de centimètres de diagonale. L'e-paper de Fuji Xerox emploie aussi des cristaux liquides mais, au lieu de réagir à des impulsions électriques, les cristaux, recouverts d'un film photosensible, s'orientent selon la lumière qu'ils reçoivent. Aujourd'hui, les premiers PAE-Papers (*Photo-Adressable Electronic Paper*), en couleurs, ne dépassent pas le format A6 (148 x 105 mm) et requièrent l'emploi d'un appareil spécifique pour faire apparaître les contenus. Mais les chercheurs espèrent agrandir le format des feuilles et rendre possible leur mise à jour par une simple apposition sur un écran de PC.

Le papier à diodes

Universal Display, une entreprise financée entre autres par le département de la Défense américaine, a présenté en février 2005 une feuille Foled (*Flexible Oled*) souple, de 10 cm de diagonale, pouvant afficher une vidéo en couleurs (photo ci-dessous). A l'instar des écrans Oled, ces feuilles sont constituées de diodes électroluminescentes organiques qui produisent leur propre lumière lorsqu'elles sont soumises à une tension électrique.

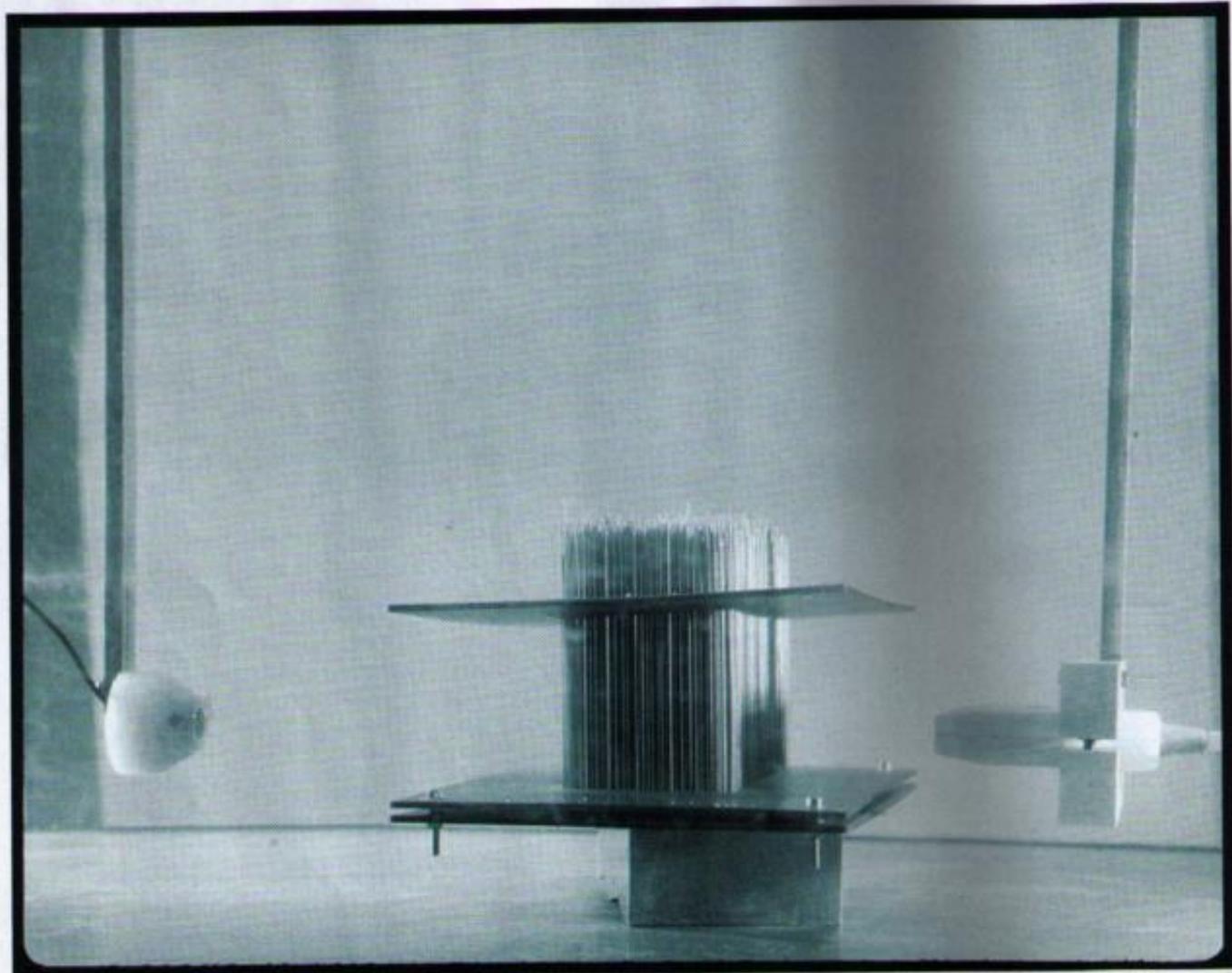


Le papier à huile

Développée par Philips, l'*Electrowetting Display Technology* tire son nom du procédé utilisé (en anglais, *wet* signifie humide). L'unité élémentaire d'affichage est constituée d'une microcapsule remplie d'eau, au fond de laquelle s'étend de l'huile colorée. Au repos, l'huile colorée couvre toute la surface, mais quand on la soumet à un champ électrique, elle se rétracte, dévoilant ce qui se trouve au-dessous, en l'occurrence une couche blanche: un point blanc, éclairé par la lumière ambiante, apparaît alors, éclairant à son tour, par réflexion, les unités d'affichage colorées adjacentes. Cette technologie permettrait d'obtenir des temps de réponse de 10 ms, bien adaptés à la vidéo. Pour l'heure, le format des prototypes présentés se limite à quelques centimètres de diagonale, et les pixels sont encore grossiers.

■ ACOUSTIQUE

Retournement temporel: le



Un son a été renvoyé vers sa source, comme si le temps avait été inversé. A terme, c'est l'amélioration des communications sans fil à très haut débit qui pourrait être concernée.

Et si le son pouvait remplacer l'électronique et l'électromagnétisme dans la transmission de signaux? Cette idée, a priori saugrenue, est pourtant envisagée comme une sérieuse piste de recherche par les scientifiques de plusieurs laboratoires dont celui de Stanford, la prestigieuse université américaine. Leur idée: troquer les ondes électromagnétiques contre des ondes acoustiques

afin de profiter des propriétés mécaniques propres au son. A la clé, des applications dans de nombreux domaines, dont les transmissions à très haut débit (voir encadrés).

L'idée du retournement temporel des ondes est née en France, il y a une dizaine d'années. Les équipes de Mathias Fink, directeur du Laboratoire des ondes acoustiques (LOA) de Paris, s'intéressent alors à la

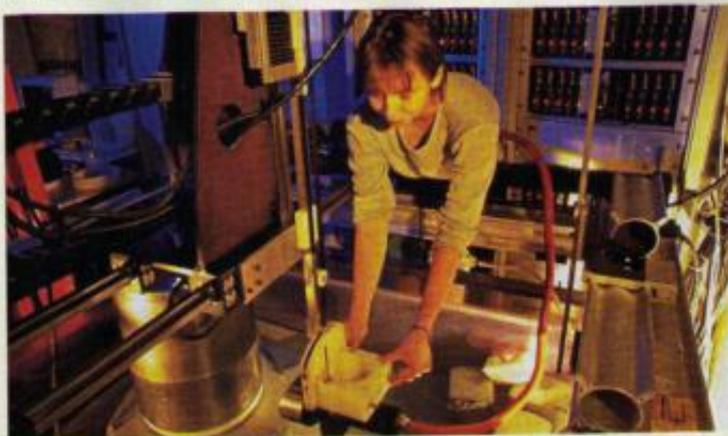
Médecine: des vibrations pour combattre des tumeurs

Le LOA travaille sur des applications médicales basées sur la technique de propagation des ultrasons utilisant les propriétés du retournement temporel. Les chercheurs tentent ainsi de supprimer les tumeurs du cerveau en implantant une source sonore ou une cible réfléchissante au sein des tissus endommagés. Autre voie intéressante en cours d'exploration, la destruction de calculs rénaux à l'aide d'une sorte de bazooka à retournement temporel: grâce à ses propriétés de focalisation spatiale et d'amplification du signal, cette «arme de destruction chirurgicale» pourrait repérer les calculs et produire des vibrations suffisantes pour les éliminer.

pouvoir du son

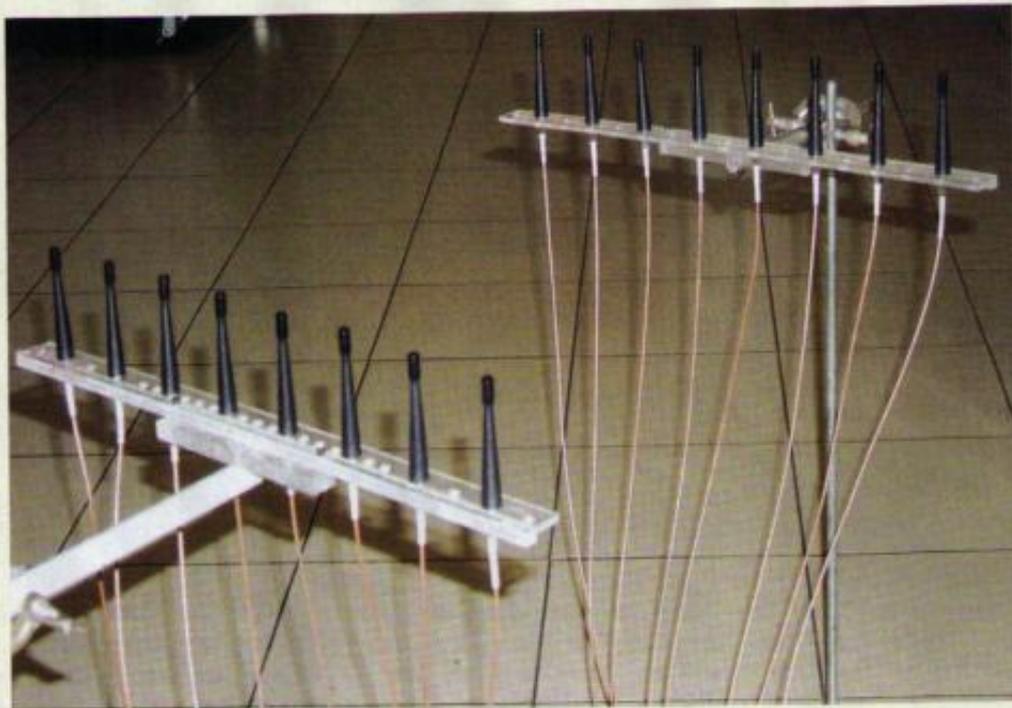
Industrie: des ondes pour contrôler les défauts de fabrication

Une utilisation du retournement temporel des ondes pourrait concerner des processus industriels: contrôler la qualité de fabrication à l'intérieur de pièces d'usinage et repérer ainsi des défauts invisibles de l'extérieur. Lors d'une expérience menée par le LOA avec le partenariat de la Snecma (l'entreprise qui fabrique notamment des réacteurs pour avions), les chercheurs ont conçu des pièces microporeuses, donc défectueuses. Grâce à un réseau d'émetteurs-récepteurs placés en cercles concentriques à l'intérieur de l'une d'elles, ils ont émis une onde, capté sa signature et l'ont temporellement retournée avant de la réémettre. Une expérience concluante puisqu'ils ont réussi à détecter les défauts de la pièce. Une nouvelle façon d'explorer la matière...



Télécommunications: des transmissions sans fil à très haut débit

De nouvelles techniques de communication et de transferts de données (numériques) pourraient être développées à partir du principe de retournement temporel des ondes acoustiques. Elles remplaceraient les câbles électriques utilisés dans les liaisons filaires, mais aussi les ondes électromagnétiques (les ondes radio) dans les systèmes sans fil. L'ESPCI (l'Ecole supérieure de physique et de chimie industrielle) a réussi à mettre en place des transmissions basées sur le principe de la focalisation des ondes retournées.



Ces transmissions sont aujourd'hui limitées à quelques mètres en raison de la forte réverbération dans l'air et à une utilisation statique, car les caractéristiques du milieu de propagation changent lorsque l'émetteur et/ou le récepteur se déplacent. Si les applications mobiles ne sont donc pas prévues avant quelques années, les expériences de télécommunications entre postes fixes ont donné des débits éloquentes: 800 Mbit/s!

Un résultat d'autant plus encourageant que l'expérience de l'ESPCI a confirmé que plus le milieu de propagation était complexe (murs en béton, armatures métalliques, etc.), meilleur était le débit. On peut imaginer, dans quelques années, la mise en place de réseaux sans fil à très haut débit dans des bâtiments où les ondes se joueraient des armoires et de tous les obstacles qui se trouveraient sur leur passage.

— — — propagation des ultrasons en milieux désordonnés. Une de leurs expériences consiste à transmettre un son à travers une forêt de tiges métalliques aléatoirement clouées sur une planche. Le dispositif est un peu complexe: la planche est plongée dans une cuve remplie d'eau, les ultrasons s'y diffusent plus facilement que dans l'air. Un émetteur-récepteur est fixé à chaque extrémité de la planche, l'un d'eux étant relié à un ordinateur. L'expérience menée au LOA consiste à envoyer un son très bref, d'une microseconde, à partir d'un premier émetteur-récepteur. Lorsque le son arrive à l'autre bout de la planche, il est capté par l'autre émetteur-récepteur, qui le transmet à l'ordinateur où sa «signature» (l'ensemble des signaux qui le composent) est enregistrée et numérisée.

Une onde peut «revivre son passé»

Au cours de son voyage, le son a subi d'importantes modifications. Car émettre un son, c'est produire une onde acoustique qui, lorsqu'elle rencontre un obstacle, se réfléchit, d'où des phénomènes d'amplification et de suppression. Deux changements ont été constatés lors de l'enregistrement, après la traversée de la forêt de tiges. D'une part, la brève impulsion d'une microseconde s'est allongée, atteignant 300 microsecondes à son arrivée. D'autre part, le milieu désordonné l'a brouillée: l'impulsion d'origine ne ressemble plus qu'à une suite de bruits, impossibles à décoder.

C'est alors que les chercheurs du LOA ont utilisé le PC comme un «miroir à retournement temporel». L'ordinateur a réémis le son en inversant l'ordre de sa signature: le signal reçu en dernier est parti en premier, et ainsi de suite jusqu'au premier signal capturé... Le son a ainsi retraversé la forêt de tiges jusqu'à l'émetteur d'origine.

Premier constat: le signal recueilli alors est quasi identique au signal d'origine (il com-

Le clavier virtuel à retournement temporel

Des applications du retournement temporel sortent déjà des laboratoires de recherche. La société Sensitive Object (www.sensitive-object.com) a ainsi conçu un clavier virtuel pour ordinateur s'appuyant sur le principe découvert au LOA. Ce modèle sans équivalent est plat, sans aspérité. Fixé sur un bureau par une membrane autocollante, il comporte

deux capteurs acoustiques, qu'il faut coller sous la table. Quand on appuie sur une touche du clavier, l'onde émise est enregistrée par un des capteurs puis transmise au PC. Le retournement temporel est utilisé pour créer une banque de signatures acoustiques dans laquelle chaque son possède sa propre empreinte. Une phase d'apprentissage est nécessaire

afin que le logiciel, livré avec le clavier, associe à chaque son la touche correspondante par comparaison avec la banque d'ondes. Ce clavier virtuel fonctionne ensuite comme un clavier traditionnel. Sensitive Object envisage aussi de développer des télécommandes et des digicodes ultraplats et sans fil fonctionnant sur le même principe.



porte juste un peu de bruit en plus). Il possède la même forme d'onde et surtout, sa durée a été recompressée: de 300 microsecondes, elle est repassée à une microseconde! Second phénomène: l'onde retournée revient précisément à l'endroit de l'espace d'où elle a été initialement émise. Si on enlève la planche et les tiges (il ne reste donc que de l'eau), on perd cette précision dans la trajectoire.

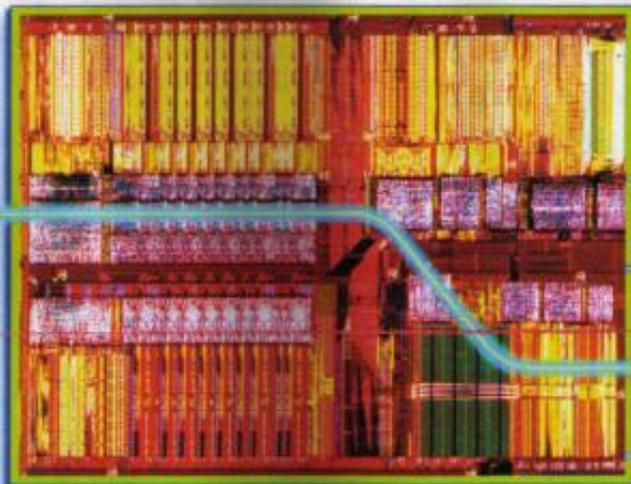
Conclusion: on peut obliger une onde à «revivre son passé», et la complexité du milieu permet de la diriger précisément sur la source initiale. D'ailleurs, plus il y a de «bazar» sur son chemin et plus sa trajectoire est précise!

De l'envoi d'un son à celui d'un signal numérique, il y a peu, car si le phénomène de compression temporelle des ondes retournées permet la transmission d'une succession de signaux très brefs, avec une très bonne qualité, pourquoi ne pas l'appliquer à la transmission de bits?

Après le son, les bits?

Il suffit de coder le 1 avec l'impulsion retournée et le 0 avec l'impulsion retournée négative (pour schématiser, on renvoie, dans le cas du 0, un signal dans lequel toutes les valeurs positives deviennent négatives, et inversement). Un émetteur (une antenne utilisée pour la transmission d'ondes radio, par

exemple) peut ainsi localiser un récepteur (un PC, par exemple) et obtenir une empreinte parfaitement identifiable des 0 et des 1 émis par le PC, même dans un milieu semé d'obstacles. Stanford et l'ESPCI (l'Ecole supérieure de physique et de chimie industrielle, dont dépend le LOA) font partie des laboratoires qui travaillent sur la transposition du retournement temporel des ondes aux télécommunications. Stanford bénéficie, pour ce type de recherche, du soutien d'Intel. De son côté, l'ESPCI a réalisé des expériences (voir encadré page précédente, *Télécommunications: des transmissions sans fil à très haut débit*) avec des débits éloquentes: 800 Mbit/s! ■



Internet

AUJOURD'HUI

Fibre optique

➤ Internet à la vitesse de la lumière p. 100

Sans-fil

➤ MIMO: vers le super Wi-Fi p. 102

➤ WiMax: la micro-onde à tout faire p. 104

Téléphonie

➤ Voix sur IP: Internet libère le téléphone p. 107

DEMAIN

Réseau

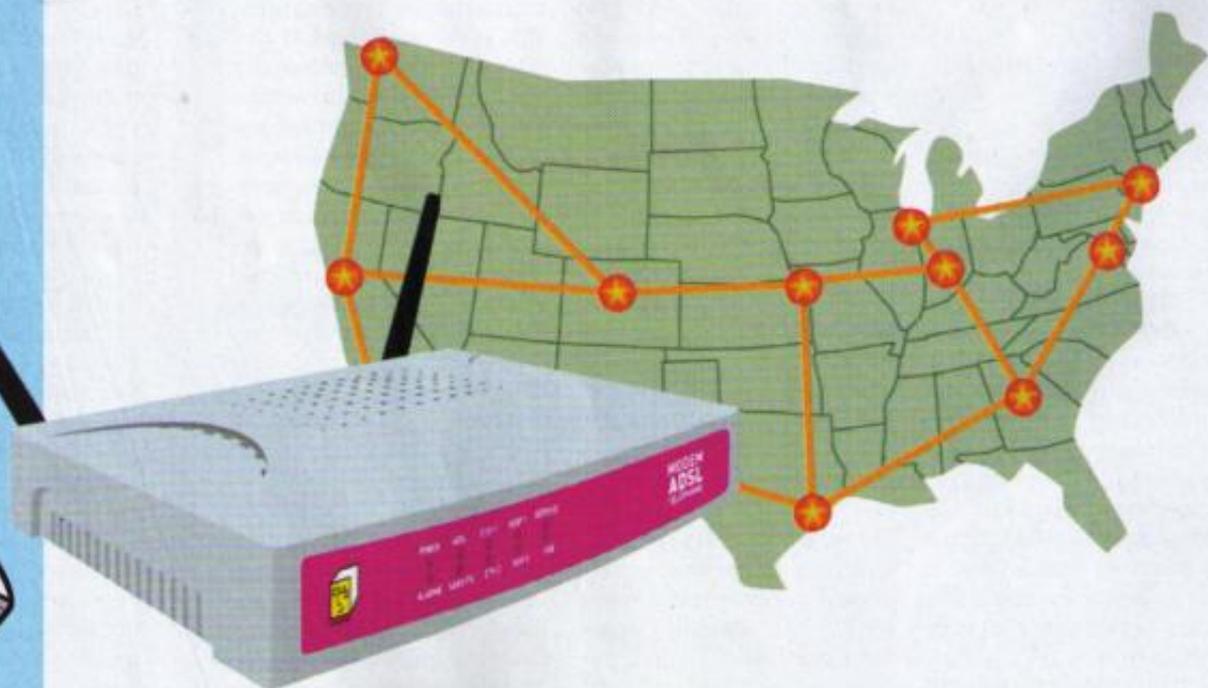
➤ Les défis de l'Internet 2 p. 110

Transmission

➤ Quand le réseau sera omniprésent p. 112

DSL et CPL

➤ La ligne de cuivre fait de la résistance p. 114



■ FIBRE OPTIQUE

Internet à la vitesse de la lumière

En déployant des réseaux de fibre optique jusqu'au logement de l'abonné, les fournisseurs d'accès à Internet promettent des débits beaucoup plus élevés que ceux que peut offrir l'ADSL. De quoi développer de nouveaux usages d'Internet...

Depuis quelques mois, la plupart des fournisseurs d'accès à Internet (FAI) n'ont qu'un seul mot à la bouche: la fibre. Plus précisément, la fibre optique. Un matériau déjà utilisé pour les liaisons à très haut débit dans les infrastructures des opérateurs, mais qui devrait progressivement remplacer les fils de cuivre de la liaison téléphonique traditionnelle servant à la connexion à Internet chez les particuliers. De fait, plusieurs opérateurs (Free et France Télécom en tête) promettent de remplacer prochainement l'ADSL par le FTTH (*Fiber To The Home*, fibre jusqu'au domicile), une technologie offrant à l'abonné un débit allant jusqu'à... 100 Mbit/s

Même débit en émission et en réception

C'est beaucoup mieux que l'ADSL 2+, capable d'atteindre un maximum de 28 Mbit/s en théorie (en débit dit ATM), mais qui, dans la pratique, dépasse rarement les 12 Mbit/s. De plus, le FTTH autorise ce débit en symétrique, c'est-à-dire en émission comme en réception de données, alors que la nature asymétrique de l'ADSL (le «A» de l'acronyme) rend la voie montante (de l'abonné vers Internet) toujours plus lente que la voie descendante (d'Internet vers l'abonné). Actuellement, le débit de la voie montante plafonne à 1 Mbit/s dans le cas de l'ADSL 2+.

Ces débits élevés permettent d'envisager de nouveaux usages d'Internet, notamment dans le

cadre d'une utilisation partagée par plusieurs membres d'une même famille, comme la réception de la télévision en haute définition sur plusieurs postes ou la diffusion de programmes vidéo en plus du téléchargement à très haute vitesse et de la téléphonie.

Ses qualités, le FTTH les doit à la fibre optique qui, comme son nom l'indique, véhicule de la lumière (contrairement à l'ADSL, qui utilise des fils métalliques dans lesquels circule du courant électrique). Cette lumière est émise au niveau du nœud de raccordement du FAI par une diode laser (analogue à celle utilisée dans les lecteurs CD) commandée par un courant électrique (donnant la possibilité d'une modulation) qui émet les photons dans une longueur d'onde particulière et selon un angle précis.

Les photons circulent en zigzag dans la fibre, à la vitesse de la lumière (300 000 km/s) en exploitant les propriétés réfractrices de la lumière, qui rebondit littéralement sur les parois de la fibre. A l'autre bout, un photodétecteur (en général, un photodiode) convertit le signal optique en signal électrique.

Les avantages de la transmission par fibre optique sont nombreux: l'altération du signal d'origine reste infime et constante jusqu'à une dizaine de kilomètres (au-delà de laquelle le signal doit être amplifié), la bande passante est très grande (2 Gbit/s avec une longueur d'onde de 1,55 micromètre), on peut multi-

plexer (c'est-à-dire combiner) plusieurs signaux dans une même fibre physique (on parle de fibre multimode) et de par sa finesse, sa souplesse et sa légèreté, la fibre est très facile à mettre en place. En outre, contrairement aux fils métalliques, elle n'est pas sensible aux parasites électromagnétiques et elle n'en génère pas elle-même, ce qui permet de regrouper une grande quantité de fibres dans un seul faisceau.

Une opération très lourde pour les opérateurs

Mais si la technique est séduisante, elle s'annonce coûteuse pour les opérateurs! Le FTTH impose en effet d'amener la fibre optique jusqu'au domicile de chaque abonné et donc de recréer un réseau, au lieu de s'appuyer sur le réseau téléphonique existant.

Les travaux d'installation peuvent ainsi être extrêmement lourds, même en les réduisant au maximum (Free compte ainsi passer par les égouts). Et il reste ensuite le problème des immeubles, toute intervention dans les parties communes, jusqu'au domicile de l'abonné, nécessitant l'accord de la copropriété. Une complication que souhaitent s'éviter certains opérateurs qui, au lieu de choisir le FTTH, opteront plutôt pour le FTTB (*Fiber To The Building*, fibre jusqu'au bâtiment).

Cette solution hybride consiste à arrêter la fibre optique au pied de l'immeuble, ou du moins dans une partie commune. Le dernier tronçon à l'intérieur du bâtiment, menant aux appartements des abonnés, peut alors utiliser un câblage préexistant, qui peut être, dans le pire des cas, une paire torsadée. Ce goulet d'étranglement impose bien sûr un débit final nettement plus faible qu'en FTTH. ■

FTTH partagé: une fibre pour plusieurs foyers

Le FTTH existe en version partagée (c'est la solution adoptée par France Télécom). La fibre venant du nœud de raccordement abonné (NRA) passe par un dispositif (un coupleur, situé au niveau de l'immeuble ou du quartier) qui la subdivise en plusieurs fibres pour aller jusqu'aux foyers des abonnés. Plus économique pour le FAI que le FTTH dédié, cette solution est moins souple lorsqu'il s'agit d'adapter le débit à chaque utilisateur, le «tuyau» qui le relie au NRA étant utilisé par d'autres.

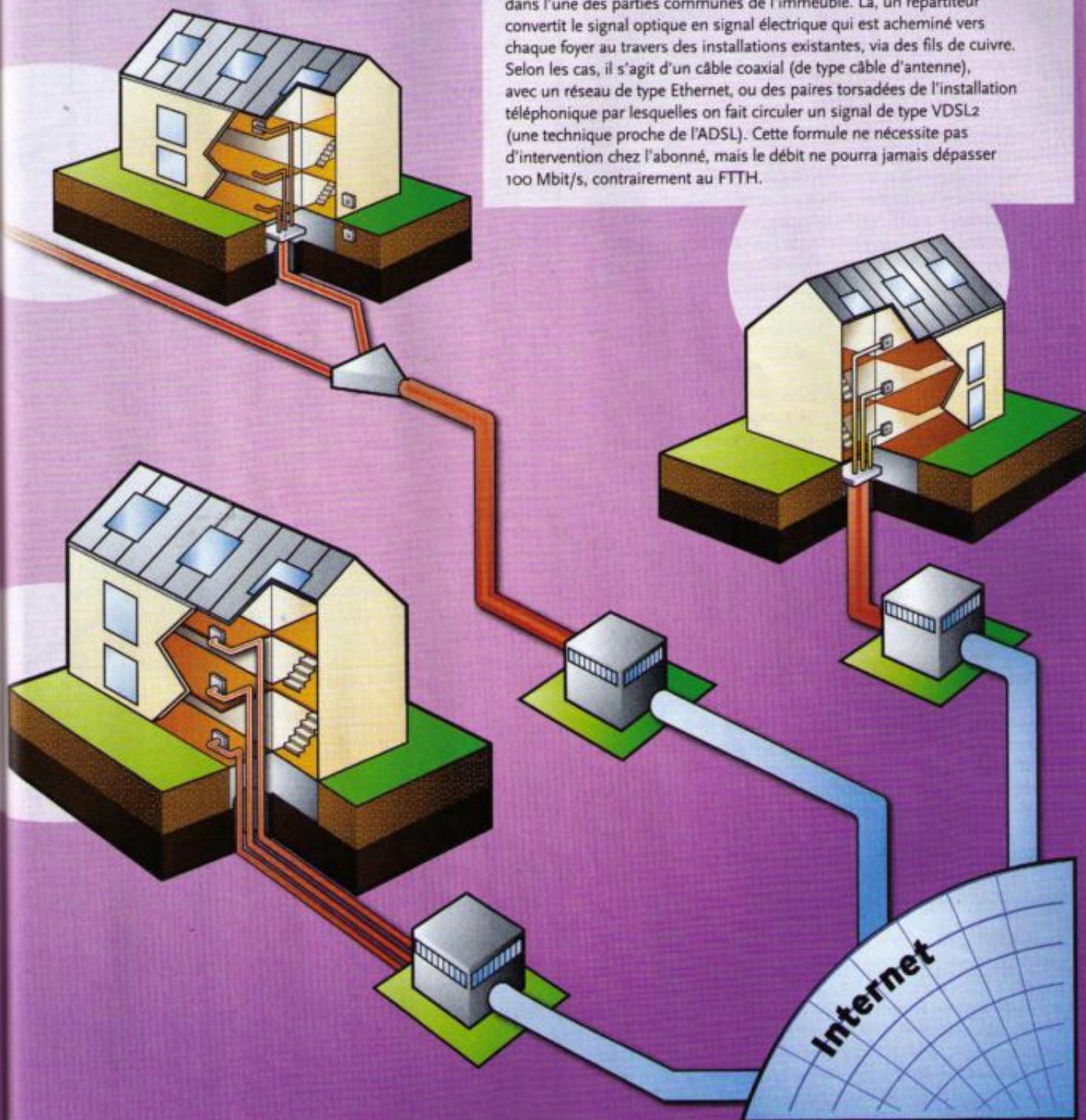
FTTH dédié: une fibre pour chaque abonné

Dans le cas de figure optimal d'une infrastructure FTTH (celle adoptée par Free), chaque abonné est directement relié au nœud de raccordement abonné (NRA) de son FAI par une fibre optique qui lui est réservée. Cette solution est contraignante pour l'opérateur, qui doit tirer une fibre du NRA jusqu'à la prise de l'abonné en obtenant d'abord les autorisations nécessaires (accès aux parties communes d'un immeuble, par exemple). Mais elle lui permet de contrôler chaque connexion en adaptant son débit aux besoins de l'abonné, même au-delà de 100 Mbit/s (l'offre, pour l'instant limitée à 100 Mbit/s, peut en effet évoluer, le débit autorisé par la fibre optique atteignant 2 Gbit/s).

mière

FTTB: du cuivre à l'arrivée

L'infrastructure de type FTTB consiste à amener une fibre optique dans l'une des parties communes de l'immeuble. Là, un répartiteur convertit le signal optique en signal électrique qui est acheminé vers chaque foyer au travers des installations existantes, via des fils de cuivre. Selon les cas, il s'agit d'un câble coaxial (de type câble d'antenne), avec un réseau de type Ethernet, ou des paires torsadées de l'installation téléphonique par lesquelles on fait circuler un signal de type VDSL2 (une technique proche de l'ADSL). Cette formule ne nécessite pas d'intervention chez l'abonné, mais le débit ne pourra jamais dépasser 100 Mbit/s, contrairement au FTTH.



■ SANS-FIL

Mimo: vers le super Wi-Fi

Equipant déjà quelques produits Wi-Fi de dernière génération, la technologie Mimo multiplie les signaux dans les réseaux sans fil. Pour un meilleur débit et une portée étendue.

Comme d'autres systèmes de communication sans fil, le Wi-Fi utilise des ondes radio pour transmettre des informations. Le problème est que ces signaux se dégradent avec la distance et les obstacles, limitant la portée et le débit de la liaison. D'où les piètres performances des déclinaisons actuelles du Wi-Fi (les normes 802.11b et 802.11g), notamment en intérieur, entre différentes pièces d'un même bâtiment. C'est justement pour améliorer les performances de ces liaisons sans fil que des fabricants spécialisés (Linksys, Netgear, Belkin ou D-Link, par exemple) exploitent depuis quelque temps dans leurs produits Wi-Fi une nouvelle technique baptisée Mimo.

Le principe du Mimo (*Multiple In, Multiple Out*, multiples entrées, multiples sorties) est simple: il consiste à multiplier les signaux pour transmettre une même information. Pour cela, les produits estampillés Mimo utilisent plusieurs antennes (jusqu'à huit), qui s'échangent dynamiquement les signaux en réception et en émission dans le but d'optimiser la transmission des données. Conséquence pour les utilisateurs: moins de pertes de signal et un meilleur débit.

Deux techniques concurrentes

Mais pour l'heure les produits Mimo déjà disponibles ne fonctionnent pas tous de la même manière. De fait, deux méthodes coexistent depuis quelque temps, chacune défendue par un constructeur de circuit Wi-Fi

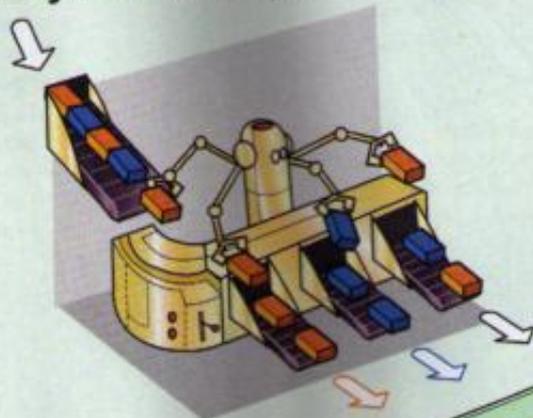
(Airgo et Atheros). La technique d'Airgo consiste à envoyer simultanément des signaux fragmentés et complémentaires (partie gauche de l'illustration ci-contre). De son côté, le système Atheros (partie droite de l'illustration) utilise la réplication: des signaux identiques voyagent simultanément, ce qui facilite la reconstruction des informations à l'arrivée. Ces deux techniques n'offrent pas les mêmes performances.

Bientôt une norme unique

Avec la réplication (Atheros), c'est surtout la portée qui est augmentée, jusqu'à 120 m en intérieur (contre seulement 50 m avec du 802.11g). Avec la fragmentation (Airgo), c'est principalement le débit théorique qui est amélioré (576 Mbit/s, contre 54 Mbit/s avec du 802.11g). Dans les tests, le débit constaté est finalement assez proche de celui d'une liaison filaire Ethernet classique (100 Mbit/s), donc confortable pour partager une connexion à Internet, et même suffisant pour transmettre une vidéo en haute définition entre un ordinateur et un décodeur relié à un téléviseur, par exemple.

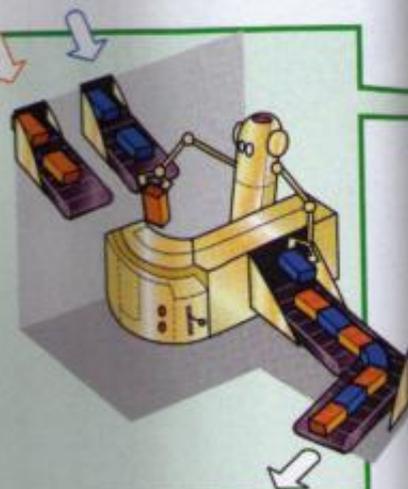
Pour l'heure, selon la technologie embarquée, les produits estampillés Mimo sont incompatibles entre eux d'une marque à une autre. C'est la norme 802.11n, en cours de certification, qui mettra un terme à cette confrontation en adoptant, au second semestre 2007, l'une de ces deux techniques. On pourra alors parler officiellement d'un super Wi-Fi. ■

Première technique Mimo: le signal est découpé



Avec le système préconisé par le fabricant de processeurs Airgo, la puce de la borne Mimo scinde le signal à transmettre en deux ou trois flux complémentaires de paquets de données. Chacun est envoyé sous forme d'ondes via une antenne distincte. Pour garantir la compatibilité avec les matériels Wi-Fi de génération précédente, cette borne diffuse en même temps, via une antenne spécifique, le signal d'origine dans son intégralité, comme un émetteur Wi-Fi classique.

A réception: le signal d'origine est recomposé



Le processeur du module Mimo (Airgo) reconstitue le signal d'origine grâce à un algorithme. Comme s'il s'agissait d'un puzzle, il remet dans le bon ordre les paquets de données reçus.

Un seul signal du MIMO vers le Wi-Fi classique

Si aucun obstacle ne vient brouiller sa transmission, le signal complet (non fragmenté) émis par une ou plusieurs antennes de la borne MIMO peut être intercepté et interprété par un matériel Wi-Fi classique (un module 802.11b ou 802.11g).

Seconde technique MIMO : le signal est répliqué

Avec le système préconisé par le fabricant de processeurs Atheros, la puce de la borne MIMO réplique le signal d'origine en plusieurs flux de données diffusés simultanément via plusieurs antennes. Cette technique permet de garantir la compatibilité des bornes MIMO avec les matériels Wi-Fi de générations précédentes (802.11b et 802.11g).

Pas de signal du MIMO vers le Wi-Fi classique

Placé derrière un obstacle filtrant les ondes radio (mur épais ou un meuble métallique, par exemple), un module Wi-Fi classique (à la norme 802.11b ou 802.11g) demeure incapable d'interpréter les signaux altérés ou atténués, même émis avec la technique MIMO.

A réception : le signal d'origine est superposé

Le processeur du module MIMO (Atheros) utilise un algorithme pour reconstituer le signal d'origine en superposant les différents flux de données reçus.

■ SANS-FIL

WiMax: la micro-onde à tout

Pour relier un abonné fixe ou mobile, en pleine ville ou loin de toute agglomération, cette technique radio nous promet de concurrencer... tous les autres modes de connexions.

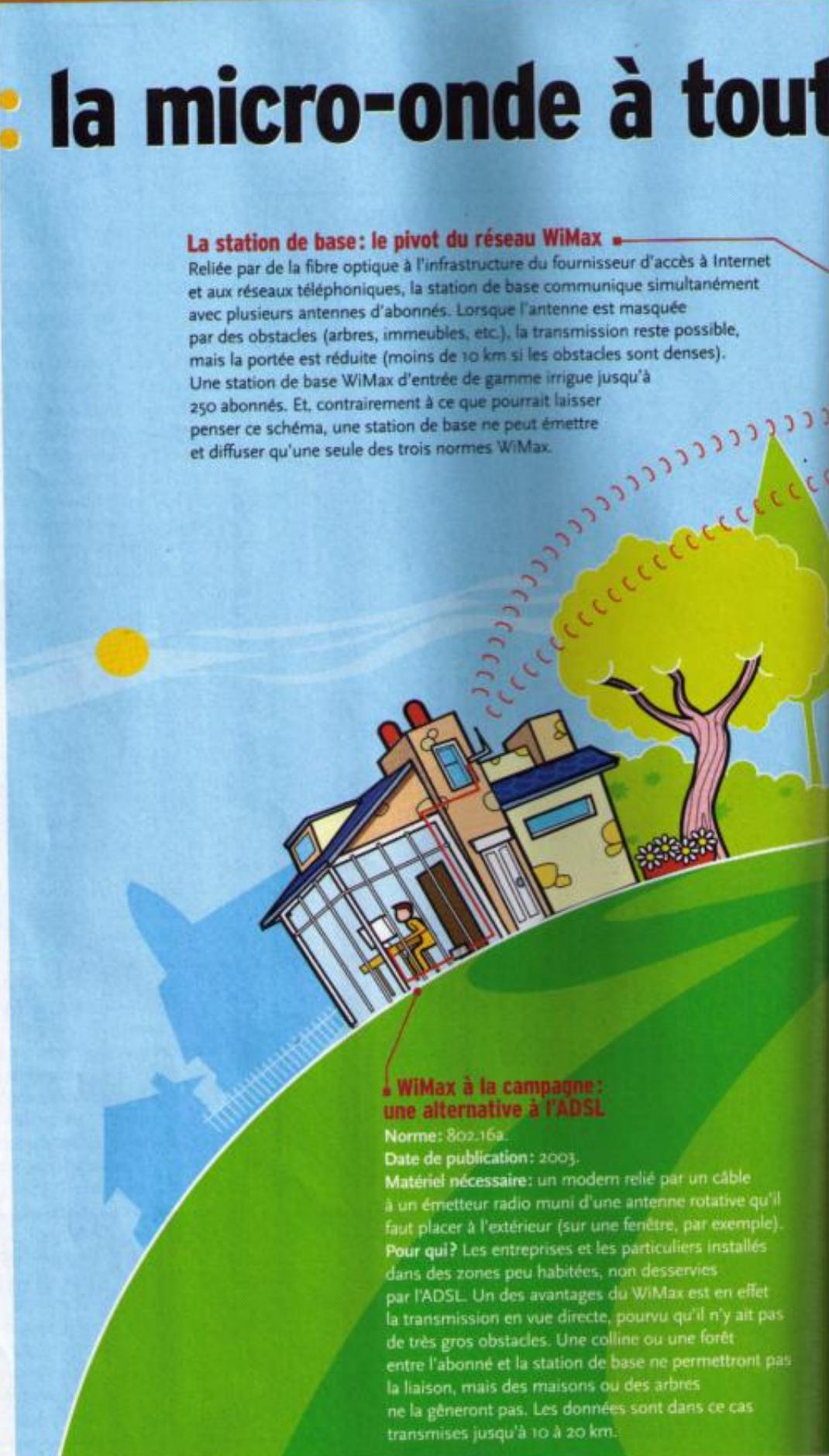
En 2001, quelques grands noms de l'électronique ont posé les bases d'une norme de technique de liaison sans fil numérotée 802.16 et baptisée WiMax (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*). Dans la bande radio de 10 à 66 GHz (d'où le terme *Microwave*, micro-onde), elle offrait un débit potentiel de 134 Mbit/s. Depuis, elle a été déclinée en plusieurs versions, à tel point qu'elle pourrait, dit-on, remplacer l'ADSL, le câble, le CPL, le Wi-Fi, la fibre optique et la Boucle locale radio (BLR), l'UMTS et apporter le haut-débit aux campagnards condamnés au RTC ou au satellite. Bref, le WiMax pour tout le monde...

Prometteur sur le papier

Sur le papier, ce WiMax pluriel est effectivement prometteur. A la campagne, la norme 802.16a (notez bien le «a» final) offre une solution à haut débit pour les habitations sans accès à l'ADSL. En ville, c'est le Wi-Fi qui est menacé par une autre version du WiMax (802.16 2004). Cette connexion radio est en effet parfois utilisée pour établir une liaison Internet à l'échelle d'un quartier. Dans ces deux cas, le WiMax reprend donc le flambeau de la Boucle locale radio, une liaison sans fil imaginée dans les années 90 et balayée par l'ADSL, bien moins coûteux. Mais les promoteurs du WiMax ont un

La station de base: le pivot du réseau WiMax

Reliée par de la fibre optique à l'infrastructure du fournisseur d'accès à Internet et aux réseaux téléphoniques, la station de base communique simultanément avec plusieurs antennes d'abonnés. Lorsque l'antenne est masquée par des obstacles (arbres, immeubles, etc.), la transmission reste possible, mais la portée est réduite (moins de 10 km si les obstacles sont denses). Une station de base WiMax d'entrée de gamme irrigue jusqu'à 250 abonnés. Et, contrairement à ce que pourrait laisser penser ce schéma, une station de base ne peut émettre et diffuser qu'une seule des trois normes WiMax.



WiMax à la campagne: une alternative à l'ADSL

Norme: 802.16a.

Date de publication: 2003.

Matériel nécessaire: un modem relié par un câble à un émetteur radio muni d'une antenne rotative qu'il faut placer à l'extérieur (sur une fenêtre, par exemple).
Pour qui? Les entreprises et les particuliers installés dans des zones peu habitées, non desservies par l'ADSL. Un des avantages du WiMax est en effet la transmission en vue directe, pourvu qu'il n'y ait pas de très gros obstacles. Une colline ou une forêt entre l'abonné et la station de base ne permettront pas la liaison, mais des maisons ou des arbres ne la gêneront pas. Les données sont dans ce cas transmises jusqu'à 10 à 20 km.

ut faire

WiMax en ville: un second choix ou un complément au Wi-Fi

Norme: 802.16d, rebaptisée 802.16-2004.

Date de publication: 2004.

Matériel nécessaire: un modem muni d'une antenne intérieure.

Pour qui? Les particuliers et les entreprises qui souhaitent partager un abonnement pour échanger des données et accéder à Internet.

Avec cette version, le WiMax chasse sur les terres du Wi-Fi.

L'un peut aussi venir en complément de l'autre, avec une connexion au réseau de l'opérateur par l'intermédiaire du WiMax et des communications internes dans une maison ou une entreprise via du Wi-Fi.

WiMax en déplacement: une alternative à l'UMTS

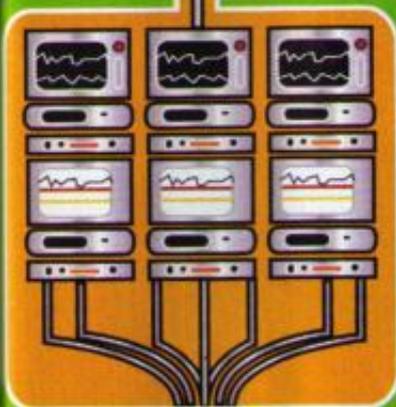
Norme: 802.16e.

Date de publication: 2007.

Matériel nécessaire: un appareil mobile (PDA, portable, etc.) doté d'une antenne.

Pour qui? Les travailleurs nomades qui ont besoin de recevoir et d'émettre des informations lors de leurs voyages. Selon les premières expérimentations, la vitesse de déplacement pourrait atteindre 150 km/h. Mais, dans la pratique, il apparaît illusoire d'espérer transmettre à plus de 100 km/h.

Cette restriction ne rassure qu'à moitié les partisans de l'UMTS, qui voient en WiMax une alternative bon marché aux transmissions en déplacement.



— — — — autre atout dans leur manche: la mobilité. Cette technique viendrait en concurrence frontale de l'UMTS pour les liaisons avec des téléphones mobiles haut de gamme ou des PDA. Enfin, un troisième usage du WiMax intéresse certains opérateurs. Appelé parfois nomadisme, il consiste à proposer un accès à haut débit quel que soit le lieu. Arrivant dans leur maison de campagne, les Dupont pourraient allumer leur portable et retrouver leur accès WiMax comme chez eux.

Voilà pour les possibilités. Les applications, elles, tardent un peu. Promises pour 2007, elles ne voient le jour que très progressivement. En France, l'autorité de régulation de télécoms (Arcep) a accordé trente-cinq licences d'utilisation, à échelle régionale pour la plupart. C'est donc l'usage type BLR qui est ainsi promu, concurrençant l'ADSL là où il est disponible et le remplaçant ailleurs.

Faible débit

Dans le Loiret, dix communes ont été équipées en WiMax par HDDR (Haut Débit Radio Régional), créé par un groupe d'entreprises (Axione, LD Collectivités, Naxos et TDF). En Ile-de-France, c'est SHD (Société du Haut Débit, réunissant Canal+, Neuf Cegetel et SFR) qui proposera ses services. N'oublions pas l'atoll de Rangiroa, en Polynésie française, qui vient d'en bénéficier.

Mais le débit proposé n'a rien de révolutionnaire. HDDR et SHD n'annoncent que 12 Mbit/s, à partager entre tous les utilisateurs d'un même émetteur. Quant à Free, qui possède la seule licence nationale, il propose WiMax à ses abonnés haut-débit des grandes villes, mais à 2 Mbits/s seulement. De plus, il manque... le matériel. Pour l'instant, aucun ordinateur ne peut se connecter en WiMax! Quant à la mobilité, Nokia attendra 2008 et Samsung a annoncé un appareil, utilisable en Corée du Sud seulement. Le WiMax pour tous attendra encore... ■

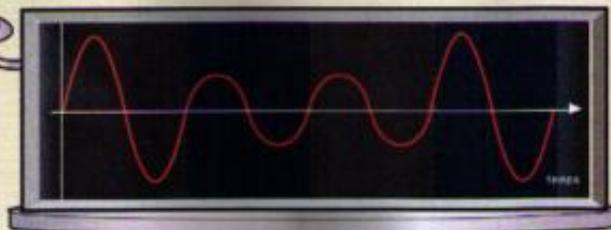
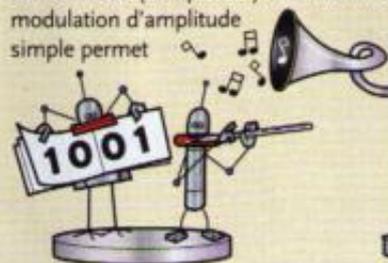
Le voyage - très - organisé des données par le WiMax

Dans un réseau WiMax, les informations sont transmises sous forme d'ondes radio, reçues et émises par le modem WiMax. Techniquement, cette transformation utilise deux modulations du signal radio (qu'on retrouve d'ailleurs dans les réseaux Wi-Fi et 3G).

Grandeur d'ondes

La modulation d'amplitude consiste à intervenir sur le niveau (l'amplitude) des ondes. Une modulation d'amplitude simple permet

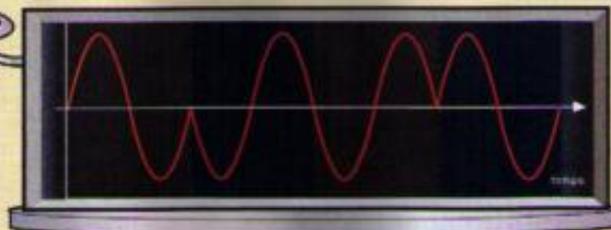
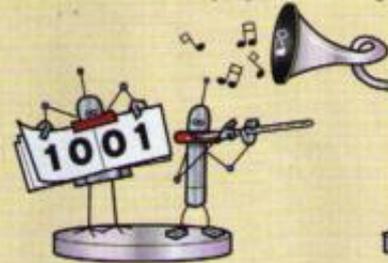
de coder un bit à la fois: une forte amplitude correspond à un 1 et une faible amplitude, à un 0.



Sous différents angles

La modulation de phase introduit des décalages temporels de l'onde qui transporte le signal (la porteuse) pour coder des informations. Ce décalage s'exprime par un angle: lorsque celui-ci est de 0° , il n'y a pas de décalage,

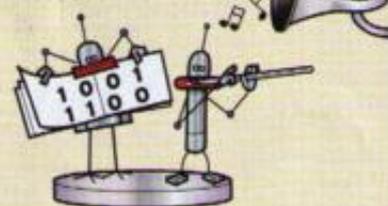
ce qui correspond à un 0; lorsqu'il est de 180° , il y a un décalage complet (on parle d'opposition de phase), ce qui correspond à un 1. Là encore, une modulation de phase simple ne code qu'un seul bit à la fois.



Mélange des genres

En combinant une modulation d'amplitude simple et une modulation de phase simple, on peut coder deux bits en même temps (comme ci-dessous). On peut faire encore mieux. Le WiMax utilise une modulation de

type QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*), qui combine des modulations d'amplitude et de phase plus complexes, ce qui permet de coder quatre bits à la fois (soit un nombre entre 0 et 15).



Vernis de protection

Une fois ces deux modulations appliquées, le signal subit un traitement supplémentaire: la modulation OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Son but: éviter les pertes d'informations provoquées par les multiples échos produits lorsque l'onde rebondit entre les obstacles, ce qui finit par brouiller

le signal. Ce système de protection consiste, d'une part, à diviser le canal de transmission en sous-canaux très étroits, chacun d'eux prêtant moins le flanc aux obstacles et, d'autre part, à insérer un temps mort entre les paquets d'informations, de façon à éviter mélanges et interférences entre ces données.

■ TELEPHONIE

Voix sur IP: Internet libère le téléphone

En utilisant Internet pour véhiculer les communications vocales, la technologie de voix sur IP permet de téléphoner moins cher dans le monde entier. Mais une attention plus grande doit être maintenant portée à la qualité sonore, souvent insuffisante.

Fournisseurs d'accès à Internet (FAI) et opérateurs télécoms proposent désormais des offres permettant, pour quelques euros par mois, de téléphoner sans compter vers les numéros fixes en France et de bénéficier de tarifs extrêmement attractifs vers les mobiles et l'étranger. Comment font-ils pour proposer des tarifs aussi intéressants? Grâce à la Voix sur IP (ou VoIP pour *Voice over Internet Protocol*), une technique qui consiste à véhiculer les communications vocales sur le réseau Internet.

La voix est numérisée (transformée en une suite de 0 et de 1) puis découpée en morceaux (qui contiennent chacun environ 20 millisecondes de conversation). Elle est ensuite transmise sur Internet en mode paquet: le canal de communication est partagé entre tous les ordinateurs connectés. Or, si une saturation temporaire du réseau est tolérable lorsqu'on télécharge un fichier sur le Web (l'opération dure seulement plus longtemps), elle est rédhibitoire pour la voix: la conversation devient alors hachée et certains mots sont tronqués.

Pour rappel, en téléphonie dite classique, la voix transite en mode circuit: un canal de communication est réservé pendant toute la durée de l'appel entre les deux interlocuteurs; il n'y a donc aucun ralentissement.

L'intérêt de passer par Internet, techniquement moins fiable, est donc avant tout de réduire le coût des communications, puisqu'elles ne sont plus facturées en fonction de la distance parcourue.

Un logiciel spécifique ou un modem particulier

En pratique, pour communiquer en VoIP, il existe deux méthodes. L'une est logicielle, l'autre, matérielle. La première consiste à installer un logiciel spécifique sur chacun des ordinateurs des deux interlocuteurs puis à communiquer par l'intermédiaire d'un microcasque. Hormis le coût de l'abonnement à Internet, les communications sont alors gratuites. Cette technique, qui existe depuis une dizaine d'années – Netmeeting, de Microsoft, fut l'un des premiers logiciels de téléphonie via Internet –, a connu des débuts difficiles. En effet, la plupart des utilisateurs étant connectés en bas débit à Internet, la qualité des communications s'en ressentait fortement.

Le développement du haut débit, avec une bande passante plus importante, a résolu une bonne partie du problème. Aujourd'hui, ces logiciels, tels que Skype, le plus connu, permettent aussi d'appeler vers des numéros fixes

Le codec: incontournable pour la qualité sonore

Plusieurs phénomènes peuvent nuire à la qualité de la voix lorsqu'elle est transmise sur Internet sous la forme de paquets. Au-delà des délais de transmission, qui doivent être inférieurs à 100 millisecondes sous peine de générer une perte d'interactivité ou des phénomènes d'écho, le choix du codec est capital. Ce dernier détermine la méthode employée pour compresser la voix lors de sa numérisation. Une compression relativement faible, comme c'est le cas avec le codec G711, nécessite une bande passante de 64 kbit/s en émission et en réception, ce qui n'est pas négligeable pour certaines connexions ADSL 512 kbit/s, limitées à 128 kbit/s en émission. Les fournisseurs d'accès ADSL optent généralement pour ce codec dans leur offre de VoIP, parce qu'il permet de restituer un son identique à celui de la téléphonie classique, mais aussi, et surtout, parce qu'ils sont capables de traiter en priorité la voix, ce qui évite les retards et les pertes de paquets induisant des délais de transmission longs. Les autres fournisseurs de VoIP optent généralement pour une compression plus forte, permettant de réduire sensiblement la bande passante nécessaire. Une compression trop forte confère à la voix un son métallique (genre voix de robot), mais désormais de nouveaux codecs – comme le AMR Wide Band, par exemple – permettent de réduire la bande passante de moitié tout en produisant un son de qualité supérieure à celle du G711.



> Le boîtier de Club Internet, comme ceux de tous les fournisseurs d'accès, utilise le codec G711. Pour les autres opérateurs de VoIP, tel Wango, même dans le cas où ils utilisent un boîtier, les codecs sont le plus souvent intégrés au logiciel fourni.

— — — et des mobiles, c'est-à-dire des personnes ne disposant pas d'un ordinateur. Dans ce cas, la communication n'est pas entièrement gratuite puisqu'une connexion avec le réseau de téléphonie classique est nécessaire (et facturée par l'opérateur télécom du destinataire), mais son coût est quand même inférieur aux tarifs habituels, une partie du trajet s'effectuant sur Internet.

La seconde méthode pour communiquer en voix sur IP ne nécessite, elle, aucun logiciel. Proposée par les fournisseurs d'accès ADSL – Free a été pionnier –, elle repose sur l'utilisation d'un modem particulier (les fameuses box) intégrant des fonctions de téléphonie. L'abonné doit simplement brancher un combiné téléphonique sur ce boîtier – et pas directement sur une prise classique – pour téléphoner normalement, sans même se rendre compte qu'il passe par Internet et sans avoir à utiliser le moindre ordinateur, tout en profitant de divers services téléphoniques (messagerie, renvoi d'appels, présentation du numéro, etc.).

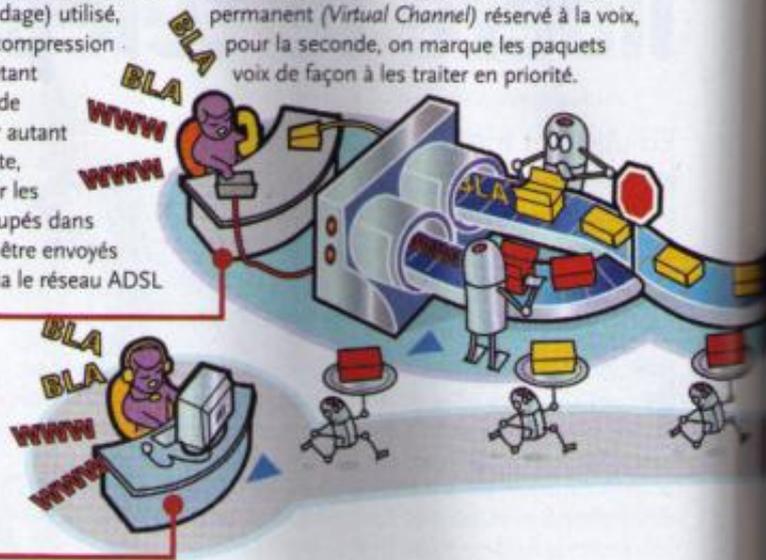
Une qualité sonore en amélioration

Principales différences avec le téléphone classique: les communications passent par Internet, d'où leur prix réduit (les appels vers des postes fixes en France sont même souvent totalement gratuits), et l'abonné dispose d'un numéro spécifique pour cette nouvelle ligne.

En outre, le dégroupage (partiel ou total) a permis aux FAI de maîtriser le réseau jusqu'à la prise téléphonique de l'abonné et donc d'améliorer la qualité du service en général, et plus particulièrement du son. Les paquets de voix peuvent ainsi être prioritaires vis-à-vis des paquets de données, le modem les faisant passer en premier pour éviter les phénomènes de communications tronquées. Il devient alors difficile de distinguer la qualité d'un appel en VoIP d'un appel classique. ■

Première technique: l'appel est passé avec un boîtier

Pour téléphoner via Internet, l'abonné doit brancher son téléphone habituel sur le boîtier ADSL (Freebox, Neuf Box, etc.) – et non sur la prise téléphonique classique. Pendant l'appel, le signal analogique constituant le son de la voix est numérisé par un circuit encodeur du boîtier. Selon le codec (méthode de codage) utilisé, la numérisation implique une compression plus ou moins forte, l'objectif étant de réduire au maximum la bande passante nécessaire, sans pour autant nuire à la qualité du son. Ensuite, le boîtier se charge de découper les données en échantillons, regroupés dans des paquets, qui peuvent alors être envoyés vers le destinataire de l'appel via le réseau ADSL.



du fournisseur, au même titre que les paquets de données Internet. Afin d'améliorer la qualité de la voix, certains FAI exploitent deux techniques pour favoriser en priorité la voix (en jaune sur le schéma) par rapport aux données (en rouge). Avec la première, il est créé un canal virtuel permanent (*Virtual Channel*) réservé à la voix, pour la seconde, on marque les paquets voix de façon à les traiter en priorité.

Seconde technique: l'appel est passé avec un logiciel

L'appelant et l'appelé doivent installer un logiciel particulier sur leur PC et utiliser de préférence un microcasque. La numérisation et la segmentation en paquets IP sont réalisées par le programme. A la différence de la téléphonie sur ADSL, la téléphonie avec un logiciel ne permet pas de traiter en priorité la voix (en jaune sur le schéma) par rapport aux données (en rouge). La qualité de la communication est donc susceptible de souffrir d'un éventuel engorgement

du réseau. Pour pallier le problème, la numérisation de la voix est effectuée avec des codecs de dernière génération, qui compressent le son de façon plus importante sans nuire à la qualité (voir encadré page précédente). La bande passante exploitée par le flux voix est ainsi réduite.



Technique commune: vers un téléphone relié en VoIP

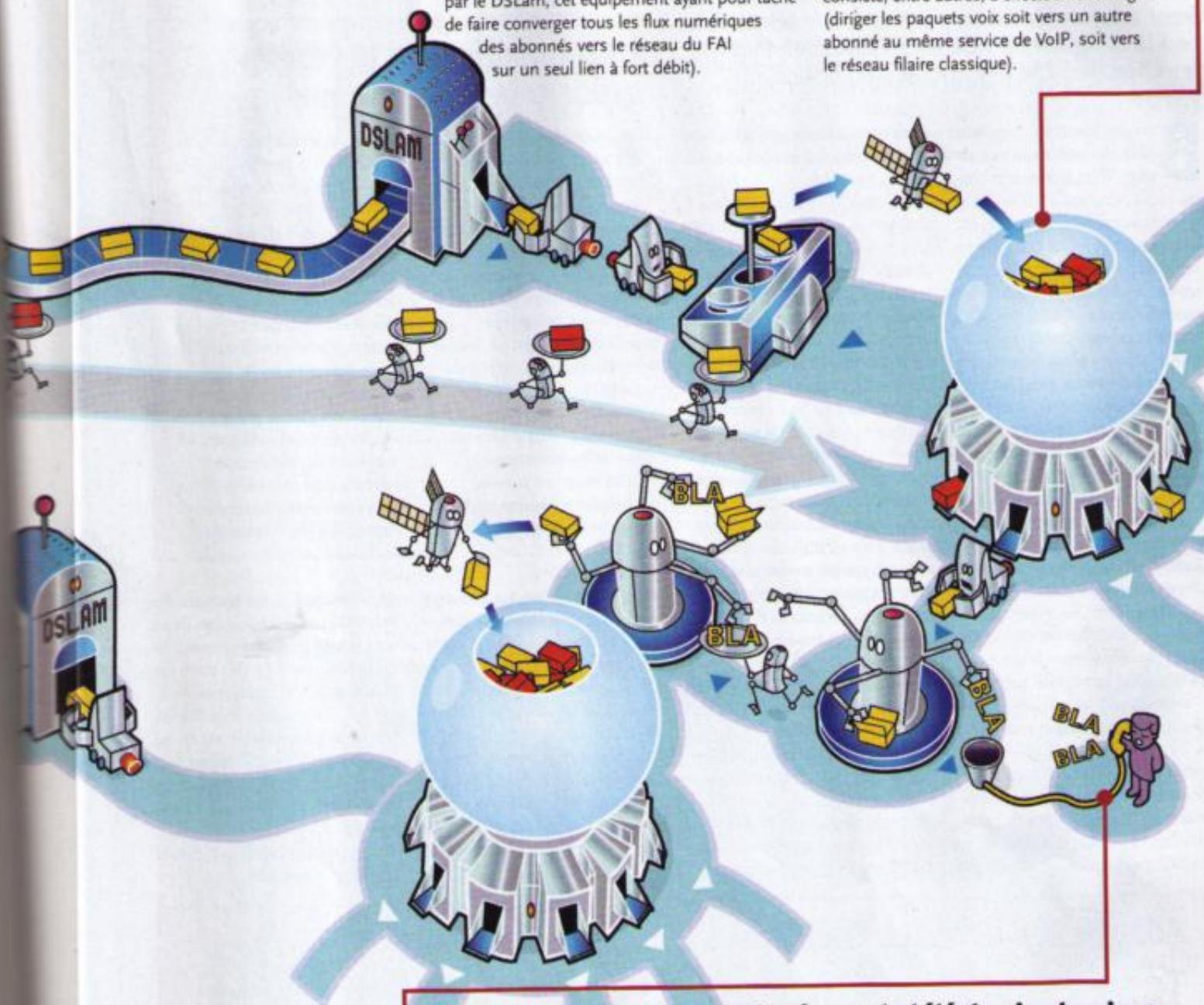
Lorsque l'appel est émis vers un boîtier ADSL dépendant du même fournisseur d'accès à Internet, le flux qui transporte la voix est un flux Internet de bout en bout. Le soft switch transmet directement les paquets de voix au boîtier de destination. Ce dernier recombine les paquets de façon à reconstituer le signal numérique, qu'il convertit ensuite en analogique.

Mais si l'appel est émis vers un boîtier ADSL d'un FAI différent, les paquets voix sont réordonnés par une passerelle, décompressés et transmis sur le réseau téléphonique. Ils arrivent alors sur le réseau du FAI du destinataire, où une passerelle recomprime le signal dans des paquets IP et les transmet par le réseau Internet au boîtier, qui devra les recombinaison et les décompresser.

Technique commune : les paquets de voix sont véhiculés

Qu'ils soient émis par un boîtier ou un logiciel, les paquets de voix se dirigent tous vers le réseau du FAI de l'appelant (dans le cas de la téléphonie sur ADSL, ils passent par le DSLAM, cet équipement ayant pour tâche de faire converger tous les flux numériques des abonnés vers le réseau du FAI sur un seul lien à fort débit).

Au sein du réseau, un équipement baptisé soft switch, gère la signalisation des appels : selon les informations transmises par le boîtier ou le logiciel, cette tâche consiste, entre autres, à effectuer le routage (diriger les paquets voix soit vers un autre abonné au même service de VoIP, soit vers le réseau filaire classique).



Technique commune : vers le réseau de téléphonie classique

Lorsque l'appel est émis vers un numéro appartenant au réseau de téléphonie filaire classique, le soft switch oriente les paquets voix vers une passerelle (*gateway*, en anglais), qui effectue les opérations inverses de celles du boîtier ADSL ou du logiciel de l'appelant. Cette passerelle doit d'abord réassembler les paquets, qui n'arrivent pas forcément dans l'ordre dans lequel ils ont été émis. Ensuite, tout dépend du codec utilisé pour compresser

la voix. Sur le réseau de téléphonie classique, la voix est aussi numérisée (avec le codec G711). Si le codec employé en VoIP est identique à celui de la téléphonie classique, la passerelle se contente de transférer l'appel vers ce réseau. En revanche, s'il s'agit d'un autre codec, la passerelle effectuera une opération de transcodage : elle décodera le signal numérique puis le recodera en G711. En fin de parcours, juste avant le poste de l'appelant, le signal est converti en analogique.

■ RESEAU

Les défis de l'Internet 2

Pour adapter le réseau planétaire à la téléphonie et à la diffusion de vidéos en haute définition, les chercheurs le font muter... en douceur.

Bientôt, Internet comptera près de 100 millions de sites Web, parcourus chaque jour par plus d'un milliard d'internautes. Une prouesse, car ce réseau repose sur des technologies anciennes et rarement mises à jour. Le protocole de communication TCP/IP, fondement d'Internet, date de 1978.

Mais le réseau planétaire atteint progressivement ses limites, même s'il a été extrêmement bien conçu et intelligemment étendu. Ses pères fondateurs s'accordent à dire qu'il ne sera pas capable – en l'état – de supporter les nouvelles applications en cours de développement dans les cellules de recherche et développement, comme le téléenseignement, la médecine à distance, la diffusion de vidéos en haute définition et la généralisation des appareils mobiles – téléphones, baladeurs, etc. – connectés en permanence.

« Pour construire l'Internet du futur, il faut imaginer ce qu'on en fera. Réponse: de la voix, de la vidéo, en mobilité », prédit Jean-Michel Planche, président de la FING, association de construc-

teurs et d'éditeurs, qui scrute en permanence l'évolution du réseau mondial.

Mais pas question de tout changer du jour au lendemain. L'évolution doit être progressive afin de laisser aux constructeurs et aux éditeurs le temps d'adapter leurs produits.

Nouvelle version du protocole IP

Le protocole IP, qui contrôle le transport des données en attribuant à chaque terminal (ordinateur, téléphone, organisateur) une adresse, a entamé une lente mutation. Sa version 4, actuellement utilisée, est limitée: elle ne permet d'attribuer « que » 4,29 milliards d'adresses différentes. Dès 2010, il n'y aura plus assez d'adresses pour tout le monde. Résultat: la version 6 du protocole IP est déjà mise en place petit à petit sur le réseau, parallèlement à la version 4.

D'autres évolutions seront plus complexes, car le fonctionnement intrinsèque du réseau a été conçu pour des communications d'individu à individu, sans contrainte de délai d'achemine-

Décongestionner le réseau grâce à la diffusion multiple

Aujourd'hui, Internet fonctionne en mode unicast (ou diffusion simple): lorsque deux internautes requièrent des données identiques (ils veulent regarder la même émission diffusée en direct, par exemple), celles-ci sont transportées en double exemplaire sur une grande partie du réseau, ce qui crée des congestions. Il faut donc passer au mode multicast (ou diffusion multiple). Cette méthode permet, à la source des données, de n'envoyer qu'un seul flux,

qui est dupliqué par les équipements de transmission en de multiples exemplaires au plus proche des destinataires. Cela permettrait de libérer énormément de bande passante dans les branches principales du réseau. Praticé depuis plus de dix ans dans des environnements de recherche, le multicasting est encore peu développé sur les portions publiques du Net. En grande partie parce que ce procédé nécessite le remplacement des équipements réseau.

ment. Le mail, l'un des premiers services disponibles sur Internet, correspond bien à cette conception: un expéditeur envoie un message à un ou plusieurs destinataires. Le délai de distribution, qui peut varier d'une seconde à plusieurs minutes, n'est pas pénalisant pour le fonctionnement du service. En revanche, la diffusion d'une émission de télévision implique d'autres contraintes. Pas ques-

tion que plusieurs images du flux vidéo soient bloquées dans un « bouchon » sur le réseau: la diffusion doit s'effectuer en temps réel – sans latence –, ce qui nécessite une vitesse de transmission élevée. Mais le débit ne suffit pas, le réseau doit aussi être capable de transmettre une grande quantité d'informations en même temps, c'est-à-dire disposer d'une bande passante importante. ■

Adapter les données transmises à la bande passante

Téléphonie via Internet, diffusion d'émissions de télévision ou écoute de musique en ligne exigent que les informations circulent sur le réseau de manière fluide, sans latence.

Ainsi, dans le cas de la voix sur IP, il ne faut pas dépasser un délai de 150 microsecondes entre l'envoi d'un paquet de données (contenant des bribes de paroles) et sa réception. Pour cela, il faut que les équipements situés sur le réseau transmettent en priorité certaines données plutôt que d'autres. Le Laboratoire lorrain de recherche en informatique et ses applications (Loria) travaille par exemple sur une méthode permettant d'analyser finement, en temps réel, une séquence vidéo compressée en MPEG4. Objectif: faire passer en priorité, en cas de congestion du réseau, les images

dites de référence (qui sont complètes), en délaissant les autres (les images interpolées, qui ne contiennent que les différences avec celles de référence). Pour aller plus loin, il faudrait adapter les données transmises à la bande passante du destinataire. « On peut imaginer qu'un flux vidéo d'une compétition sportive soit composé à la fois d'une vidéo haute définition, destinée aux PC connectés à une ligne ADSL à haut débit, d'une vidéo basse définition, pour les téléphones mobiles UMTS et d'un simple tableau des scores (rafraîchi en temps réel), affiché lorsque la vidéo ne passe pas correctement », avance André Cotton, un des responsables d'EuronetLab, un laboratoire commun à Thalès et à l'École nationale supérieure des télécommunications, qui travaille sur le sujet.

Vers la création d'un annuaire universel

Numéro de téléphone, de fax, pseudonyme sur une messagerie instantanée, adresse électronique ou de son site Web: on dispose aujourd'hui de multiples identifiants destinés à des usages bien précis. L'Internet Engineering Task Force (IETF), une association qui regroupe des constructeurs et des éditeurs, a cherché un moyen de relier tous ces identifiants.

Le projet a abouti à la création du standard Enum, qui permet d'associer à chaque numéro de téléphone des adresses mail et d'autres coordonnées du propriétaire de ce numéro, comme l'adresse de messagerie instantanée. Les serveurs DNS,

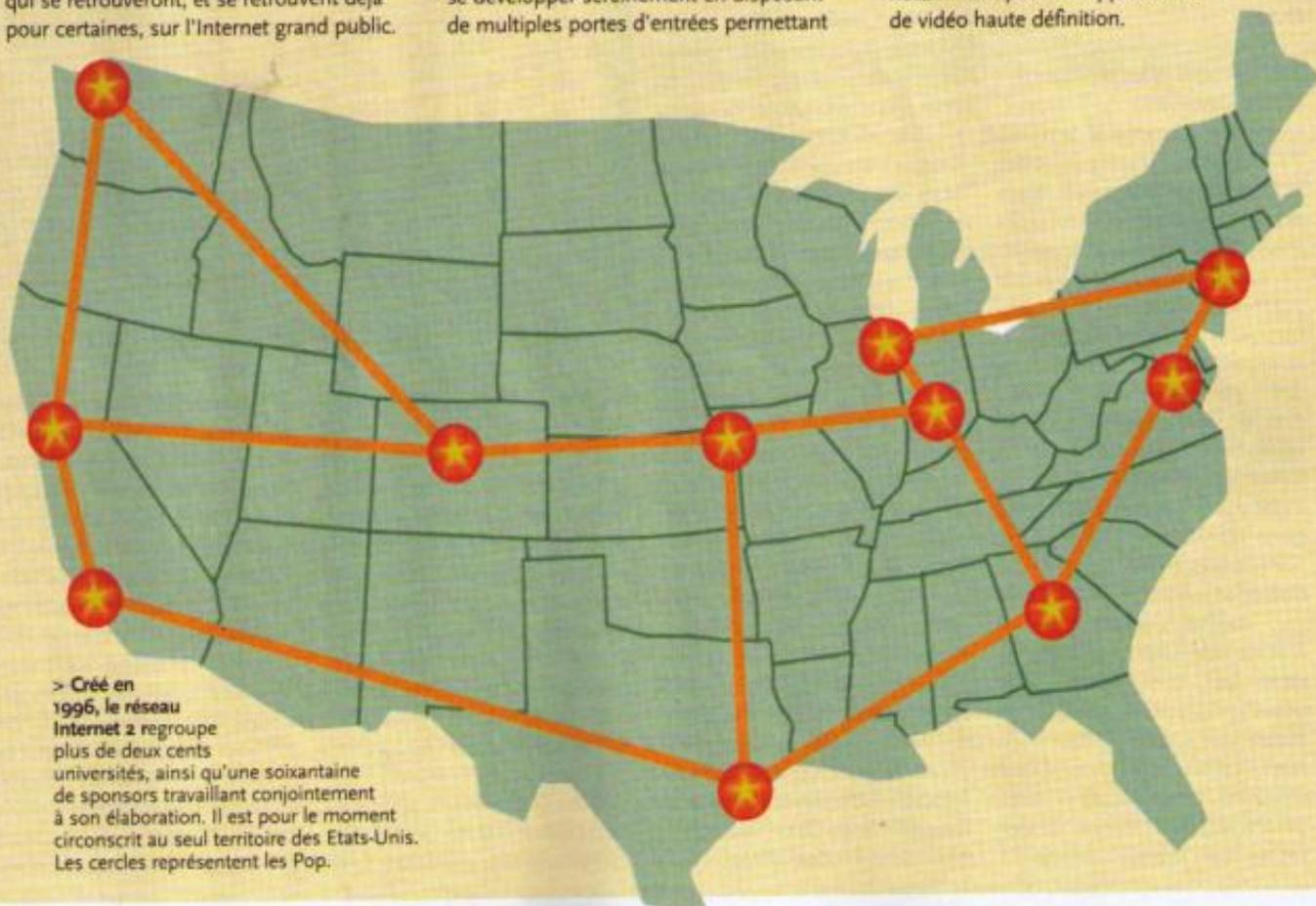
qui servent aujourd'hui à établir une correspondance entre un nom de site Web et son adresse IP (en transformant une adresse du type `www.supersite.com` en une adresse du genre `213.186.34.126`), seraient aussi utilisés pour créer un lien entre un numéro de téléphone et une adresse électronique. Ainsi, il suffirait de connaître les coordonnées téléphoniques d'un internaute pour pouvoir lui expédier un mail, un message instantané ou visiter son site Web. En Australie, AARNet, le réseau qui relie toutes les universités du pays, a déjà expérimenté Enum à grande échelle.

Un réseau parallèle pour tester les innovations

L'Internet du futur existe déjà: il s'appelle Internet 2. Créé en 1996, ce réseau parallèle regroupe plus de deux cents universités (essentiellement américaines). A l'origine, il n'était pas censé être ouvert au public, ni même aux entreprises, à l'exception d'une soixantaine de sponsors triés sur le volet qui ont participé activement à son élaboration. Car cet Internet-là a été un terrain d'expérimentation pour les scientifiques, qui ont pu y tester les technologies qui se retrouveront, et se retrouvent déjà pour certaines, sur l'Internet grand public.

Les progrès ont été considérables: des interfaces améliorées et personnalisables grâce à des langages de programmation comme Ajax (*Asynchronous JavaScript And XML*), à la navigation par tags (mot-clé associé à un contenu) ou aux agrégateurs de contenus RSS (*Really Simple Syndication*). Principale révolution: le partage de ressources via des bases de données ouvertes, comme autant de lieux d'échange de photos, de musique et de vidéos. Ce réseau a pu se développer sereinement en disposant de multiples portes d'entrées permettant

de s'y connecter, des Pop (ou points de présence). Points communs de tous les Pop d'Internet 2: ils assurent un débit minimal d'un gigabit par seconde et sont reliés entre eux par Abilene, l'épine dorsale du réseau, capable de transporter jusqu'à 10 gigabits de données par seconde. Mais au sein d'Internet 2 existent également des dorsales parallèles. On y trouve ainsi Mbone, équipée pour y tester des applications multicast, Qbone, dédiée à la gestion de la qualité de service, notamment pour les applications de vidéo haute définition.



> Créé en 1996, le réseau Internet 2 regroupe plus de deux cents universités, ainsi qu'une soixantaine de sponsors travaillant conjointement à son élaboration. Il est pour le moment circonscrit au seul territoire des Etats-Unis. Les cercles représentent les Pop.

■ TRANSMISSION

Quand le réseau sera... omni

Avec ou sans fil, le réseau sera disponible à tout instant, en tous lieux. Même les objets communiqueront entre eux. Pour augmenter les débits, il faudra passer à la fibre optique.

En se serrant la main, deux chercheurs de l'opérateur japonais NTT Docomo ont réussi à se transmettre un fichier. Un tour de magie? Pas du tout: ils ont tout simplement utilisé leur réseau corporel, appelé ElectAura-Net, qui permet d'échanger des données à la vitesse de 10 Mbit/s, simplement en se touchant.

Au lieu d'utiliser des ondes radio ou infrarouges, ElectAura met à profit l'électricité statique du corps humain, captée par un plancher spécial. Dans la poche de chacun des chercheurs, un PDA, relié au réseau corporel pour émettre ou recevoir le fichier.

Les objets s'échangent des données

Comme d'autres types de réseau (l'USB sans fil, ou *Wireless-USB*, qui fait ses premiers pas), ElectAura fait partie de la famille des PAN (*Personal Area Network*). Ce sont des réseaux personnels permettant de faire communiquer entre eux les objets d'un appartement. Ils devraient se développer avec l'arrivée de Zig-Bee, un nouveau protocole de communication, concurrent du Bluetooth et du Wi-Fi, développé par un consortium regroupant notamment Motorola, Samsung et Nec.

Son débit est limité (entre 20 et 250 kbit/s), mais il dispose d'une portée satisfaisante (70 m) et, surtout, il consomme très peu d'énergie. Avec une batterie identique, un module Bluetooth dispose d'une autonomie d'une semaine, contre trois années pour le ZigBee. Objectif: placer un module sur tous les objets

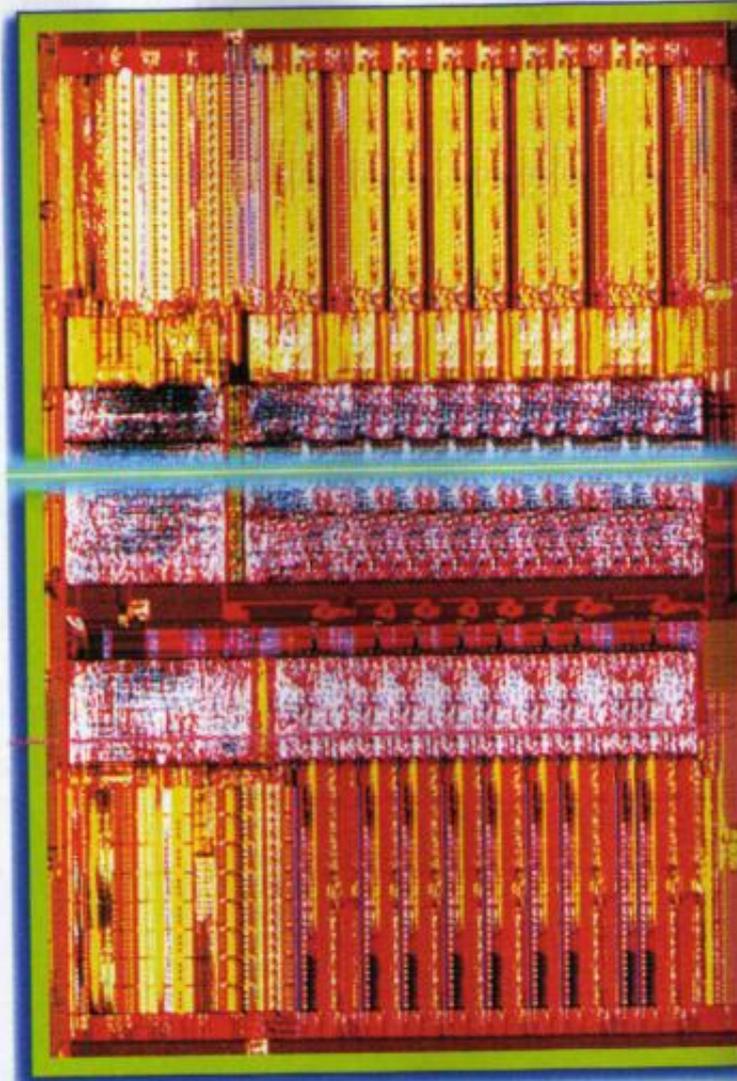
d'une habitation: lampes, fours, téléviseurs, etc. En réseau, ils s'échangeront des données et seront contrôlés à distance.

Sans-fil universel

La tendance du «tout en réseau» ne concernera pas que l'habitation puisqu'il est quasi certain que, demain, le réseau sera omniprésent. Surtout en sans-fil grâce au Wi-Fi et à ses déclinaisons, au WiMax (permettant une portée plus importante) ou à la 3G (UMTS) et son successeur, la 4G. Avec la possibilité de passer d'un réseau à un autre sans aucune déconnexion grâce à des radios logicielles, ou SDR (*Software Defined Radio*).

Actuellement, tous les réseaux sans fil fonctionnent sur un principe similaire: les données sont véhiculées sous forme d'ondes électromagnétiques. Mais chaque standard possède ses spécificités (notamment la bande de fréquence sur laquelle il opère), et les circuits radio contenus dans les téléphones ou les modules Wi-Fi sont généralement conçus pour un seul standard. Ils contiennent des «filtres» qui éliminent les fréquences ne correspondant pas à la norme pour laquelle ils sont prévus, avant de décoder les ondes reçues.

Les radios logicielles, elles, se basent sur un circuit électronique généraliste se contentant de transmettre l'ensemble du signal reçu. Le filtrage est effectué par un logiciel qu'il suffit de mettre à jour pour l'adapter à un nouveau standard. La radio logicielle sélectionne automatiquement le meilleur réseau disponible et en change sans que

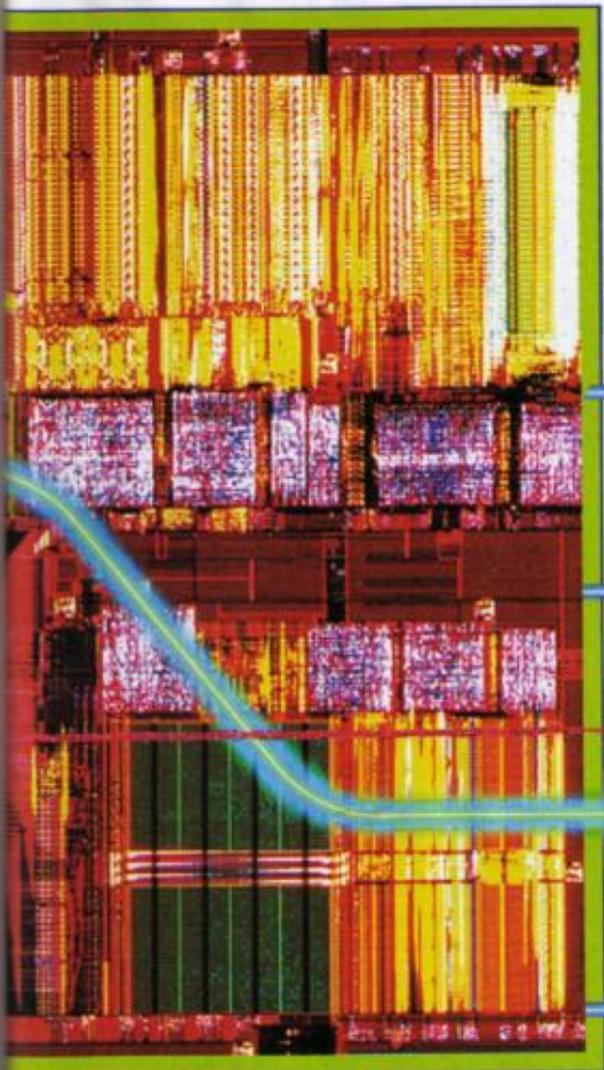


l'utilisateur perçoive quoi que ce soit. Les accès filaires devraient, eux, être améliorés grâce au VDSL, une technologie qui succédera à l'ADSL et apportera plus de débit (jusqu'à 60 Mbit/s), ainsi qu'à l'arrivée de fibres optiques directement au domicile des utilisateurs (FTTH, *Fiber to the Home*) ou en bas de leur immeuble (FTTB, *Fiber to the Building*) pour offrir des débits de 100 à 1 000 Mbit/s (voir page 100).

Le principal défi qui attend les chercheurs est de faire face à l'augmentation considérable de

la quantité de données échangées sur le réseau. Actuellement, la technologie la plus rapide repose sur des fibres optiques. Les données sont converties en lumière (proche de l'infrarouge) par un modulateur équipé d'un laser: lorsqu'il émet de la lumière il transmet un 1, lorsqu'il est éteint, c'est un 0. Plusieurs bits peuvent être codés simultanément (jusqu'à 128) en utilisant des longueurs d'ondes différentes, qui sont ensuite multiplexées (combinées) dans un seul faisceau lumineux véhiculé sur la fibre.

présent



Internet en 2014 : les prévisions des experts

66 % prévoient qu'une attaque terroriste dévastatrice – physique ou virtuelle – aura lieu sur le réseau.

50 % pensent qu'on pourra toujours échanger musique et films sur des réseaux peer-to-peer anonymes.

57 % estiment que les étudiants passeront la moitié de leur journée dans des écoles virtuelles et choisiront eux-mêmes leurs cours.

52 % pensent que neuf personnes sur dix auront accès au haut-débit.

Sondage réalisé aux Etats-Unis par le Pew Internet Project auprès de 1200 experts.

Mais si les photons sont plus rapides et efficaces pour transporter des données que les électrons, ils ne sont en revanche pas du tout adaptés au stockage, même très court (moins d'une milliseconde). Ce stockage est pourtant nécessaire lorsque les données arrivent à un «aiguillage» du réseau. Aujourd'hui, elles sont donc reconverties en électrons à chaque embranchement, ce qui provoque des bouchons. On estime ainsi que 70 % du temps d'acheminement des données est perdu dans ces conversions.

Pour résoudre ce problème, les chercheurs d'IBM ont conçu un circuit intégré en silicium permettant de ralentir la lumière d'un facteur 300, assez pour stocker des photons en attendant l'arrivée des suivants.

Essor de la fibre optique

Il permettrait de diminuer les temps de latence sur le réseau, ce qui bénéficiera par exemple à la transmission de conversations téléphoniques par Internet, particulièrement sensibles aux délais d'acheminement. Autre problème: relier les parti-

culiers au réseau à l'aide de fibres optiques implique de leur fournir un équipement capable de transformer les données en faisceaux lumineux. Mais ce type de matériel est très cher, car le laser, qui passe constamment d'un état allumé à un état éteint, doit être refroidi correctement. Les chercheurs d'Intel ont trouvé une solution: ils séparent le faisceau lumineux en deux et font varier la luminosité de chacun des deux sous-faisceaux. Ils obtiennent alors deux ondes lumineuses, qui sont transmises dans la fibre

optique. A l'arrivée, les deux ondes sont «additionnées». Si elles sont en phase (leur luminosité varie de manière identique), c'est un 1 qui a été transmis. Si elles sont opposées, c'est un 0. Le procédé repose entièrement sur un circuit en silicium, peu coûteux à produire.

Le système pourrait atteindre des débits de 10 Gbit/s, beaucoup plus modestes que les débits d'équipements fonctionnant en mode allumé/éteint, mais suffisants pour transmettre les données d'un particulier via de la fibre optique. ■

■ DSL ET CPL

La ligne de cuivre fait de la

A côté de la prometteuse fibre optique, plusieurs laboratoires et sociétés essaient d'améliorer les technologies DSL... qui sont loin d'avoir dit leur dernier mot.

Des applications de plus en plus gourmandes en bande passante se croisent sur le réseau Internet. Les chaînes de télévision haute définition, les échanges en peer-to-peer, les jeux en ligne et les conversations téléphoniques se mêlent désormais à l'énorme flux de messageries, de pages Web et de transferts de fichiers. Chaque seconde, des milliers de paquets de données tentent ainsi d'emprunter la même bretelle d'accès. L'engorgement menace!

Une imposante armada de nouvelles technologies se profile pour améliorer les choses : fibre optique, câble TV, liens satellite, réseaux sans fil Wi-Fi 802.11n, Wimax, BluWan, etc. Mais d'ici à la fin 2010, c'est probablement la paire de fils de cuivre traditionnelle et les technologies DSL (*Digital Subscriber Line*), dont l'ADSL est la déclinaison la plus populaire, qui devraient mener le bal du très haut-débit dans les foyers.

L'un des espoirs d'amélioration vient de la technologie DSM (*Dynamic Spectrum Management*). Autour d'elle s'est formé un consortium d'entreprises et

de chercheurs. L'objectif est de limiter les interférences provoquées par la cohabitation de plusieurs technologies DSL sur notre câblage de quartier, pour au moins doubler le débit.

Moins contraignante et moins coûteuse

Si le consortium DSM parvient à ses fins, les investissements des opérateurs télécoms pourraient s'en trouver très allégés. En effet, France Télécom, Iliad (la maison mère de Free) et Numéricable-Noos déploient déjà la fibre optique en ville. Mais la paire de cuivre, moins contraignante et surtout moins coûteuse pour l'opérateur, devrait l'être également pour l'abonné, et ne sera donc pas remplacée partout.

D'autres aspects techniques, économiques, juridiques et politiques entrent en jeu, France Télécom étant toujours propriétaire des paires de cuivre menant aux foyers (la fameuse boucle locale). En outre, le cuivre n'a pas encore résolu son problème d'atténuation du signal sur de longues distances. Et on est toujours loin de la standardisation du DSM ■

100 mégabits par seconde

« Nous avons entamé des recherches sur la technologie DSM il y a sept ou huit ans », se rappelle John Cioffi, professeur à l'université de Stanford. Et ce, avec le soutien de plusieurs entreprises internationales, dont un grand opérateur télécom français. Convaincu de l'avenir du DSM, John Cioffi l'est à tel point qu'il a créé, en 2003, une petite société privée aux Etats-Unis, portant le prénom de sa femme, une Française: Assia Inc (mais ce nom est aussi le sigle d'Adaptive Spectrum and Signal Alignment). Son objectif: augmenter le débit Internet sur les lignes téléphoniques, seulement en optimisant le partage des flux sur la ligne. Un logiciel commence par observer le trafic sur la ligne téléphonique

pendant plusieurs semaines pour, ensuite, en ajuster les paramètres. « Aujourd'hui, rien qu'en optimisant la partie logicielle des infrastructures DSM, on arrive à doubler la vitesse de transmission des informations, sans que l'opérateur télécom ait à intervenir sur ses infrastructures » explique John Cioffi, qui travaille sur de nouvelles techniques permettant de la tripler! « Actuellement, on peut atteindre 100 Mbit/s avec le DSM » précise-t-il. Ce qui explique sans doute, que cette technologie intéresse aujourd'hui, y compris en France, des opérateurs misant sur la fibre optique pour le raccordement final de leurs abonnés.



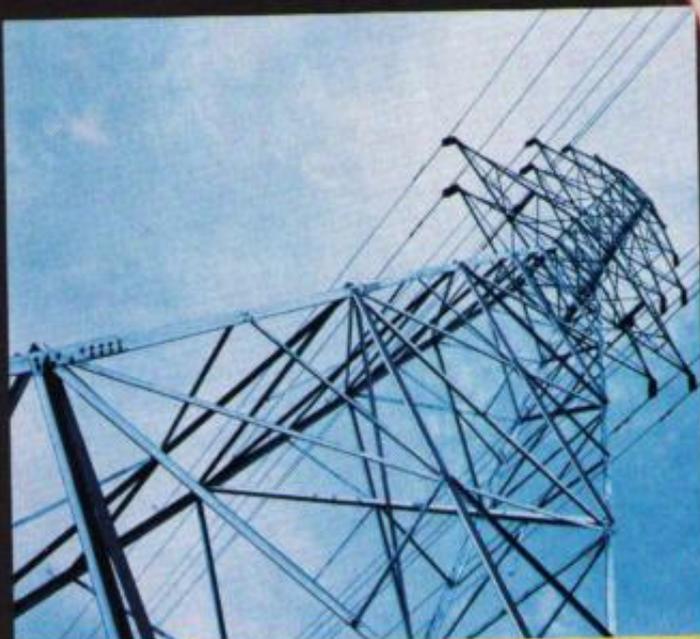
➤ **Chercheur fondamental, John Cioffi,** professeur à l'université de Stanford, à Palo Alto, en Californie, dirige le projet DSM du département d'ingénierie électrique. Il a fondé une société spécialisée dans le développement de logiciels de gestion des lignes DSM.

Deux fois mieux que l'ADSL

Actelis, jeune pousse américaine, a développé une technologie prometteuse, concurrente du DSM et basée sur Ethernet (le standard des réseaux locaux). Elle a déjà séduit deux opérateurs télécoms britanniques de renom: Colt et Easynet. Destinée pour le moment aux entreprises, l'EFM (*Ethernet in the First Mile*) permet d'offrir un débit de données symétrique de 20 Mbit/s en empruntant le réseau téléphonique traditionnel. Pour cela, contrairement à l'ADSL, qui ajoute des informations aux trames Ethernet pour les acheminer correctement d'un point

à un autre, l'EFM transporte nativement les trames sur les fils du téléphone. Du coup, en supprimant ces en-têtes, l'EFM gagne au moins 20 % de bande passante. Mais Actelis n'entend pas en rester là. La société expérimente actuellement l'EFMplus, qui devrait doubler le débit de données de l'EFM, soit 40 Mbit/s. Cette fois, les algorithmes utilisés à l'émission et à la réception des flux de données – pour en corriger les erreurs, entre autres – ont été réécrits par la start-up afin de fluidifier encore plus la circulation des informations.

résistance



Plus rapide que la fibre

Egalement fabriqués avec du cuivre, les câbles d'alimentation électrique semblent vouloir rejoindre les trublions de l'Internet à très haut débit. La technologie des courants porteurs (ou CPL) a d'ailleurs déjà investi nos maisons. Aujourd'hui, n'importe qui peut, en branchant des adaptateurs sur ses prises de courant, transformer son installation électrique en réseau local. Demain, ce seront les lignes à haute tension qui viendront peut-être concurrencer la fibre optique, en offrant jusqu'à 200 Mbit/s de débit. Soit bien plus que ce que propose la fibre optique, pour le moment... Pour preuve de l'avenir du courant porteur, le programme de recherche européen Opera (*Open PLC European Research Alliance*), qui a été lancé en janvier 2004 et dont l'objectif est de normaliser les matériels CPL (adaptateurs, etc.) à très haut débit. Les travaux d'Opera ont d'ailleurs abouti, en février 2006, à la publication d'un premier standard. En Ile-de-France, le Sipperec (Syndicat intercommunal de la périphérie de Paris pour l'électricité et les réseaux de communication) espère raccorder à Internet, par le réseau électrique, 1,5 million de foyers d'ici à cinq ans. Mais les débits n'excéderont pas 1 Mbit/s dans un premier temps.



Glossaire

A

ADN

Acide désoxyribonucléique

Longue molécule en double chaîne hélicoïdale. Dans tous les organismes vivants, elle constitue les chromosomes et porte l'information génétique. Chaque brin d'ADN est constitué d'une série de petites molécules appelées bases, dont il existe quatre versions. C'est cette suite qui porte l'information. Une succession de trois bases forme un triplet. Une suite de triplets forme un gène. Beaucoup de gènes codent pour une protéine. Dans ce cas, un triplet code pour un acide aminé, et le gène représente la série d'acides aminés formant la protéine. L'information est donc numérique, mais le bit de l'informatique, à deux états, est ici remplacé par un système à quatre états, tandis que le mot (un octet en informatique), est ici un triplet. Certains espèrent utiliser l'ADN pour effectuer des calculs.

ADSL, ADSL 2+

Asymmetric Digital Subscriber Line

Technique de transmission de données. Sur une ligne téléphonique classique, elle transporte des informations numériques sur une autre gamme de fréquences de celle utilisée pour la voix. Cette dernière est codée de 0 à 4 kHz, soit une gamme très étroite, mais s'accommodant de fils de cuivre ou de commutateurs de mauvaise qualité et passant correctement sur de très longues distances. En ADSL de première génération, les données montantes (de l'abonné vers le réseau) occupent la bande de 25 à 200 kHz et le flux descendant (reçu par l'abonné) emprunte le canal le plus large, de 250 kHz à 1,1 MHz. Le débit montant théorique est alors de 512 kbit/s et le débit descendant de 8 Mbit/s. La distance entre l'abonné et le commutateur (DSLam) doit rester inférieure à cinq ou six kilomètres. Le débit maximal est de 8 Mbit/s. L'ADSL 2+ utilise les fréquences jusqu'à 2,2 MHz, portant le débit théorique à 25 Mbit/s en réception et 1,2 Mbit/s en émission. Mais il faut que la prise téléphonique se situe à moins de deux kilomètres du central pour profiter de débits supérieurs à 10 Mbit/s.

ATM

Asynchronous Transfer Mode

Technique de transfert de données à haut débit sur un réseau, local ou non. Il est largement utilisé par les fournisseurs d'accès à Internet pour les connexions ADSL, entre le central téléphonique et leurs installations. Les FAI indiquent souvent ce débit ATM plutôt que le débit réel (appelé IP). Dans ce cas, ce dernier est d'environ 20 % plus faible qu'annoncé.

B

Bactérie

Organisme de petite taille (de 0,05 à 600 micromètres), à une seule cellule sans noyau (ce sont donc des procaryotes). On en distingue deux lignées, les Eubactéries et les Archées. Ces

dernières sont adaptées aux conditions extrêmes (température, salinité, etc.). Les Eubactéries sont les plus nombreuses. Environ 9 000 espèces sont connues aujourd'hui, mais ce nombre est certainement très sous-estimé. Les bactéries de la flore intestinale et les formes pathogènes (comme les bacilles) sont des Eubactéries. Beaucoup sont utilisées pour la fermentation (fromages, vin, etc.) et, parfois avec des modifications génétiques, par les industries agroalimentaire, pharmaceutique, biotechnologique, et peut-être un jour électronique.

Balayage progressif

Progressive scan, en anglais.

Technique consistant à afficher toutes les lignes qui composent une image, progressivement, du haut vers le bas de l'écran. Le balayage progressif offre une meilleure qualité d'affichage que le balayage entrelacé. Dans le standard de la télévision à haute définition (TV HD), les modes utilisant le balayage progressif sont repérés par la lettre p. (Voir aussi Entrelacement)

Blu-Ray

Format de disque réinscriptible, soutenu par Philips, Sony et Samsung, concurrent du HD-DVD, qui vise à remplacer les DVD. Utilisant un laser bleu, cette technologie permet de stocker 25 Go sur un disque simple couche et 50 Go en double couche.

C

CCD

Charged Couple Device

Ou capteur à transfert de charges. Capteur transformant des photons incidents en électrons (c'est l'effet photoélectrique) et conservant les charges électriques ainsi accumulées jusqu'à leur lecture (qui doit être réalisée, à l'échelle de la matrice de CCD, colonne par colonne). Un capteur CCD doit être équipé d'un convertisseur analogique-numérique. Son concurrent est le capteur Cmos, moins coûteux, car fabriqué avec les mêmes techniques que les circuits intégrés.

Chipset

Ensemble de circuits gérant les échanges entre le processeur et le reste de l'ordinateur (mémoire, carte graphique, disque dur, lecteur/graveur, périphériques, etc.). Un chipset est spécifique d'une famille de processeurs. Dans la plupart des cas, il est constitué de deux circuits, le Northbridge (pont nord, en français), dédié aux transferts rapides avec la carte graphique (quand elle existe) et la mémoire, et le Southbridge (pont sud), chargé des autres interfaces, plus lentes.

D

DDR, DDR-2, DDR-3

Double Data Rate

Procédé consistant à lire ou à écrire dans la mémoire deux fois – au lieu d'une – à chaque cycle d'horloge (en utilisant à la fois la montée

et la descente de l'impulsion électrique). Il est actuellement utilisé sur la SDRam. La DDR-2 SDRam (*Double Data Rate Two SDRAM*) lit et écrit à une fréquence double de celle de la mémoire elle-même, en utilisant deux canaux (*Dual channel*). Elle transfère donc 4 bits à chaque cycle d'horloge. La DDR-3, commercialisée en 2007, double encore ce débit et transfère, dans un sens ou dans l'autre, 8 bits par cycle.

Descendant

Sur Internet, désigne le flux de données du réseau vers l'utilisateur. Antonyme : montant.

DirectX

Bibliothèque de fonctions indispensables au fonctionnement des programmes multimédias et des jeux avec Windows.

DivX

Format de compression de la vidéo réduisant la taille d'un fichier d'un facteur 8 à 12 environ par rapport au format natif. La compression DivX permet notamment de faire tenir le contenu d'un DVD-Vidéo sur un CD-Vidéo.

DRam

Dynamic Random Access Memory

Mémoire vive dynamique. Type de mémoire le plus utilisé aujourd'hui dans les ordinateurs, parce qu'elle est simple à fabriquer et suffisamment rapide. L'information est portée par la charge d'un condensateur contrôlé par un transistor. Comme tout condensateur ne peut conserver sa charge électrique que pendant un temps très faible, il faut « rafraîchir », c'est-à-dire réécrire régulièrement l'information qui s'y trouve. (Voir aussi Rafraîchissement)

DSLam

Digital Subscriber Line Access Multiplexer

Installé dans le central téléphonique, ce répartiteur fait le tri entre la voix du canal téléphonique et les données ADSL des canaux Internet montant et descendant. Il est relié d'un côté à un abonné et de l'autre à son fournisseur d'accès.

E

Entrelacement

Méthode d'affichage utilisée en vidéo pour montrer des images stables sur un écran cathodique, où un faisceau d'électrons balaie la surface ligne à ligne. En mode entrelacé, les lignes impaires sont d'abord affichées, de haut en bas de l'écran, puis les lignes paires viennent s'y intercaler. Une opération de désentrelacement est nécessaire pour effectuer un affichage correct sur un écran LCD ou bien pour travailler sur les images de la vidéo.

Effet tunnel

Effet ne se manifestant qu'à l'échelle quantique et grâce auquel une particule passe d'un état possible à un autre en semblant transiter par des états intermédiaires impossibles. Une particule peut ainsi donner l'impression de traverser une barrière physique (un isolant trop fin dans le cas d'un électron, par exemple) ou,

plus généralement, une barrière d'énergie (il faudrait fournir un surcroît d'énergie à la particule pour qu'elle s'échappe, mais elle le fait tout de même sans aucun apport). C'est pourquoi on parle d'effet tunnel. Un tel comportement est la règle à l'échelle des particules, qui ne sont pas installées à un emplacement donné. Elles ne cessent de disparaître et de réapparaître plus ou moins loin. Dans les circuits électroniques, la finesse de gravure atteinte aujourd'hui confronte les ingénieurs à ces lois physiques différentes.

Exposition

Indication de la quantité de lumière reçue par le capteur d'un appareil photo numérique au moment de la prise de vue. Elle dépend du diaphragme (plus ou moins ouvert), du temps d'exposition et du réglage de la sensibilité du capteur (fixe sur les appareils bas de gamme).

F

Flash

1 - Format d'animation créé par Macromedia puis racheté fin 2005 par Adobe. Les animations Flash peuvent être intégrées aux pages Web, où elles sont lues directement par le navigateur Internet ou diffusées sous forme indépendante. Il faut alors disposer du lecteur Flash Player pour les afficher.

2 - Mémoire non volatile de type EEPROM (*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory* ou mémoire morte effaçable électriquement et programmable). Un voltage important (12 V) sert à l'écriture et un voltage plus faible (1,8 à 5 V) suffit à la lecture.

Flops

Floating-point Operation per Second
Mesure de puissance d'un calculateur, équivalent à une opération en virgule flottante (donc pas sur des nombres entiers) par seconde. Une telle opération nécessite de la part du processeur un grand nombre d'opérations élémentaires. Les puissances des calculateurs actuels se mesurent en multiples de flops: mégaflops (millions de flops), gigaflops (milliards) et téraflops (milliers de milliards).
(Voir aussi Mips)

G

Gigaoctet

Ou Go. 1 gigaoctet vaut 1 024 mégaoctets (Mo), soit environ un milliard d'octets (exactement 1 073 741 824). Une autre définition du gigaoctet est utilisée pour indiquer la capacité des DVD. 1 Go contient alors juste un milliard d'octets.

H

H.263

Codec dont les concepteurs du MPEG4 se sont inspirés, à la base des applications vidéo des téléphones mobiles: enregistrement, envoi par

MMS et diffusion en streaming par les opérateurs. Il est le résultat d'un projet international nommé 3GPP, d'où l'extension .3GP des fichiers (3G pour troisième génération).

H.264

Ou MPEG4 Part10. Déclinaison du H.263 et du MPEG4. Son champ d'application inclut la diffusion en haute définition par câble, satellite, TNT (il est obligatoire en France pour les chaînes payantes), Internet et les réseaux de téléphonie mobile. C'est également le codec des disques vidéo Blu-Ray et HD-DVD. Il est inclus dans QuickTime 7, d'Apple, qui vend ses vidéos pour iPod dans ce format avec l'extension .m4v.

HD-DVD

High Density Digital Versatile Disc
Norme de DVD à grande capacité. Concurrent du format Blu-Ray, il est promu par Intel, Microsoft, Nec et Toshiba. Sa capacité est de 15 à 17 Go par couche. Des disques triple couche sont annoncés à 51 Go.

HDMI

Interface (et son connecteur) transmettant un signal vidéo numérique avec le son, présenté comme le successeur de la prise Péritel (analogique). En plus de la stéréo, il gère le son multicanal, jusqu'au 7.1.

Avec l'arrivée de la télévision haute définition, ce connecteur est appelé à équiper tous les appareils vidéo numériques: lecteurs de DVD, magnétoscopes, vidéoprojecteurs, téléviseurs, etc.

I

ID-tag

Ou tag. Marqueur d'identification. Éléments d'information contenus dans les fichiers MP3 sous forme d'un petit texte contenant sept renseignements: nom de l'artiste, titre de l'œuvre, titre de l'album, année, genre musical, numéro de plage et commentaire. Les tags s'affichent sur l'écran des baladeurs ou des autoradios, ainsi que sur ordinateur avec des logiciels comme iTunes, Winamp ou le Lecteur Windows Media.

Instruction

Commande reconnue par un processeur. Beaucoup d'entre elles concernent des manipulations de nombres en mémoire, par exemple « Additionner le contenu mémoire 3821 et le contenu de la mémoire 18930 et placer le résultat dans la mémoire 15812 ». Une telle instruction prend la forme d'une série de nombres inscrits dans une suite d'octets.

Un processeur 16 bits peut traiter en une seule lecture des opérations s'écrivant sur deux octets (un octet contient 8 bits). Un processeur 64 bits en traite huit. L'ensemble des instructions connues d'un processeur constitue le langage machine. A l'intérieur du processeur, chaque instruction se décompose en une suite de micro-instructions.

(Voir aussi Micro-instruction)

L

Laser

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

Amplification lumineuse par émission stimulée. Un rayon laser est un faisceau d'ondes lumineuses dites cohérentes c'est-à-dire présentant exactement la même fréquence et la même phase. Le principe général consiste à exciter une population d'atomes et à faire en sorte qu'ils se déséxcitent simultanément par émission de photons. Tous les atomes perdant la même quantité d'énergie, les photons émis ont la même fréquence. Pour exciter les atomes, on se sert de la lumière émise (d'où le terme émission stimulée), qui se réfléchit entre deux surfaces réfléchissantes. Plusieurs techniques sont utilisées pour produire des rayons laser (faisant appel à des solides cristallins, des gaz ou des semi-conducteurs), dans une large gamme de longueurs d'onde.

LCD

Liquid Cristal Display

Ecran à cristaux liquides. Appellation du type le plus courant d'écrans plats, dans lequel les pixels sont créés par des cristaux liquides, qui peuvent être rendus individuellement opaques ou transparents à l'aide d'un signal électrique.

Lithogravure

Technique utilisée pour la réalisation des circuits imprimés. Sur les couches minces de résine, elle permet de réaliser, par opérations successives, à la fois les composants et les pistes (ou conducteurs) qui les relient. Pour chaque couche, un masque de quartz est réalisé, portant le dessin du circuit à reporter. Le silicium est recouvert d'une résine photosensible puis exposé à un rayonnement qui traverse le masque. On emploie des ultraviolets (photolithogravure, cas le plus commun), des rayons X ou des faisceaux d'électrons. Un solvant agit ensuite, comme un révélateur en photographie, faisant apparaître le dessin. Une étape de gravure, en général par attaque chimique (gravure humide), sculpte ensuite le relief en détruisant les parties non exposées. La gravure sèche consiste en un usinage par faisceau d'ions ou action d'un plasma.

Loi de Moore

En 1965, Gordon E. Moore, futur cofondateur d'Intel, prédit, dans un article d'un magazine d'électronique américain, que le nombre de composants électroniques intégrés sur un même circuit doublera tous les ans. L'expression « loi de Moore » est forgée dès ce moment par l'un de ses amis. En 1975, Moore (alors président d'Intel) revoit sa prédiction à la baisse, avec un doublement des transistors tous les deux ans. Dans les années qui ont suivi, cette règle empirique s'est vérifiée. Depuis, elle est souvent énoncée comme un doublement de composants tous les dix-huit mois. La miniaturisation incessante conduit inévitablement à des limites physiques. Jusqu'ici, les ingénieurs ont pu les franchir, mais l'approche des dimensions dans

Glossaire

lesquelles apparaissent des phénomènes quantiques change la donne. Cette physique nouvelle ouvre aussi des opportunités, comme l'ordinateur quantique ou les puces à ADN.

M

Magnétorésistance géante

Phénomène physique de nature quantique, également connu sous le sigle GMR, de l'anglais *Giant Magnetoresistance Effect*. Il est mis à profit dans les têtes de lecture des disques durs et repose sur les propriétés magnétiques de l'électron, qui s'expriment par leur spin (qu'on peut comparer à l'aiguille d'une boussole, orientée dans une certaine direction). Il apparaît dans des couches ultraminces de matériaux ferromagnétiques (comme le fer ou le cobalt). Soumis à un champ magnétique même faible, le matériau voit sa résistance électrique chuter très fortement. On peut ainsi facilement détecter un champ de faible intensité, ce qui a été utilisé pour densifier l'information sur les disques durs.

Cet effet a été découvert en 1988 par Albert Fert, qui travaillait alors au Laboratoire de physique des solides d'Orsay, et, quasi simultanément, en Allemagne par Peter Grünberg (Centre de recherche de Jülich). C'est la première application de l'électronique de spin, ou spintronique, depuis lors très étudiée dans les laboratoires.

Mémoire cache

De l'anglais *Cached Memory*.

Mémoire tampon rapide dupliquant l'information pour la fournir plus facilement à un circuit demandeur. Dans un ordinateur, il existe plusieurs niveaux de mémoires cache.

Le processeur lui-même en contient une, d'une capacité plus ou moins grande. Il s'agit en général de mémoire rapide de type SRam. Le principe d'utilisation consiste à charger dans la mémoire cache (donc depuis la mémoire vive de la carte mère) les données qui suivent celles que vient de demander le processeur, car il y a de fortes chances que celui-ci les réclame par la suite. La mémoire cache les lui délivrera alors bien plus rapidement.

Mems

Micro-Electro-Mechanical Systems

Système mécanique de très petite taille fabriqué à l'aide de techniques similaires à celles utilisées pour la réalisation des puces électroniques. Cette méthode permet de construire à coût réduit des systèmes mécaniques (capteurs, actionneurs (terme générique désignant un petit système effectuant une action déterminée), axes, roues, voire moteurs) dont la dimension des éléments se mesure en micromètres.

Micro-instruction

Instruction exécutée à l'intérieur du processeur pour réaliser une partie d'une instruction en langage machine. Les programmeurs de logiciels n'interviennent pas à ce niveau.

Micromètre

Millionième de mètre. On dit aussi micron.

Micro-onde

Ou hyperfréquence. Gamme d'ondes électromagnétiques comprise entre les infrarouges et la radio. Sa définition est fluctuante. Au sens large, on y inclut les fréquences de 300 MHz (limite de la VHF, radio très hautes fréquences) à 300 GHz (limite de l'infrarouge), soit des longueurs d'onde de 1 millimètre à 1 mètre.

Cette gamme englobe alors les UHF (fréquences radio ultrahauts, de 300 MHz à 3 GHz), utilisées notamment pour la téléphonie mobile et les fours à micro-ondes, ainsi que les SHF (fréquences superhautes, 3 à 30 GHz) et les EHF (fréquences extrêmement hautes, de 30 à 300 GHz).

Mips

1 - Million d'instructions par seconde. Unité de puissance indiquant le nombre d'instructions (du langage machine) qu'est capable d'exécuter chaque seconde un processeur.

2 - *Microprocessor without Interlocked Pipeline Stages*. Nom d'une architecture de processeur, de type Risc, mise au point par la société Mips Technologies et utilisée dans de nombreux appareils électroniques (consoles de jeu, modems, lecteurs de DVD, décodeurs TV, etc.).

N

Nanomètre

Milliardième de mètre. Cette dimension est celle des plus grosses molécules. Le préfixe nano a donné son nom aux nanotechnologies.

Nanotechnologie

Réalisation de structures de dimensions de l'ordre du micromètre et moins. Les phénomènes physiques intervenant à cette échelle (frottements, contraintes mécaniques, effets quantiques, etc.) sont suffisamment différents de ceux connus à l'échelle macroscopique (la nôtre) pour qu'on parle d'une famille particulière de technologies.

Nanotube

Structure moléculaire faite de carbone pur, en forme de tube. Les plus connus et les seuls utilisés sont les nanotubes de carbone. Leur taille est de plusieurs micromètres de longueur pour quelques nanomètres de diamètre. Ils ont été découverts en 1991 et créés à partir des fullerènes, molécules comportant de nombreux atomes de carbone et prenant la forme d'une ellipsoïde ou d'une sphère. Un nanotube peut être constitué de plusieurs feuillets de carbone (*Multi Wall Carbon Nanotubes, MWNT*) ou d'un seul (*Single Wall Carbon Nanotubes, SWNT*). Un feuillet de carbone non enroulé prend le nom de graphène. Fullerènes, nanotubes et graphène sont des formes de carbone pur qui s'ajoutent au graphite et au diamant. De nombreuses applications sont envisagées ou déjà réalisées à l'aide des nanotubes, utilisant des propriétés électriques et mécaniques particulières.

P

Pit

Trou (ou bosse) gravé dans un CD ou un DVD et portant l'information. Un trou crée deux dénivelés, chacun indiquant la valeur 1. Une zone plate entre deux trous ou au fond d'un trou est une succession de 0. Lorsque le rayon laser de la tête de lecture passe sur une zone plane, il est réfléchi sur le capteur. Lorsqu'il frappe le bord d'un trou, il est réfléchi plus loin et le capteur perçoit une brève occultation du signal lumineux : c'est un 1.

Processeur

Circuit regroupant un grand nombre de composants électroniques et réalisant une fonction complète (*process*). Dans les ordinateurs, c'est l'organe central exécutant les instructions enregistrées en mémoire. Il est formé de plusieurs unités fonctionnelles (unité de calcul, mémoire cache, bus interne, etc.). Les premiers processeurs étaient des cartes électroniques, dont la conception sur mesure répondait aux fonctions recherchées. En 1971, Intel a créé le 4004, un circuit intégré formé de 2300 transistors. Le terme microprocesseur est alors apparu. Le premier Pentium (apparu en 1993) comportait 3,1 millions de transistors.

Aujourd'hui, le préfixe micro tend à disparaître. Les meilleurs processeurs actuels se composent en fait de plusieurs processeurs internes – les cœurs (*Core*, en anglais). Ils embarquent plusieurs centaines de millions de transistors, mais on y trouve toujours les mêmes circuits élémentaires : décodage des instructions, unité de calcul, mémoire interne, bus de données, mémoire cache.

Protéine

Molécule de très grande taille composée d'une chaîne d'acides aminés. Les protéines jouent un rôle clé dans l'organisation et dans le métabolisme des êtres vivants. La plupart sont des enzymes, c'est-à-dire des catalyseurs rigoureusement spécifiques à une réaction chimique et activables ou désactivables selon les conditions. La structure de toutes les protéines d'un organisme est enregistrée dans le code génétique.

Q

Quadrichromie

Procédé d'impression basé sur le mélange de quatre couleurs primaires : le cyan (bleu-vert), le magenta (rouge violacé), le jaune et le noir, d'où l'abréviation CMJN. La quadrichromie est utilisée par les imprimantes à jet d'encre et dans l'imprimerie traditionnelle.

R

Rafraîchissement

1 - Rafraîchissement d'un écran : réaffichage de l'image. Il s'exprime en hertz, c'est-à-dire en

nombre de fois par seconde. Sur un écran cathodique, le taux de rafraîchissement concourt à la stabilité de l'image, car celle-ci, créée par phosphorescence sur la face interne du tube, s'évanouit très vite et doit être réécrite. Sur un écran plat à cristaux liquides (LCD), le taux de rafraîchissement n'intervient pas sur la stabilité de l'image, mais conditionne la capacité de l'écran à afficher des mouvements rapides.

2 - Réécriture périodique de la mémoire de type DRam, effectuée bloc par bloc par un circuit particulier, toutes les 8 à 16 millisecondes. Elle est indispensable au maintien de l'information. A chaque cycle de rafraîchissement, les mémoires sont lues et leur contenu y est réécrit.

Réseau neuronal

Mode de programmation inspiré du fonctionnement des neurones d'un cerveau. Ces neurones artificiels ne restituent que très vaguement le fonctionnement de leur modèle biologique. Comme dans une structure nerveuse réelle, le réseau de neurones artificiels est hiérarchisé. Chaque neurone contient une valeur, affectée par les neurones situés en amont (signaux d'entrée) et affectant les neurones auxquels ils sont connectés en aval (signaux de sortie). Chaque connexion (par métaphore avec la biologie, on parle parfois de synapse) est affectée d'un poids, coefficient qui indique l'influence du neurone sur le suivant. L'ensemble peut être décrit, mathématiquement, comme un graphe orienté.

Un réseau neuronal est capable d'apprentissage par modification des connexions (qui est connecté à qui) et des poids de chaque connexion. Imaginés dès 1949, les réseaux neuronaux sont restés une curiosité scientifique jusque dans les années 80. Depuis, ils ont trouvé leur utilité pour résoudre des problèmes difficiles à traiter par programmation algorithmique classique, notamment la reconnaissance de formes. La robotique les utilise aujourd'hui largement.

Risc

Reduced Instructions Set Computer

Processeur à jeu d'instructions réduit, en français. Principe datant des années 90 et consistant à réduire le jeu d'instructions d'un processeur pour diminuer sa complexité et augmenter sa rapidité. Cette idée partait du constat que la majorité des instructions complexes d'un processeur étaient très rarement utilisées. Le Risc s'opposait alors au Cisc (*Complex Instructions Set Computer*). Des technologies hybrides sont rapidement apparues (notamment dans le Pentium). (Voir aussi Instruction, Micro-instruction)

RTC

Réseau téléphonique commuté

C'est le réseau téléphonique classique. Un modem RTC utilise la ligne téléphonique à une vitesse maximale de 56 kbit/s. Il diffère d'un modem ADSL ou câble, qui entretient des liaisons permanentes à haut débit.

RVB

Rouge, vert, bleu.

Procédé de restitution des couleurs utilisé sur les écrans d'ordinateur et les téléviseurs. Chaque

point de l'image est créé par trois points monochromes, rouge, vert et bleu. La luminosité de chacun d'eux donne la teinte du point.

S

SDRam

Synchronous Dynamic Random Access Memory
Type de mémoire vive la plus répandue. Le rythme de lecture et d'écriture de cette mémoire est synchronisé sur la fréquence de fonctionnement de la carte mère. Il peut atteindre 200 MHz. Elle a succédé à la mémoire Edo (*External Data Out*). La fréquence de la SDRam a pu être doublée grâce au procédé DDR. (Voir aussi DDR)

Secam

Système séquentiel couleur à mémoire
Format vidéo utilisé pour la télévision en France, dans des pays de l'Est et certaines anciennes colonies françaises. Les cartes d'acquisition vendues en France le reconnaissent en général.

Semi-conducteur

Matériau dont la conductivité électrique est intermédiaire entre celle d'un métal et celle d'un isolant. Elle dépend du nombre de porteurs de charges négatives (électrons) ou positives (les « trous », c'est-à-dire des déficiences locales d'électrons). Selon qu'il possède plus de charges négatives ou positives, un semi-conducteur est respectivement de type N ou P. L'utilisation d'un dopant (matériau différent inséré au sein du semi-conducteur) peut faire varier cette conductivité. Les semi-conducteurs les plus utilisés sont le silicium, le germanium, l'arséniure de gallium, etc.

Smart dust

Traduit maladroitement en français par poussière intelligente. Système miniature regroupant un capteur, un processeur et une antenne. Capables de communiquer entre eux, une nuée de ces petits engins pourraient effectuer des mesures et des calculs dans une variété d'environnements puis transmettre leurs résultats. Encore au stade du laboratoire, la formule intéresse notamment les militaires.

SRam

Static Random Access Memory.

Mémoire Ram statique, par opposition à la mémoire dynamique (DRam). Mémoire vive dans laquelle le bit d'information est mémorisé à l'aide de quatre transistors. Une SRam conserve elle-même cette information. Elle n'a donc pas besoin d'être rafraîchie (réécrite) régulièrement, comme c'est le cas pour une DRam. Cette propriété ne doit pas la faire confondre avec une mémoire permanente, qui conserve son information en dehors d'une alimentation électrique. Comme la DRam, la SRam s'efface quand on coupe le courant. La différence est cependant importante pour le processeur, que la SRam décharge du travail de rafraîchissement, et pour la consommation électrique, qui est plus faible. La SRam est également plus rapide que la DRam. Mais elle est aussi plus coûteuse.

On l'utilise à petite dose dans les ordinateurs (contrôle de la mémoire cache à l'intérieur du processeur, disque dur, etc.) et dans des matériels électroniques divers, téléphones mobiles ou caméras vidéo.

T

Transistor

Transconductance Varistor

Résistance variable de transconductance, en français. Composant électronique permettant de moduler un courant électrique à l'aide d'un autre courant. Dans un amplificateur, un transistor fonctionne à la manière d'un robinet. Les modulations du courant électrique faible (le signal à amplifier) ouvrent plus ou moins le passage pour le courant électrique fort (qui vient de l'alimentation électrique).

Dans un processeur ou plus généralement dans un appareil numérique, un transistor fonctionne en tout ou rien, ouvrant ou fermant le passage au courant électrique. On obtient ainsi une « porte ». Il existe plusieurs types de transistors. Tous sont constitués de différentes couches de semi-conducteurs, de type P et de type N. C'est la jonction P-N qui confère leurs propriétés aux transistors. Dans les systèmes numériques, on utilise des transistors dits à effet de champs, essentiellement à technologie Cmos (*Complementary Metal Oxide Semi-conductor*).

Le transistor comporte trois pattes, appelées source (entrée du courant), drain (sortie) et grille (commande, par analogie avec la lampe électronique). Il existe également des transistors bipolaires (*Bipolar Junction Transistor*), utilisés notamment en électronique de puissance et dans les appareils de télécommunications. Il est composé de trois couches de semi-conducteurs (la base, au milieu, entourée d'un collecteur et d'un émetteur).

(Voir aussi Semi-conducteur)

U

Ultrason

Son à fréquence trop élevée – supérieure à 20 000 Hz – pour être audible par l'oreille humaine.

Ultraviolet

Gamme d'onde électromagnétique de longueur d'onde comprise entre 280 nanomètres (limite des rayons X) et 400 nanomètres (limite de la lumière visible, en l'occurrence le violet).

V

VoIP

Voice over Internet Protocol

Technologie de communication permettant d'utiliser un réseau informatique – Internet en l'occurrence – pour téléphoner d'un PC vers un autre PC ou d'un PC vers une ligne fixe ou un mobile. C'est pour cette raison qu'on parle plus couramment de téléphonie par Internet.

Index

A

AACS p. 23
 AC3 p. 76
 Accélération matérielle p. 20
 Accéléromètre p. 84
 Accumulateur p. 50
 ADN p. 62
 ADPCM p. 78
 ADSL pp. 100, 104, 107
 ADSL 2+ p. 100
 Affective computer p. 54
 Aibo p. 52
 Airgo p. 102
 Ajax p. 111
 Algorithme de Huffman p. 82
 Algue p. 51
 AMD p. 10
 AMR Wide Band p. 107
 Analyse d'empreintes digitales p. 86
 Anamorphique p. 81
 Animat p. 52
 AnimatLab p. 52
 Anti-shake p. 68
 Antispam p. 25
 Appareil photo p. 84
 Arséniure de gallium p. 46
 ASF p. 76
 Asimo p. 52
 Ata p. 18
 Atheros p. 102
 Athlon p. 10
 Avatar p. 54
 AVC p. 82
 Avi p. 76
 AVS p. 88

B

Bactérie p. 44
 Bandelette p. 89
 Base (transistor) p. 34
 Batterie pp. 31, 50
 Bayes p. 25
 BCI p. 57
 BD (voir Blu-Ray)
 BD+ p. 23
 BDA p. 23
 Biométrie p. 40
 Biomimétisme p. 52
 BLR p. 104
 Blu-Ray pp. 22, 80

C

Cadmium p. 31
 Calcul rénal p. 95
 Canal virtuel p. 108
 Capteur pp. 68, 70, 84
 Capteur d'accélération p. 84
 Capteur d'empreintes digitales p. 86

Capteur infrarouge pp. 84, 86
 Capteur stabilisé p. 68
 pour appareil photo p. 68
 CCD p. 70
 Cellule mémoire p. 34
 Cerveau p. 57
 Chipset p. 12
 Circuit imprimé p. 37
 Cire colorée pour imprimante p. 66
 Clavier sans fil à ultrason p. 96
 CMJ p. 66
 Cmos p. 70
 CMS p. 37
 CNRS p. 86
 Codage entropique p. 82
 Codec pp. 76, 107
 Cœur (processeur) pp. 8, 10
 Commande par la pensée p. 57
 Communication sans fil p. 48
 Compression d'images p. 87
 Compression fractale p. 88
 Compression par ondelettes p. 87
 Compression vidéo p. 82
 Condensateur pp. 37, 50
 Contrôle de défauts p. 95
 Contrôle de pièces par ondes acoustiques p. 95
 Core 2 Duo p. 8
 Cryptage sur un DVD p. 23
 Cyborg p. 59

D

Darpa p. 85
 DCT p. 87
 DDR, DDR-2 pp. 10, 12
 Déformation anamorphique p. 81
 Désentrelacement p. 80
 Destruction de calculs rénaux p. 95
 Détecteur de mensonge p. 57
 Détection de chaleur p. 84
 Détection de chocs p. 84
 Diaphragme (photo) p. 68
 Direct3D p. 20
 DirectInput p. 20
 DirectSound p. 20
 DirectX p. 20
 Disque dur p. 14
 Disque dur à mémoire Flash p. 18
 DivX pp. 82
 DivX 6 p. 76
 DivX Certified p. 78
 DivX Ultra certified p. 78
 DLP p. 73
 DMD p. 73
 DMF p. 76
 DMFC p. 32
 DNle p. 80
 DNS p. 111
 Drain (transistor) p. 34
 DSLam p. 108
 DSP p. 44

Durée d'exposition (photo) p. 68
 DVD pp. 22, 76
 DVD-vidéo pp. 76, 82

E

EBL p. 15
 Ecole nationale supérieure des télécommunications p. 110
 Ecran 3D p. 40
 Ecran haute définition p. 80
 Ecran plat à nanotubes p. 60
 Ecran souple p. 92
 Effet photoélectrique p. 70
 Effet tunnel Fowler-Nordheim p. 34
 ElectAura-Net p. 112
 Electrolyte p. 31
 Electrowetting Display Technology p. 93
 E-Link p. 92
 EmoteMail p. 54
 Emotion p. 54
 eMoto p. 54
 Empreinte digitale p. 86
 Enregistrement holographique p. 22
 Enregistrement perpendiculaire p. 14
 Entomopter p. 52
 Entrelacé (voir Mode entrelacé)
 E-paper p. 92
 Escherichia coli p. 44
 ESPCI pp. 94, 95
 Ethernet p. 12
 EuronetLab p. 110

F

Fert Albert p. 14
 Fibre optique pp. 100, 112
 Filtre bayésien p. 25
 FING p. 110
 Flash (mémoire) pp. 18, 34
 Flou (photo) p. 68
 Formats 4/3 et 16/9 p. 80
 Foveon p. 71
 Fractale p. 88
 Fraunhofer HHI p. 40
 Fraunhofer-Gesellschaft p. 91
 Front Side Bus (voir FSB) p. 12
 FSB p. 12
 FTIR p. 40
 FTTB pp. 100, 112
 FTTH pp. 100, 112
 Full HD p. 80

G

G711 pp. 107, 108
 Gallium p. 46
 Gateway p. 108
 Germanium p. 47
 Gizmo p. 55

GMC p. 76
 Gop pp. 76, 82
 Grille flottante p. 34

H

H.264 p. 82
 H.265 p. 88
 HAL p. 20
 HD p. 80
 HDDR p. 104
 HD-DVD pp. 22, 80
 HD Ready p. 80
 HEL p. 20
 HHD p. 18
 Holms p. 38
 HRP-3P p. 52
 HSL p. 20
 Huffman p. 82
 HVD p. 22

I

IDE p. 12
 IETF p. 111
 IGP p. 12
 Impression à laser p. 28
 Imprimante photo p. 66
 Indium p. 44
 Informatique émotionnelle p. 54
 Infrarouge pp. 84, 86
 Intel p. 8
 Intelligence artificielle p. 26
 Interface cerveau-machine p. 57
 Interface p. 57
 homme-machine pp. 40, 54, 57
 Interface sans fil p. 48
 Internet 2 p. 110
 Internet du futur p. 112
 iPointExplorer p. 41
 Ircam p. 90
 Iridium p. 44
 Iso p. 68

J

JPEG p. 87
 JPEG 2000 p. 87

K

K8, K8L p. 10
 Kapton p. 37
 Kismet p. 55

L

Lapped transform p. 89
 Laser (imprimante) p. 28
 LCD (vidéoprojecteur) p. 73
 Leonardo p. 55

Lip6 p. 52
 Li-Po p. 31
 Lithium p. 31
 Lithographie à immersion p. 46
 LOA p. 94
 Loi de Moore p. 46

M

Magnétorésistance géante p. 14
 Mbone p. 111
 Mémoire pp. 34, 44, 62
 Mémoire cache pp. 8, 10
 Mémoire de masse à nanobilles p. 60
 Mémoire magnétique p. 63
 Mémoire moléculaire p. 63
 Mémoire non volatile p. 62
 Mémoire vive à nanotubes p. 60
 Mems p. 86
 Mermer p. 57
 Meteo Optimum p. 86
 Méthanol p. 32
 Micro-onde p. 104
 Mimo p. 102
 Mise au point (photo) p. 84
 MMC p. 23
 Mode entrelacé p. 80
 Mode progressif p. 80
 Moore pp. 46, 62
 MP3 p. 76
 MP3 Surround p. 78
 MPeg p. 87
 MPeg2 p. 82
 MPeg4 Part 2 p. 76
 MPeg4 Part 10 pp. 82, 87
 Mpeg4/AVC p. 82
 MRam pp. 36, 62, 63
 Multicast (Internet) p. 110
 Multi-Touch Screen p. 40
 Music Genome Project p. 91
 Musique p. 90
 MUT Aviation-Technology p. 86

N

NAL p. 82
 NAND p. 36
 Nanotechnologie p. 60
 Nanotube pp. 51, 60
 Nantero pp. 60, 62
 Navigo p. 48
 NED p. 60
 Netteté d'une photo p. 84
 Neurone p. 52
 Neuroscience p. 57
 Nickel p. 31
 Ni-Mh p. 31
 NOR p. 36
 Northbridge p. 12
 NRA p. 100
 NRAM p. 60
 NVRam p. 62

O

OFDM p. 106
 Ogg Vorbis p. 76
 Onde acoustique p. 94
 Ondelettes p. 87
 OpenGL p. 20
 Ordinateur miniature p. 48

P

PAN p. 112
 Pandora p. 91
 Papier à cristaux liquides p. 93
 Papier à diodes p. 93
 Papier électronique p. 92
 Paquet de données p. 110
 Pari 7 p. 86
 Passerelle p. 108
 PCI p. 12
 PCM p. 62
 Pensée p. 57
 Photo (impression) p. 66
 Photo (mise au point) p. 68
 Photosite p. 70
 Pile à combustible p. 32
 Pit p. 22
 Pixel Plus HD p. 80
 Plastic Logic p. 92
 PMR p. 14
 Polyimide p. 37
 Pop p. 111
 Poussière intelligente (voir Smart dust)
 PRam p. 62
 Prédiction de données p. 25
 Prédiction d'images p. 76
 Probabilité p. 25
 Processeur pp. 8, 10
 Progressif (voir Mode progressif)
 Protection d'un DVD p. 23
 Prothèse p. 57
 Psikharpax p. 52
 PWC p. 89

Q

Qbone p. 111
 QPel p. 76
 QPSK p. 106
 Quadrichromie p. 28
 Query by Humming p. 91

R

Ram pp. 34, 62
 Recherche d'un morceau de musique p. 91
 Reconnaissance de formes musicales p. 90
 Reconnaissance d'images p. 26

Index

Relief (écran)	p. 40
Réseau local sans fil	p. 94
Réseau neuronal	p. 52
Résistance électrique	p. 37
Retournement temporel	p. 94
RFID	pp. 38, 48
Risc	p. 46
Robot	p. 52
RoHS	p. 39
Rom-Mark	p. 24
Rotaxane	p. 63
RSS	p. 111
RVB	pp. 66, 70

S

Salamandar robotica	p. 52
Sans fil	pp. 48, 94
Sata	p. 12
Scale-up	p. 80
SD	p. 80
SDR	p. 112
SemanticHIFI	p. 91
Sensibilité d'un capteur	p. 68
Sensitive Object	p. 96
Serveur DNS	p. 111
SHD	p. 104
SiGe	p. 47
Skype	p. 107
Smart dust	pp. 49, 53, 85
Smart Laser Scanner	p. 42
SOC	p. 46
Soft switch	p. 108
SOI	p. 48
Source (transistor)	p. 34
Sous-titrage	p. 78
Southbridge	p. 12
Stabilisation optique d'un appareil photo	p. 68
Sublimation thermique	p. 66
SUL	p. 14
Super Steady Shot	p. 68
Supercondensateur	p. 50
Surround	p. 78
SVC	p. 88
S-Vidéo	p. 80

T

TCP/IP	p. 110
Teflon	p. 37
Télécommunication par ondes acoustiques	p. 95
Téléphonie	p. 107
Thalès	pp. 86, 110
Théorème de Bayes	p. 25
Tima	p. 86
TNT	pp. 80, 82
Toner	p. 28
Trame	p. 66
Transformée de Fourier	p. 82

Transformée en cosinus discret	p. 87
Transistor	pp. 34, 37, 46
Transmission de données par le corps	p. 112
Transmission de pensée	p. 59
Transmission sans fil par le son	p. 94
Transmission sans fil par radio	p. 104
Transmission sans fil par ultrason	p. 94
TV HD	p. 80

U

Ubiko	p. 52
UER	p. 80
Ultrason	p. 94
UMTS	pp. 104, 112
Unicast (Internet)	p. 110
Union européenne des radiodiffuseurs (voir UER)	
USB sans fil	p. 112

V

Valeo	p. 86
VC-1	p. 88
VDSL2	p. 101
Vecteur (image vidéo)	p. 76
Vecteur (vidéo)	p. 82
Véhicule	p. 56
Vias	p. 37
Vidéoprojecteur	p. 73
VoIP (voir Voix sur IP)	
Voiture	p. 56
Voix sur IP (ou VolP)	p. 107

W

Wakamru	p. 52
Warwick Kevin	p. 59
Wi-Fi	pp. 102, 104, 112
WiMax	pp. 104, 112
WMA	p. 76
WMV	p. 82

X

X3	p. 71
XSub	p. 78
XviD	p. 82

Y

YUV	p. 80
-----	-------

Z

ZigBee	p. 112
Zip	p. 82

L'ORDINATEUR INDIVIDUEL

26, rue d'Oradour-sur-Glane, 75504 Paris Cedex 15
DIRECTEUR DE LA PUBLICATION: Alain Weill

REDACTION

Pour contacter la rédaction
Assistante: Ariane Delille
Tél.: 01 44 25 30 58 Fax: 01 45 54 67 52
E-mail: redaction@ordinateur-individuel.presse.fr
Pour joindre directement au téléphone votre correspondant, faites précéder les quatre chiffres entre parenthèses de 01 44 25

Directeur de la rédaction: Bernard Montell
Rédacteur en chef: Félix Marciano (3714)
Rédactrice en chef technique: Véronique Robin (3715)
Directrice artistique: Ewa Rous-Biejal (3296)
Rédacteurs en chef adjoints: Étienne Oehmichen (3743), Thierry Violan (3707)
Iconographe: Brigitte Sondag (3289)

HORS-SERIE

Rédacteur en chef délégué: Eric Connehaye
Assistante: Marie-Claire Pradon (3135)
Chef de rubrique: Jean-Luc Goudet
Ont également collaboré à ce numéro:
Florent Alzieu, Stéphanie Bellin, Olivier Bouzereau, Gérard Canesi, Thierry Jacquot, Valéry Marchive, Pierre Martin, Pierre Maslo, Fabrice Mateo, Laurence Mizrahi, Eric Rault (rédaction), Djamilia Belkadi (maquette),
Tous droits photos réservés

Secrétariat de rédaction: Philippe Grosjean, Françoise Roux
Maquette: Séverine Melado-Tailades

LABORATOIRE D'ESSAIS

Directeur: Jacques Elabet (3773)

MARKETING ET COMMERCIAL

Directeur commercial et marketing: Pierre-Dominique Lucas (3705)
Directeur du marketing: Philippe Bondet (3114)
Responsable marketing: Nathalie Nyer (3064)
Directeur de la publicité pôle grand public: Jean-Christophe Freiss (3287)
Directrice de clientèle: Laurence Sirvin (3172)
Assistante commerciale: Fatma Boufika (3222)
Responsable exécution: Cécile Bertolino (3106)
Location de fichiers: Sylvie Jalin (3153)
Marketing études promotion publicité internationale
Directeur de la publicité internationale: Jérôme Callu Merite (3547)
Responsable marketing international: Stéfane Bartlett (3200)
Allemagne: DS Media, Dominique Schall, Tél.: (49) 7844 47 001
Fax: (49) 7844 47 001-d.schall@dsmedia.info
Benelux: Huson European Media, James Clayton
Tél.: (44) 19 32 564 999. Fax: (44) 19 32 564 998
j.clayson@husonmedia.com
Grande-Bretagne: GCA, Greg Corbett, Tél.: (44) 207 730 6093
Fax: (44) 207 730 6628-gca@gca-international.co.uk
Etats-Unis: Huson European Media, Ralph Lockwood
Tél.: (1) 408 879 6666. Fax: (1) 408 879 6666-raiph@husonusa.com
Israël: Talbar Media, Asa Talbar, Tél.: (972) 35 62 95 66
Fax: (972) 35 62 95 67-talbar@inter.net.il
Italie: Medias International, J.-P. Bruel, Tél.: (39) 31 751 494
Fax: (39) 31 751 482-medias@pcbrianza.net
Japon: Shinano Co, Kazuhiko Tanaka, Tél.: (81) 3 3589 4667
Fax: (81) 3 3505 5628-scp@bunkoh.com
La direction se réserve le droit de refuser toute insertion.

FABRICATION

Directeur de la fabrication: Maxime Civil (3273)

DIFFUSION

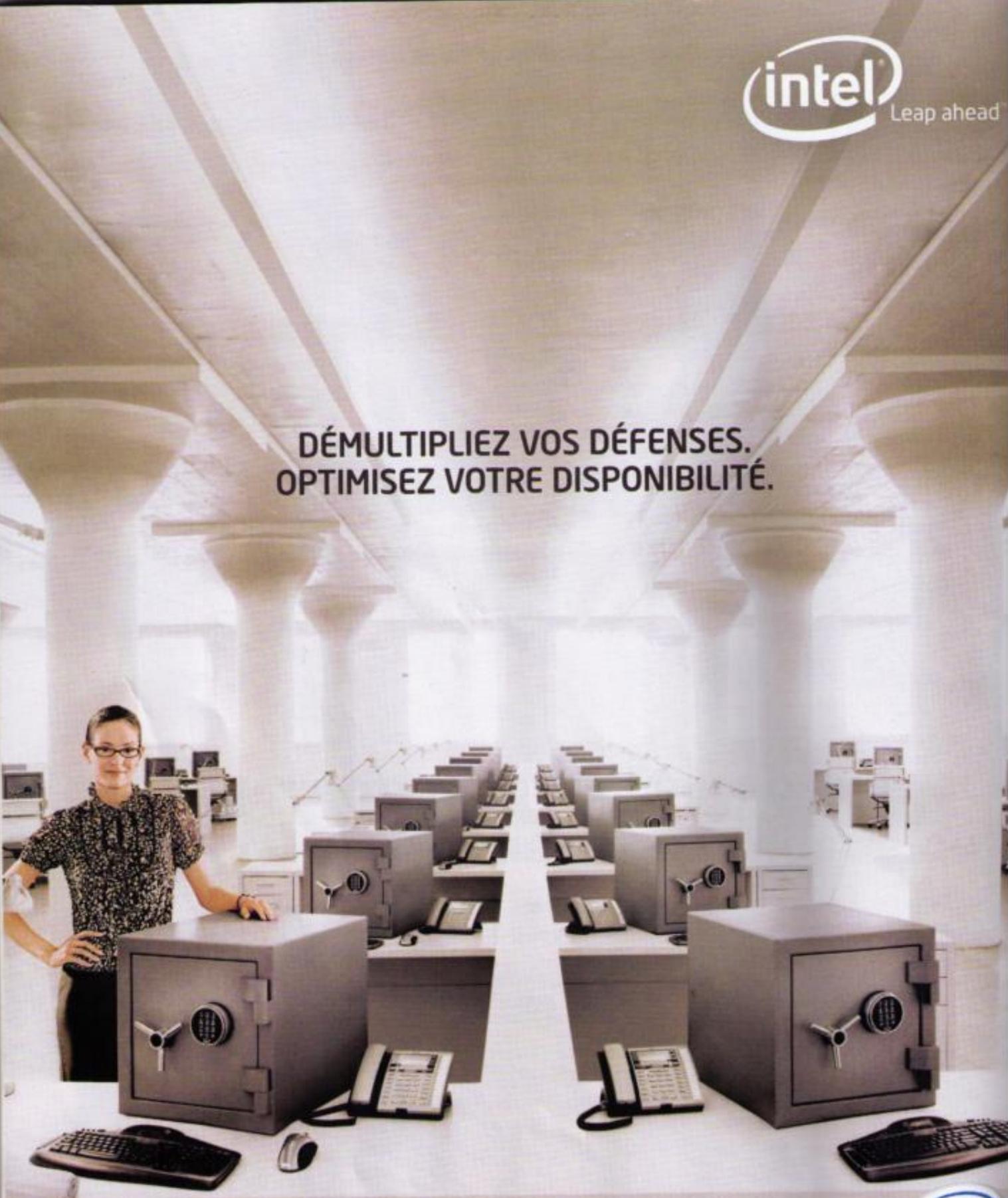
Directeur: Dominique Pancaldi (3122), assisté par Nicole Adelus (3145)
Promotion abonnements: Thierry Juguet (3155)
Directeur des ventes: Alain Joubert (3156)
Modifications de service et réassort: Carole Gilbert, Tél.: 01 44 25 07 72. Fax: 01 44 25 07 35
N° vert 0 800 07 77 67 réservé au réseau de vente: dépositaires de presse et diffuseurs uniquement
Distribution: Transports Presse
Abonnements: Tél.: 0 825 801 805 (0,15 €/min)
Fax: 03 44 12 52 67. De l'étranger: Tél.: 03 44 62 52 38
Vente au numéro: 01 44 25 31 40-j.rat@groupepess.fr
Horaires d'ouverture: du mardi au vendredi de 14h à 18h
Abonnements: 1 an, soit 11 numéros mensuels
France: 41 € (TVA 3,10% incluse)
Etranger: consulter le service Abonnement

L'ORDINATEUR INDIVIDUEL est édité par GROUPE TESTS

Président-directeur général: Alain Weill
Directeur général délégué: Marc Laurier
Directeur administratif et financier: Naresh Sakhrani
Directeur général adjoint pôle grand public: Bernard Montell
Directeur général adjoint internet et développement: Nenad Cetkovic
Directeur général adjoint pôle professionnel: Luc Fiyard
Groupe TESTS SA au capital de 199 373 €
Siège social: 26, rue d'Oradour-sur-Glane, 75504 Paris Cedex 15
Tél.: 01 44 25 30 01. 311 243 794 RCS Paris. Code APE: 321 E
Siret: 311 243 794 000 35. TVA intracommunautaire: FR 82 311 243 79
Principal actionnaire: NextRadioTV

Toute reproduction, représentation, traduction ou adaptation, qu'elle soit intégrale ou partielle, quel qu'en soit le procédé, le support ou le média, est strictement interdite sans l'autorisation de Groupe Tests, sauf dans les cas prévus par l'article L.122-5 du Code de la propriété intellectuelle.
©2006 GROUPE TESTS - tous droits réservés.
Commission paritaire: 42610 - ISSN: 0985-570 X
Dépôt légal: à parution
Imprimerie: Maury - 43330 Malesherbes

DÉMULTIPLIEZ VOS DÉFENSES.
OPTIMISEZ VOTRE DISPONIBILITÉ.



TECHNOLOGIE INTEL® VPRO™ ÉQUIPÉE DU PROCESSEUR INTEL® CORE™2 DUO.
Gérez vos défenses plus efficacement. Appliquez vos mises à jour de sécurité et réparez les PC à distance, même quand ils sont éteints*. Mettez automatiquement en quarantaine les postes de travail infectés avant qu'ils ne contaminent les autres PC du réseau. Avec la technologie Intel® vPro™ compatible 64 bits, démultipliez les défenses de votre entreprise et ses possibilités. Pour en savoir plus, rendez-vous sur intel.fr/vPro