



Les technologies numériques

DES 0 ET DES 1

Depuis une dizaine d'années, l'évolution des techniques connaît une accélération considérable marquée par la mise sur le marché de technologies de tous ordres : CD-Rom audio, téléphones portables, Internet et ses banques de données audiovisuelles, appareils photo numériques, lecteurs mpeg3... Autant de produits quotidiens qui reposent sur le numérique.

« Qui désigne ou représente des nombres ou des grandeurs physiques au moyen de chiffres » dit Lilien-Morvan (1976) du numérique, dont le synonyme est *digital*, et l'antonyme *analogique*. Pour simplifier, il s'agit de tout procédé qui représente un phénomène continu (comme la vue d'une tasse, par exemple) par un ensemble de chiffres équivalents (souvent une suite de 0 et de 1), apte à le restituer sous l'angle qui nous intéresse. Pour la tasse, si nous nous donnons pour but de composer une nature morte, nous la prendrons simplement en photo à l'aide d'un appareil numérique. Si nous nous plaçons du côté de l'industriel qui la fabrique, il lui suffira d'une représentation de la tasse en fil de fer (juste les arêtes) pour lui permettre de contrôler sa conformité. L'application détermine donc la nature de la représentation.

DES TECHNOLOGIES NOUVELLES ?

Les technologies numériques récentes s'inscrivent dans la suite des travaux de physiciens du XIX^e siècle. Ainsi Fourier (vers 1800), Maxwell (1864), Hertz (1887) pour les principaux ont posé en leur temps, qui les principes de numérisation des signaux par des sinusoïdes, qui la modélisation des champs magnétiques et électriques. Les techniques numériques reposent sur le mariage de l'électronique et de l'informatique. Elles proviennent de l'évolution, et non de la révolution, des techniques industrielles. L'intégration, la miniaturisation des composants électroniques nous permettent maintenant de traiter les volumes de données nécessaires aux applications numériques que nous connaissons. On peut situer le franchissement du palier pour les applications audio et photo aux années 90.

Mais les premiers transistors gravés datent de 1948. Ils succèdent à leurs ancêtres faits de lampes. Le laser des CD-Rom et autres DVD apparut en

1958. Les puces, ces cerveaux du numérique, sont régies par la loi de Moore, qui édicta dès 1965 que la

LES ÉVOLUTIONS TECHNOLOGIQUES

- 1943 Premier ordinateur électronique (Colossus)
- 1948 Premier transistor gravé
- 1948 Premier ordinateur électronique à programme interne
- 1954 Transistor au silicium. Économique, base des développements industriels actuels
- 1959 Circuit intégré. Il s'agit d'intégrer dans une même puce plusieurs composants (résistances, condensateurs, transistors) en vue de rendre une fonction complexe
- 1965 Premier ordinateur commercialisé en nombre (plus de 50 000 exemplaires, DEC)
- 1969 Internet
- 1971 Premier microprocesseur (Intel), 2 300 transistors
- 1974 Carte à puce (Roland Moreno)
- 1975 Première imprimante laser. Impression sur le principe des photocopieurs, le toner (poudre noire) se fixant sur le papier grâce à un tambour électrostatique
- 1978 Microprocesseur (Intel), 29 000 transistors
- 1979 Premier téléphone cellulaire (Ericsson)
- 1981 Premier PC (IBM). Première photo numérique (Sony)
- 1982 Disque compact (CD par Philips et Sony). Disque de 12 cm de diamètre en plastique et 1,2 mm d'épaisseur, destiné à être lu par un faisceau laser (75 minutes de musique)
- 1984 CD-Rom. Version informatique du CD, 680 Mo (mégaoctets, environ 10⁸ octets)
- 1985 Microprocesseur (Intel), 275 000 transistors
- 1985 Radiocom 2000 (Matra), téléphone de voiture
- 1985 Système d'exploitation Windows (Microsoft)
- 1989 World Wide Web (CERN), système de recherche documentaire, d'échange de données à vocation universitaire
- 1990 HTML. Langage de représentation de documents, support de la plupart des pages Internet
- 1992 Format de compression mpeg1. Divise par 12 un extrait sonore enregistré
- 1995 DVD-Rom, environ 8,5 Go (gigaoctets, 10⁹ octets)
- 2003 Microprocesseur (AMD), 54,3 millions de transistors

complexité des circuits intégrés doublera tous les ans. Nous atteindrons bientôt les limites de la miniaturisation avec des composants au dixième de micromètre. Les futures technologies s'appuieront peut-être sur l'électronique moléculaire, permettant d'atteindre la miniaturisation ultime, sur l'optique permettant un haut degré de parallélisme, sur les nanotechnologies enfin qui supplanteraient le silicium. Les voies de recherche et de développement et impératives

PRINCIPES

Les nouvelles technologies reposent toutes sur des processus identiques appliqués à des domaines de perception du réel. Nous pouvons les ramener principalement aux deux sens de la vue et de l'ouïe qui sont au cœur des applications actuelles : photographie et vidéo numériques, baladeurs mpeg et livres numériques. Les trois autres sens – le goût, l'odorat, le toucher – font actuellement l'objet de recherches, notamment pour des applications de réalité virtuelle. Elles viseraient à immerger l'homme par tous ses sens dans un univers totalement artificiel,

soit pour visiter un appartement sans se déplacer ou avant même qu'il soit construit, soit pour « rencontrer » une personne à distance, etc. La science-fiction illustre à foison les bouleversements engendreront.

DES PROCESSUS INCONTOURNABLES

ACQUISITION – SAISIE

À l'aide de capteurs, microphones, caméras, tous sensibles à un



phénomène physique (pression, sons, lumière) et le restituant par un signal numérique

(1 ou 0 par exemple si la pression existe ou n'existe pas, la lumière est présente ou ne l'est pas).

TRAITEMENTS

Ils consistent en la transformation des signaux numériques pour des raisons :
• techniques afin d'extraire un signal (par l'amplification, le filtrage, la correction), de le transmettre (la modulation), de le stocker

efficacement (la compression tel le format mpeg), de le protéger (cryptage), de le vendre (codages) ;
• artistiques afin de créer



volontairement un nouveau signal à partir de celui saisi (trucages, filtrages, montage...) ou sans référence à un signal existant (création artificielle).

CONSERVATION, DUPLICATION

Enregistrement des signaux sur mémoires de masse (disques durs, CD-Rom), montage de signaux sous-ensembles entre eux (albums), originaux (masters), duplication de copies.

COMMUNICATION, DIFFUSION

Par liaisons distantes permettant l'échange entre deux équipements technologiques :

- directement (câbles, infrarouge, liaisons hertziennes, satellitaires, UMTS pour la téléphonie mobile de dernière génération) ;
- par l'intermédiaire de banques de données (Internet, télédistribution) ;
- par supports enregistrés



(disquettes, bandes magnétiques, DVD-Rom). Ainsi l'UMTS permettra de transférer les données à un débit important de l'ordre de 300 Kbps (à titre de comparaison la vitesse actuelle par le protocole GSM est de moins de 9 600 bps). Cette technologie ouvrira la voie à des échanges de données plus importants, mêlant à la fois l'image et le son, et les fichiers informatiques pour offrir des services multimédias en temps réel : vidéotéléphonie, vidéoconférences...

RÉCEPTION ET TRAITEMENTS ASSOCIÉS

Par les moyens aboutés au mode de diffusion (antenne satellite pour la diffusion satellite, lecteur de DVD pour les DVD-Rom...). Les traitements sont essentiellement de décompression, démodulation, et décodage.



RESTITUTION

Des sons au moyen de haut-parleurs, casques, oreillettes, des images au



moyen d'écrans (LCD portable, moniteurs, etc.), de papier, de moulage, des efforts au moyen de joystick.

DOMAINES D'APPLICATION

Les objets technologiques grand public conquièrent souvent les marchés en n'associant que les derniers processus ci-dessus, à savoir la communication, la réception et la restitution.

Nous pouvons considérer à titre d'exemple les lecteurs de CD-Rom



qui ne sont qu'ensuite devenus graveurs (ajoutant alors les processus de traitements techniques et de conservation), ou des gadgets comme les baladeurs mpeg3 (essentiellement communication, conservation et restitution).

Les principaux domaines d'application outre le divertissement (sons et images, repris sous le vocable de multimédia), sont :
• l'information (par Internet et pour le texte, qui relève du sens de la vue mais possède une structure propre). Nous parlerons alors d'hypertexte, pour un texte qui possède la particularité de faire des références internes (à lui-même) ou externes et permet ainsi une navigation intertextuelle, en suivant un mot particulier par exemple (comme avec un index comportant l'intégralité des mots du texte).



De là provient l'expression surfer qui consiste à passer de texte en texte par le jeu des liens hypertextes.

• l'enseignement, avec le concept d'enseignement à distance – qui ne saurait remplacer la qualité d'un bon pédagogue – ou des initiatives réussies tels les laboratoires d'expérience (encyclopédie Universalis sur CD-Rom).
• Le commerce et l'industrie, avec les images de synthèse publicitaires, les outils d'aide à la conception (C.A.O.) et de simulation, et bientôt des machines capables de reconnaître les émotions simples portées par un visage : expressions de joie, tristesse, surprise ou colère...

Une question de capacité

Le stockage d'un DVD est égal à 7 CD audio.



Un CD-Rom peut contenir jusqu'à 800 heures de musique.

Les bits par seconde sont l'unité de mesure de la vitesse de transmission d'une information :
1 Kb = 1 000 b
1 Mb = 1 000 Kb
1 Gb = 1 000 Mb.

L'UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), ce réseau de la 3^e génération transfère les données avec un débit de 300 Kbps.

Inventé par le scientifique allemand Konrad Zuse



en 1938

Inventé par Philips et Sony



en 1978

Les sciences, avec des applications d'analyse de signaux, de simulation (astronomique, météorologique...) reposant sur des modèles mathématiques; des applications d'imagerie médicale (scanner, **Imagerie par Résonance Magnétique** ou IRM,



échographie) qui font intervenir également des algorithmes mathématiques d'optimisation et de représentation afin d'aider le diagnostic et les traitements. La médecine voit actuellement se développer des interventions à distance via Internet et des sondes télécommandées voire autonomes.

Comme nous pouvons le voir dans ces quelques applications, des pans entiers de la réalité sont numérisés, plaçant l'ordinateur au centre des technologies du numérique, à la fois machine de saisie, de traitement, de stockage et de communication.

Les contraintes actuelles reposent sur les volumes de données nécessaires à l'imagerie, tant du point de vue des capacités de stockage que des moyens de transmission (GSM versus UMTS, modem versus ADSL).

PERSPECTIVES

Pour le particulier, les nouvelles technologies présentent bien des intérêts: le mouvement actuel va vers toujours plus d'intégration, plus d'interconnexions, plus d'échanges. Ainsi les téléphones portables sont en passe de devenir de véritables terminaux multimédias à la croisée de la téléphonie, d'Internet et d'un assistant personnel.

Ainsi les capacités de localisation géographique satellitaire (du type GPS) apporteront encore tout un ensemble de services: circulation assistée, propositions commerciales de proximité, etc.

La télévision numérique changera radicalement notre relation avec les programmes, nous permettant de les composer à loisir.

La domotique, terme qui recouvre toute l'électronique de la maison, permettra de piloter le chauffage, l'éclairage, le ménage effectué par des robots, en bref l'ensemble des équipements électroménagers. Pour ce faire, la nouvelle norme Internet ouvrira les possibilités d'adresser (de nommer et localiser, en termes informatiques) plus d'appareils domestiques qu'il ne pourra en exister avant longtemps.

Ainsi nous pourrions être opérés de l'intérieur par des **robots médicaux** autonomes et éviter ainsi, qui un

infarctus par le nettoyage des artères, qui l'épilepsie par une chirurgie précise du cerveau, etc.

Ces applications sont pour la plupart déjà existantes ou en cours d'essai.

Elles changeront notre quotidien dès demain se muant de plus en plus en une sorte d'appendice technologique, prolongement numérique de la personne.

DES NOUVEAUX RISQUES

Les nouvelles technologies supposent également une personnalisation de l'outil, et par voie de conséquence le stockage de données personnelles, que l'individu soit d'ailleurs acteur (Internet) ou objet de la machine (applications médicales).

PRÉVENTION: LA CNIL

C'est pourquoi il est nécessaire d'édicter des garde-fous au stockage des données personnelles et à l'interconnexion de données, en clair au rapprochement automatique d'informations personnelles provenant de plusieurs fichiers (race, opinions politiques, philosophiques ou religieuses, mœurs, informations médicales, fiscales, etc.).



C'est la mission de la **CNIL** en France (Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés) que de veiller au respect de la vie privée et des libertés individuelles, notamment par:

- l'obligation de déclaration des fichiers comportant des informations nominatives, leur recensement, et les contrôles afférents;
- la garantie du droit d'accès, en exerçant notamment le droit d'accès indirect (auprès de certains fichiers comme les Renseignements généraux), ainsi qu'en instruisant les plaintes;
- l'information de toutes les parties prenantes: individus, entreprises et gouvernement.

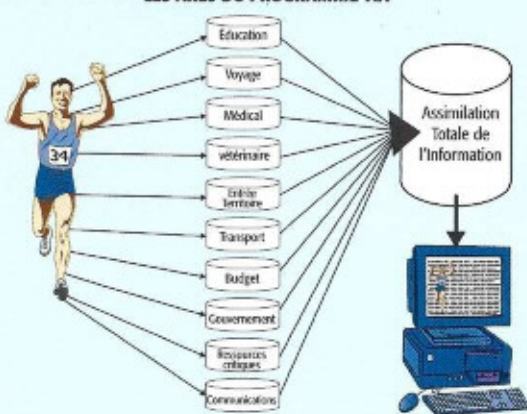
DES RISQUES BIEN RÉELS

Les États-Unis disposent quant à eux du Privacy Act depuis 1974, qui régit l'utilisation des renseignements personnels par les agences gouvernementales. En réaction aux attentats du 11 septembre 2001, cette loi promet bientôt d'être amendée afin de permettre la réalisation d'un projet nommé « Assimilation Totale de l'Information » (« Total Information Awareness » ou TIA). Le gouvernement américain se donne pour but de compiler une quantité énorme d'informations sur les citoyens américains. Transactions par carte de paiement, **sites Internet visités**, prescriptions médicales, opérations



bancaires (dépôts, retraits), destinations touristiques, permis de conduire, demandes de passeport, etc., seront enregistrés et traités dans une énorme base de données centralisée. L'objectif en l'état sera de définir et d'anticiper un comportement terroriste, ce qui soulève des problèmes de société liés à la garantie des libertés individuelles.

LES AXES DU PROGRAMME TIA



L'APPAREIL PHOTO NUMÉRIQUE

ACQUISITION

Ces nouveaux **appareils photographiques** se distinguent des anciens reposant sur



le procédé argentique (le négatif, la pellicule, le film) non par l'optique, l'ergonomie, le flash ou autres accessoires, mais par l'absence de pellicule, remplacée par un capteur CCD, premier responsable de la qualité de l'image. Le CCD reçoit la lumière et la convertit point par point en valeurs électriques. Le nombre de points dits pixels (pour Picture Elements) est alors déterminant pour la précision des détails.

Une autre différence notable entre les deux procédés tient à la durée d'exposition, variable pour l'argentique (nous laissons passer plus ou moins de lumière selon la sensibilité du film et la lumière incidente) et fixe pour le numérique (il s'agit d'une mesure de la lumière).

CONSERVATION

Là encore, alors que les appareils argentiques enregistraient l'image sur une partie de la pellicule, que nous destinions ensuite au développement, les appareils numériques disposent quant à eux de cartes mémoire, qui stockent les signaux issus du CCD lors d'une prise de vue. Le nombre de prises de vue dépend alors de la capacité de la mémoire et de la place nécessaire à une photo (qui dépend du nombre de pixels saisis et du format de compression retenu).

Ainsi, le codage de la couleur en « true color » permet de représenter une image en définissant chacune des composantes (RGB: rouge, vert, bleu). Chaque pixel est représenté par un entier comportant les 3 composantes, chacune codée sur un octet, soit au total 24 bits (8 x 3 pour une palette de 16 millions de couleurs). Une image en « couleurs vraies » de dimensions 800 x 600 pixels nécessitera 1,4 Mo de mémoire pour son stockage sans compression, alors qu'une de dimensions 1 024 x 768 occupera 2,3 Mo.

TRANSMISSION

Le contenu de la mémoire de l'appareil est ensuite transmis à un ordinateur grâce à un adaptateur, soit par fil de l'appareil vers le PC, soit par un lecteur de carte mémoire relié au PC. La carte peut finalement être purgée (vidée) et réutilisée (à la différence d'une pellicule argentique).

RESTITUTION

Un écran LCD permet la restitution immédiate de la prise de vue. Une connectique permet aussi dans certains cas d'afficher le contenu de la mémoire de l'appareil sur un téléviseur. Les tirages sur papier photo sont possibles via une imprimante (par le biais d'adaptateurs plus ou moins standard).

LE DVD

Le **DVD** (Digital Versatile Disc) est issu d'accords techniques signés dans le



cadre d'une organisation (DVD Forum) composée d'industriels (Philips, Sony, etc.) et d'éditeurs de contenu (studios de cinéma, maisons de disque). Ils ont arrêté un ensemble de possibilités présentes sur tous les appareils de lecture, sous réserve que le disque le permette. À titre d'illustration: l'accès direct par menu à certaines parties d'un film (chapitrage), la répétition sans fin d'une séquence, 8 langues maximum, le choix du sous-titrage (parmi 32 au plus).

ACQUISITION

Elle se fait la plupart du temps en studio, le niveau de résolution retenu par le DVD Forum étant de 480 à 500 lignes horizontales, à comparer aux quelque 250 lignes d'une cassette VHS (l'affichage d'une image sur un écran se fait par un balayage ligne à ligne de gauche à droite et de haut en bas, à une vitesse suffisamment rapide pour tromper l'œil).

TRAITEMENT TECHNIQUE ET CONSERVATION

Le DVD contient des informations numériques, comme le CD audio ou le CD-Rom, mais avec une capacité de stockage largement augmentée, grâce à sa technologie de compression des données. À titre de comparaison, la capacité de stockage d'un DVD (pour un film de 135 minutes) est égale à celle de 7 CD audio.

Voici quelques formats courants:

- DVD-5: une seule face et une seule couche, c'est le format le plus utilisé (133 minutes de film de capacité);
- DVD-10: dispose de 2 faces, porteurs chacune d'une seule couche, (capacité de 2 films de 133 minutes, mais à « retourner »);
- DVD-9: une seule face comportant deux couches (un film de 180 minutes de capacité, sans interruption pour « retourner » le disque).

 Le format de compression utilisé à l'heure actuelle est le mpeg2.

RÉCEPTION ET TRAITEMENTS ASSOCIÉS

La réception se fait par le lecteur de DVD. Il décompresse à minima le mpeg2, afin de reconstituer une image numérique « lisible » mais intègre également la lecture de la plupart des formats audio (codage 5.1, Dolby Digital, DTS).

RESTITUTION

Le lecteur de DVD restitue l'image ou son numérique sur un téléviseur, un amplificateur et ses haut-parleurs, et autres projecteurs ou moniteurs au moyen d'une connectique (câbles, prises spéciales).

LES FORMATS DE COMPRESSION

JPEG

La compression JPEG est une compression d'image qui occasionne des pertes d'information, ce qui lui permet, en dépit de la perte de qualité, un excellent taux de compression (imperceptible dans les cas usuels). Ce format de compression s'appuie sur des propriétés de l'œil (non discrimination de certains détails), le découpage de l'image en blocs dont les différences seront gommées selon le taux de compression.

MPEG

Dans de nombreuses séquences vidéo, une grande partie des images est fixe, phénomène appelé **redondance temporelle**.



Une personne effectue une roue sur fond de paysage, il suffira donc de ne décrire que le changement survenant d'une image à l'autre: la trajectoire de la personne se déplaçant (et non le paysage fixe).

Il existe plusieurs façons d'encoder (de compresser) une image avec le format MPEG (1):

- **Intra coded frames (frames I)**: les images sont codées séparément sans référence aux images voisines (précédentes et suivantes), en utilisant le codage JPEG. Ces images servent de balises, de référence palliant les erreurs éventuelles.

- **Predictive coded frames (frames P)**: les images sont décrites par différence avec l'image précédente, en les décomposant en blocs, comparés avec ceux de l'image précédente. Si le bloc diffère trop (à partir d'un certain seuil), il est compressé en JPEG, sinon il sera reconstruit, réputé identique à celui de l'image précédente.

- **Bidirectionally predictive coded frames (frames B)**: les images sont décrites par différence avec l'image précédente et l'image suivante.

Le principe est le même que précédemment mais en tenant compte aussi de l'image suivante.

- **DC coded frames**: les images sont codées en faisant des moyennes par bloc. La qualité est médiocre mais autorise une décompression très rapide. Ce codage est utilisé pour les fonctions d'avance rapide.

La séquence de codage d'une vidéo suit le cycle IBBPBBPBBP (1 image encodée en I, 2 encodées en B, 1 en P...).