

Comprendre les médias interactifs

Louis-Claude Paquin

1 Ramifications des technologies

1	Ramifications des technologies	1
1.1	Posture épistémologique.....	4
1.1.1	Évolution technologique, révolution des habitudes.....	5
1.1.2	Science et technique : allers et retours	7
1.1.3	Technologie et créativité.....	9
1.1.4	Attraction pour les nouvelles technologies, répulsion pour les anciennes.....	10
1.2	Technologies analogiques : les moteurs	11
1.2.1	Outils, techniques et artisans	11
1.2.2	Machines, technologies et ingénieurs.....	12
1.2.3	Eau.....	14
1.2.4	Vapeur.....	14
1.2.5	Pétrole	17
1.2.6	Électricité	18
1.2.7	Machines analogiques.....	20
1.2.8	Machines à programme	20
1.2.9	Machines et médias interactifs.....	22
1.3	Technologies de la communication : traduction et transduction	22
1.3.1	La télégraphie, l'écriture à distance	23
1.3.2	Le code et la double traduction.....	24
1.3.3	La téléphonie, la parole à distance	26
1.3.4	L'information.....	27
1.4	Technologies audiovisuelles.....	28
1.4.1	Enregistrement de l'image	28
1.4.2	Enregistrement du mouvement.....	29
1.4.3	Enregistrement du son	31
1.4.4	La radio.....	32
1.4.5	La télévision	33
1.4.6	L'apparition des médias	34



Comprendre les médias interactifs de Louis-Claude Paquin est mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons 4.0 : Attribution - Pas d'utilisation commerciale - Pas de modification.

1.5	Technologies numériques.....	35
1.5.1	Électronique, transistors et circuit intégré	35
1.5.2	Machines numériques.....	37
1.5.3	Machines immatérielles	38
1.5.4	Représentation et commandes en code binaire	39
1.5.5	Principes du code binaire	39
1.5.6	Encodage numérique des caractères.....	41
1.5.7	Encodage numérique des images	42
1.5.8	Encodage numérique de l'audiovisuel	45
1.5.9	Langage de programmation	47
1.5.10	Structures et formats de données	50
1.6	Technologies de l'information	51
1.6.1	Bases de données.....	52
1.6.2	Système d'information et modélisation	53
1.6.3	Gestion des documents	56
1.6.4	Le silence et le bruit.....	58
1.6.5	Hypertexte et accès associatif à l'information	59
1.7	Technologies de l'information et de la communication (TIC).....	61
1.7.1	Convergence de l'informatique et des réseaux de communication.....	61
1.7.2	Téléphonie cellulaire	62
1.7.3	Internet	63
1.7.4	Les services de communication.....	65
1.7.5	Applications inédites	71
1.8	Le multimédia interactif.....	72
1.9	Bibliographie.....	74



Les médias interactifs reposent sur quatre grandes classes de technologies : les technologies analogiques des machines, les technologies de la communication, les technologies audiovisuelles et les technologies de l'information. Toutefois, leur intrication plus ou moins profonde dans les oeuvres et les productions interactives rendrait un exposé séquentiel artificiel. Chacune des technologies fera tour à tour l'objet d'une discussion générale. L'accent sera mis sur les conséquences épistémologiques des découvertes majeures, que celles-ci touchent aux changements de perception de la réalité, ou à l'organisation des connaissances qui en résulte. Le lecteur intéressé par le détail de cette histoire passionnante trouvera quelques références d'ouvrages clés sur le sujet à la fin du chapitre.

Le parcours proposé compte plusieurs étapes. Sont ainsi respectivement étudiées 1) les technologies analogiques des machines qui succèdent aux outils, 2) les technologies de la communication du télégraphe et du téléphone, 3) les technologies audiovisuelles de l'enregistrement sonore, du cinéma, de la radio et de la télévision, 4) les technologies numériques qui mènent à l'introduction de l'ordinateur dans les machines, 5) les technologies de l'information, avec les bases de données et l'hypermédia, 6) les technologies de l'information et de la communication, dont la téléphonie cellulaire et l'Internet, à l'origine de nouveaux usages: les conversations en ligne, les forums de discussion, le commerce électronique, l'enseignement à distance, etc. et, enfin, 7) les médias interactifs, qui allient l'interactivité des automates au spectacle audiovisuel.

La figure 1 symbolise les relations de filiation ou d'intrication saillantes entre ces différentes technologies.



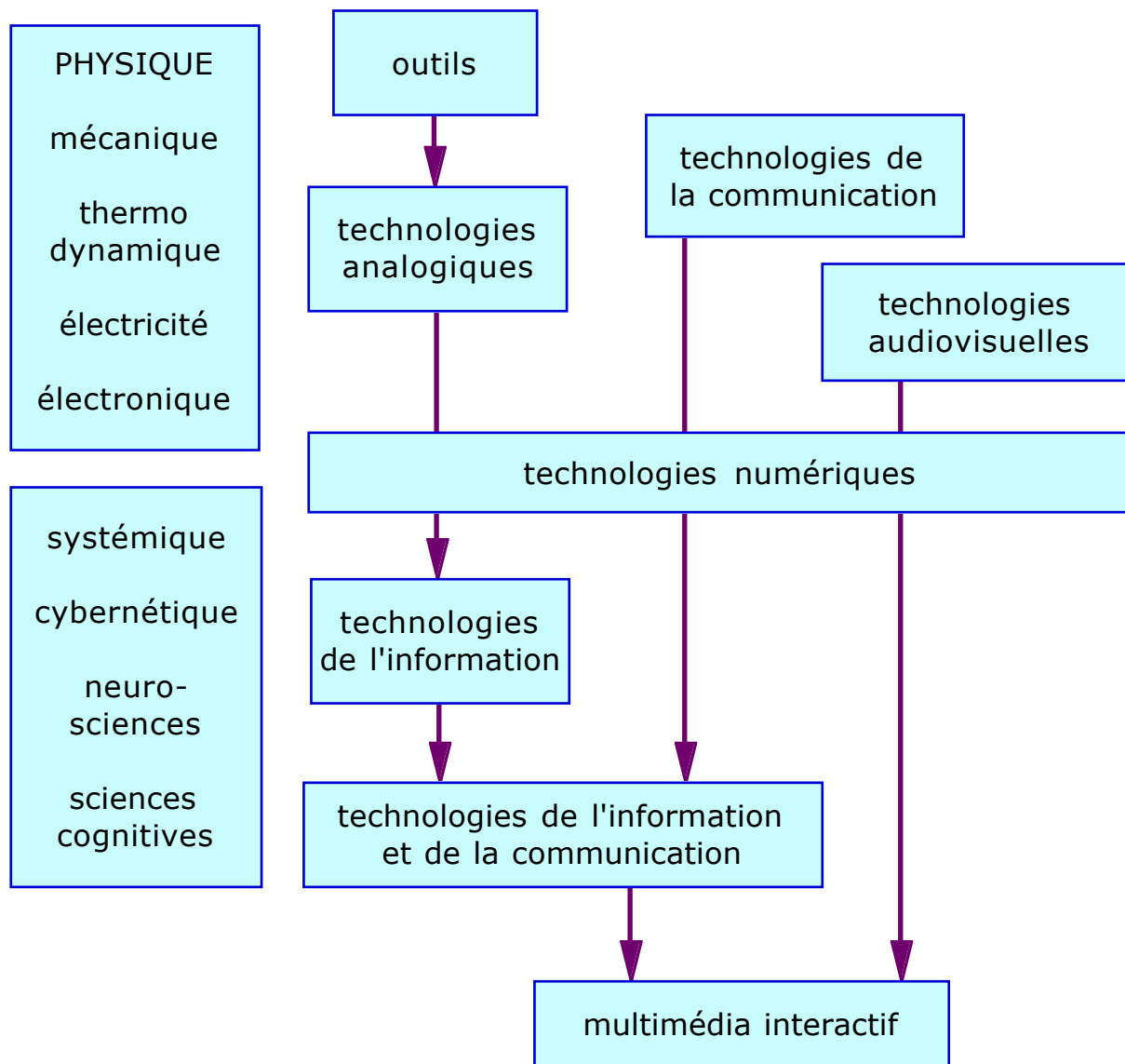


fig. .1 : intrication des technologies

1.1 Posture épistémologique

Le parcours proposé a pour but de saisir le contexte dans lequel apparaissent les technologies afférentes aux médias interactifs, en mettant en exergue les innovations et les aménagements particulièrement significatifs. On fait le lien entre ces innovations et certaines applications de quelques principes de la physique. Comment capter l'énergie de la vapeur, du pétrole, de l'électricité afin d'actionner le moteur des machines? Comment est-on arrivé à produire des machines à traiter des



informations et les dispositifs de communication dont l'intrication particulière constitue la base des médias?

Avant de présenter chacune de ces technologies, partons de quelques préliminaires généraux sur certains aspects du processus historique :

- 1) les technologies se développent de manière graduelle, alors que et l'organisation de la pensée, et l'idéologie en particulier se succèdent à coup de ruptures aussi marquées que fracassantes ;
- 2) la science et les techniques entretiennent un rapport récursif de co-dépendance : certaines techniques sont issues de l'application de découvertes scientifiques, et la mise au point de techniques provoque des développements scientifiques ;
- 3) les techniques, l'expression et la créativité entretiennent des relations constantes;
- 4) les nouvelles technologies se voient appropriées sur le mode de la rupture : les nouvelles technologies attirent, les anciennes technologiques repoussent.

1.1.1 Évolution technologique, révolution des habitudes

Les technologies "dernier cri" sont habituellement présentées et comprises comme de véritables révolutions, porteuses de promesses et de changements, autant sur le plan individuel que sur le plan social. Leur implantation dans la vie de tous les jours devient rapidement incontournable. "Les technologies se succèdent sur le mode de la rupture radicale et subite entre un avant obscur ou primitif, et un après lumineux, sophistiqué, où la puissance de l'humain se voit décuplée, voire centuplée, où tous les problèmes liés à notre condition seront résolus": ce discours est avant tout idéologique, parce qu'il ne se fonde pas sur des faits mais sur des croyances.

Les technologies se sont plutôt développées de manière graduelle, à travers un lent processus où se synthétisent et se consolident des innovations et des expérimentations aussi diverses que multiformes. Ce mouvement n'est donc pas linéaire. Il procède par cycles d'aménagements successifs. Les innovations sont



dérivées, c'est-à-dire transférées et adaptées d'un type de technologie à un autre. C'est ainsi que depuis le Moyen-âge, les technologies se succèdent, mais se chevauchent aussi, et souvent s'entrecroisent. Il en va ainsi de la notion de programme et de l'encodage de données en signal.

L'invention technique se décompose en trois temps : 1) mise au point de prototypes expérimentaux par des visionnaires qui, à partir des inventions et des innovations disparates de leurs prédécesseurs ou de leurs contemporains, ainsi que de leur propre expérimentation, ont su faire converger les connaissances et les actions; 2) ce premier état technique, fragile, se voit fortifié au fur et à mesure qu'il s'universalise par la diffusion; et 3) le design améliore le visage extérieur de la nouvelle technologie. Ce stade ne change rien à l'invention, mais accentue plutôt sa convergence interne.

La révolution a lieu, en réalité, lors du déploiement des nouvelles technologies. Les changements modifient généralement de manière considérable les habitudes des individus. Ainsi, par exemple, l'introduction de l'ordinateur dans les bureaux a entraîné des modifications majeures à l'organisation du travail. Ces changements ont bouleversé les habitudes des personnes. Parfois, ils ont entraîné la mise à l'écart de ceux qui n'avaient pas la capacité de s'adapter, parfois avec une bonification de la retraite. Les changements d'habitude sont toujours difficiles, parce que les habitudes sont des schèmes de comportements que l'on retrouve dans tous les aspects de la vie des individus. Ces schèmes sont très fortement implicites, dans le sens où la personne n'a pas conscience de l'existence d'un schème, tant il est structurant pour la conduite de ses actions. Il s'agit d'habitudes de travail, d'habitudes sociales avec les collègues, les amis, les intimes ou les proches, le conjoint, la famille, ainsi que d'habitudes personnelles telles que l'alimentation, le vêtement, les loisirs.

Les impacts de l'implantation des technologies dans les sphères du travail et de la vie quotidienne ont fait l'objet de nombreuses études à partir de grilles d'analyses sociologiques. Ici, on ne reprendra pas ces travaux, à l'exception de ceux qui se centrent sur l'impact des technologies interactives sur les médias à spectacle, et,



plus précisément, sur l'inclusion du spectateur dans la représentation en tant que participant.

1.1.2 Science et technique : allers et retours

Lorsqu'on explore les relations entre sciences et techniques dans une perspective historique, un schème circulaire — ou plutôt spiralé — apparaît : 1) les sciences sont d'abord distinguées des techniques ; 2) quand les sciences deviennent expérimentales, les découvertes scientifiques entraînent le développement des techniques et d'un savoir afférent, ce qui constitue une technologie; 3) les technologies, de plus en plus perfectionnées, permettent la construction de dispositifs d'observation de la réalité qui, en retour, permettent de faire avancer la science.

Dans la Grèce antique, point de référence de notre civilisation occidentale, la science était pratiquée et enseignée à l'École d'Athènes, alors que les techniques étaient pratiquées et enseignées à l'École d'Alexandrie, de l'autre côté de la Méditerranée. Aristote (~384-322), illustre représentant de l'École d'Athènes avec Platon, accordait une place de choix à la nature (*phusis*) dans son encyclopédie des connaissances humaines. Il y consacre les huit livres de sa Physique auxquels se rattachent les monographies intitulées: *Du ciel*, *De la Génération et de la Corruption*, *De la météorologie*, ainsi que des ouvrages sur les animaux et les plantes (œuvre perdue). Dans ces textes, les techniques sont négligées au profit des connaissances sur les choses et le monde, et de leur organisation. D'ailleurs, le sens premier du terme *science* renvoie à la connaissance, objet de la philosophie.

Les traités consacrés à la technologie étaient anonymes ou apocryphes (ne portaient pas le nom de leur auteur). Mais ils sont plutôt attribués aux autorités. Par exemple, dans le seul champ de l'alchimie, de nombreux traités maintes et maintes fois recopiés sont attribués aux célèbres dominicains Albert le Grand (1193-1280) et Thomas d'Aquin (1228-1274) qui ont fait connaître le corpus aristotélicien, jusque là inconnu. Plus d'une cinquantaine de traités alchimiques sont attribués à l'une ou l'autre de ces autorités. Il s'agit d'une pratique qui se poursuivra jusqu'à la



Renaissance, c'est-à-dire jusqu'à ce que la conception du monde dominée encore par la mécanique théorique aristotélicienne (adaptée aux thèses créationnistes des chrétiens), cède le pas à la recherche empirique.

Par ailleurs, l'École d'Alexandrie (~4^e - 1^{er} siècle) était située en Égypte, constituée alors de la vallée du Nil, de la mer à la deuxième cataracte, sous la gouverne des Ptolémées. Ceux-ci règnent à partir de la mort d'Alexandre le Grand, en 323 avant J.-C., jusqu'à la conquête par Auguste, en 30 avant J.-C. L'Égypte ptolémaïque bénéficie d'un support de documentation unique, les papyrus, rare pour la civilisation hellénique. C'est ainsi que les plus anciens documents contenant les traités attribués à Platon ou à Aristote entre autres datent du 10^e siècle. Ces traités permettront de faire converger science (arithmétique, géométrie, physique, etc.) et techniques. Alors capitale du royaume des Ptolémées, avec sa population d'égyptiens, de grecs et de juifs, Alexandrie constituait une plaque tournante du savoir. Sa bibliothèque constitue la première somme (occidentale) des connaissances humaines; lors de représailles contre la ville insoumise, César y mit selon toute vraisemblance le feu.

Parmi les plus célèbres maîtres de l'ingénierie formés à cette École, on retrouve Archimède de Syracuse, (~287-212) qui met au point, entre autres, le levier autour du centre de gravité, la vis sans fin et la poulie composée qui démultiplie la puissance, alors que Héron d'Alexandrie (1^{er} siècle) développe les premiers automates (cf. 2.1.3). Les mécaniciens arabo-persans ont par la suite pris la relève en développant de nombreuses techniques, notamment l'horlogerie. Ces techniques ont été transmises à l'Occident latin par l'Espagne et la Sicile aux 12^e et 13^e siècles, en même temps et par le même canal que la philosophie. Dans ses *Carnets*, Léonard de Vinci (1452-1519) donne un exemple frappant de l'assimilation de ce double héritage, technique et philosophique.

C'est à partir de recherches sur le centre de gravité de certains solides, ainsi que sur la balance hydrostatique d'Archimède, qu'est née la mécanique moderne avec Galilée (1564-1642). Galilée élabore une modélisation mathématique des principes



physiques mis en œuvre par les techniques antiques. La physique mécanique a, par la suite, permis d'optimiser les techniques déjà au point, et d'en développer de nouvelles. Ce va-et-vient entre techniques et sciences caractérise également la découverte de l'électricité et de l'électronique.

Par ailleurs, les applications technologiques tirées des principes de la physique de la matière sont, à leur tour, à l'origine de nouvelles connaissances, organisées en savoirs et savoir-faire, sinon en sciences, du moins en disciplines. Parmi celles-ci, nous retrouvons a) la *systemique*, science des systèmes complexes, b) la *cybernétique*, science de la communication et du contrôle ou de la régulation des systèmes mécaniques et biologiques, c) les *neurosciences*, qui traitent du fonctionnement du cerveau et du système nerveux, d) les *sciences cognitives* qui étudient les processus mentaux d'élaboration et de traitement des connaissances, ainsi que les mécanismes de la conscience. e) *l'intelligence artificielle* qui élabore des technologies de simulation informatique des modèles propres aux *neurosciences et aux sciences cognitives* et, f) plus récemment, la *vie artificielle*, dont les technologies de simulation informatique s'attachent à modéliser les organismes vivants.

1.1.3 Technologie et créativité

La technique vise habituellement l'efficacité. Autrement dit, elle veut produire le maximum de résultats avec le minimum d'effort et de dépense d'énergie. La technique s'oppose à l'esthétique en tant qu'elle se fonde sur la *connaissance* d'un procédé, là où l'esthétique relève de la *créativité*. Créer ou inventer, cela veut dire faire quelque chose qui n'existait pas encore, ce qui passe souvent par la transgression de techniques bien établies.

Par ailleurs, la technique a toujours été associée à la représentation, parce qu'elle participe toujours à sa matérialisation. La peinture et l'écriture sont fondées sur des techniques qui permettent la production de pigments et d'encre, la sculpture sur des techniques de façonnement du matériau, la taille, le polissage, l'assemblage, etc. Plus près de nous, les arts médiatiques utilisent les différentes technologies



analogiques et numériques de production, d'acquisition, de traitement de l'image et du son, y associant parfois un automate.

1.1.4 Attraction pour les nouvelles technologies, répulsion pour les anciennes

Avant de présenter dans les détails chacune des technologies, à travers notamment les relations qu'elles entretiennent entre elles, on voudrait dire un dernier mot sur l'inévitable confusion qui entoure ces distinctions. C'est l'effet d'attraction que génèrent l'émergence et l'implantation d'une technologie qui engendre cette confusion. Cette survalorisation s'accompagne habituellement d'une dévalorisation des technologies existantes.

Un rapide survol des principaux journaux accessibles depuis 1986 révèle que l'apparition d'une nouvelle technologie invite à réviser l'appellation des technologies existantes. Par exemple, pour éviter de perdre leur part du marché, les activités commerciales en technologies de l'information (TI) se sont ainsi transformées en nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC). L'apparition du multimédia a provoqué une dérive similaire: les industries oeuvrant dans le domaine des NTIC ont poursuivi leurs activités sous la nouvelle appellation. Le phénomène va encore plus loin dans le cas de la *Cité du multimédia*, projet à forte composante immobilière de l'État, qui vise à encourager et regrouper ces industries émergentes à l'aide de subventions. Dans les murs de cette cité, on trouve aussi des fournisseurs de services en NTIC et même en TI, qui veulent ainsi profiter des avantages fiscaux.

Et pourtant, les pratiques actuelles sont souvent transférées à peu près intégralement dans la nouvelle technologie, en dépit des discours qui font état, au contraire, du " changement radical " qu'entraîne l'apparition d'une nouvelle technologie sur les manières d'agir. Quant à la technologie qui servait jusque là de support à ces pratiques, ou bien elle tombe en désuétude ou bien elle fait l'objet d'un réajustement des pratiques. Il en va ainsi de la calligraphie après l'invention de l'imprimerie, de la peinture après la mise au point de la photographie. Dans les deux



cas, ces technologies, délestées du devoir de représentation fidèle de la réalité, ont bifurqué vers une grande liberté esthétique.

Graduellement, les pratiques empruntées aux technologies précédentes se modifient en fonction du potentiel des nouvelles technologies. Dans le cas des médias interactifs, les premières pratiques ont été tirées de la technologie du livre et de l'audiovisuel. L'interactivité qui caractérise cette technologie est restreinte aux fonctionnalités du livre ou de la télécommande du magnétoscope. Ces applications seront appelées machines à contenu (cf. chapitre 4). Les mondes immersifs ou cybernétiques, qui tirent, eux, le plein potentiel de l'interactivité, ne font leur apparition que de manière graduelle(cf. chapitre 5).

1.2 Technologies analogiques : les moteurs

Les technologies analogiques sont apparues après que l'outil, hérité de la préhistoire, a cédé le pas à la machine dans le rôle du prolongement de la main humaine. La machine est dotée de sa propre force motrice, ce qui démultiplie la puissance de la main qui la contrôle. Avant de présenter les principes physiques à la base des moteurs des machines — eau, vapeur, pétrole, électricité — on va d'abord s'attarder sur ce passage de l'outil à la machine, en se centrant sur le statut des personnes. Les artisans compagnons, maçons, charpentiers, tailleurs ou autre, formés comme apprentis auprès de maîtres, sont remplacés par trois types de personnes au statut inversement valorisé : celui de l'ouvrier, disqualifié, qui voit son rôle réduit à alimenter la machine automatique qui intègre dans son mécanisme le savoir-faire de l'artisan. L'ingénieur, instruit et inventeur, conçoit et construit des machines de plus en plus sophistiquées. Le technicien, lui, entretient ces machines.

1.2.1 Outils, techniques et artisans

Il y a 2,5 millions d'années, les créatures du genre « homo » et les primates, nos ancêtres, taillaient la pierre pour confectionner des objets afin de se nourrir, de se défendre, de s'abriter, etc. De la préhistoire à la Renaissance, l'humain a inventé, fabriqué et perfectionné des objets, appelés « outils », lui permettant d'agir sur la



matière avec ses mains, d'accomplir des tâches nécessaires à sa survie et à l'amélioration de ses conditions de vie. Les cinq mécaniques systématisées par Archimède — le plan incliné, le coin, la vis, le levier et la roue — ont été graduellement développées de la période paléolithique au 3^e millénaire av. J.-C.

Ainsi, dès l'Antiquité, des machines simples sont développées et utilisées au titre d'outils. Il s'agit de proto-machines, car la force motrice transformée et démultipliée à l'aide des mécaniques d'Archimède est toujours générée par l'homme. Un exemple en est la foreuse dont la force motrice est engendrée par un mouvement de va-et-vient d'un archet et d'une corde enroulée autour d'un pieu. Le mouvement de l'archet provoque une rotation rapide du pieu, ce qui permet de percer la pierre et le bois.

Les connaissances relatives aux outils, aux mécanismes permettant de les activer, aux méthodes de production et d'utilisation relèvent de la technique. Lorsque les humains seront organisés en cités, les techniques servant à la production de biens deviendront en grande partie le privilège des artisans qui les exercent, et ne seront que partiellement transmises par des traités. Leur apprentissage se fait surtout par la voie du compagnonnage, durant lequel le maître transmet son savoir à l'apprenti artisan. Ainsi, le *Livre des secrets (Liber secretorum)* témoigne de l'état de la technique des minéraux au Moyen Âge, technique qui prendra ensuite le nom d'« alchimie ». De ce traité, copié jusqu'au 15^e siècle, il nous est parvenu plus d'une douzaine de manuscrits provenant d'Europe occidentale. Traduit de l'arabe, probablement à Tolède au cours du 13^e siècle, le traité comporte un répertoire de substances et une longue série de recettes. Pour tirer parti de ce traité, il fallait déjà être au fait des techniques métallurgiques de base, car celles-ci étaient nommées sans être détaillées.

1.2.2 Machines, technologies et ingénieurs

Les premières machines, ou *machines simples*, ont été développées dès l'Antiquité. Ce qui fait la particularité de cet outil qu'est la machine, c'est qu'il est doté de sa propre force motrice. Les chaînes cinématiques, qui permettent la distribution, la



transmission et la démultiplication de la force motrice, constituent les fondements des machines. Plus complexes que les outils, les machines sont dotées de mécanismes, c'est-à-dire d'agencements de pièces, de treuils et d'engrenages qui fonctionnent ensemble, en transformant et en utilisant l'énergie de façon à effectuer une tâche donnée, avec une relative autonomie. Comme cela arrive souvent dans l'histoire des techniques, les machines ont d'abord utilisées à des fins militaires. Il en est ainsi des chaînes cinématiques. Basées sur le ressort, au départ formées d'une simple perche flexible qui emmagasine l'énergie mécanique qu'on lui transmet sous forme potentielle, elles ont d'abord servi à fabriquer des catapultes couplées au levier.

Le terme « technologie » remplace le terme « technique » à partir du moment où la machine supplante définitivement l'outil comme prolongement de la main humaine. Cette transformation terminologique n'est pas fortuite. Le domaine des connaissances s'est considérablement agrandi avec l'inclusion de l'énergie, du mouvement, du contrôle des processus. Du coup, les artisans qui façonnaient la matière avec leurs outils et des machines simples sont remplacés par des machines complexes. En raison de leur complexité croissante, les machines issues de ces nouvelles technologies ne seront pas conçues par les ouvriers qui les font fonctionner, mais par des ingénieurs formés à la science de la construction de machines. Ces derniers reçoivent une formation universitaire scientifique et technique des plus poussées, alors qu'aucune qualification n'est requise des premiers. De même, ces machines sont fabriquées et entretenues par des techniciens formés dans des institutions supérieures, qui connaissent et contrôlent professionnellement les applications pratiques des différentes sciences.

Peu à peu, les machines deviendront des systèmes de plus en plus autonomes, utilisées sous la conduite d'un opérateur humain, voire même d'un autre système. Parmi les faits marquants de cette évolution, il faut compter le développement des sources d'énergie alternative à la force humaine et le perfectionnement des mécanismes. Cette évolution est notamment permise par le passage du bois au métal comme matériau de construction, et par la spécification progressive des



différentes composantes des machines. Les machines automatiques recensent leur environnement et contrôlent un processus de production en exécutant les opérations appropriées de façon autonome.

1.2.3 Eau

Les machines simples étaient mues par des humains ou par des animaux. L'eau et l'air ont ensuite été mis à contribution. Les moulins, ces bâtiments-machines connus dès l'Antiquité, ont été utilisés de façon intensive dès l'Europe médiévale jusqu'à la révolution industrielle. Ces moulins étaient surtout utilisés pour moulinier le grain en farine et pour transformer les arbres en madriers et en planches. L'utilisation de roues de différente grosseur, reliées entre elles par des courroies de cuir, permet d'amplifier la vitesse de rotation des essieux en diminuant la force, ou de diminuer la vitesse en augmentant la force.

Deux facteurs ont permis la production de machines de plus en plus complexes. Tout d'abord, les pièces en bois, de facture imprécise et soumises à l'usure accélérée, sont remplacées par des pièces de métal ouvrées avec des tours, des machines à fileter, à aléser, etc.. Cela a augmenté la résistance et la précision des mécanismes. Ensuite, l'énergie est produite de manière systématique, à partir de la vapeur ou de l'électricité.

1.2.4 Vapeur

La machine à vapeur a été inventée par Denis Papin (1647-1714), qui en décrit le fonctionnement dans son mémoire, *Description et usage de la nouvelle machine à élever l'eau*. La machine à vapeur s'est développée tout au long du 18^e siècle. Elle est fondée sur un principe simple. La vapeur, gaz obtenu en chauffant l'eau, peut être mise sous pression, et cette pression peut être transformée en énergie. Le fonctionnement des machines à vapeur tire parti de l'énorme augmentation de volume qui marque le passage de l'état liquide à celui de vapeur d'une masse d'eau donnée. À 100 °C, sous la pression atmosphérique, cette augmentation est d'un facteur 1 700 environ.



Un premier type de machine à vapeur, la machine atmosphérique, a été conçue par Thomas Newcomen (1663-1729), inventeur anglais. Elle utilise deux forces pour activer le va-et-vient dans un cylindre, ce qui constitue un piston. La première force est celle de la vapeur qui soulève le piston, et la seconde est la pression atmosphérique que génère le vide créé par condensation. Deux opérations contraires sont effectuées, alternativement, dans le cylindre. Une injection d'eau froide condense la vapeur et fait tomber le piston, puis une nouvelle admission de vapeur relève le piston. Lors de cette seconde phase, il y a perte de puissance motrice, les trois quarts de l'énergie étant consacrée au réchauffement du cylindre.

L'invention en 1765 par James Watt (1736-1819), ingénieur et mécanicien écossais, d'un dispositif apparemment simple, à savoir le condenseur, transforme la machine atmosphérique en véritable machine à vapeur. Avec un condenseur extérieur, relié au cylindre mais plongé dans l'eau froide au bas de la machine, plus besoin de réchauffer le cylindre et donc la poussée motrice et la condensation peuvent s'effectuer avec un maximum d'efficacité dans deux appareils distincts. Injectée dans un cylindre constamment chaud, la vapeur y développe toute sa puissance; puis, évacuée dans un condenseur toujours froid, elle établit rapidement le vide. La synchronisation optimale des opérations, du cylindre au condenseur a pris toutefois plus de dix ans. Le même Watt inventa en 1783 un engrenage épicycloïdal, connu sous le nom de planétaire, qui permet de transformer le mouvement alternatif en mouvement rotatif, et la machine à vapeur devint le moteur industriel par excellence.

Puis, à la fin du 18^e siècle, le piston a été remplacé par une turbine beaucoup plus efficace. Cela a permis d'atteindre des vitesses élevées avec beaucoup moins d'énergie. Les turbines à vapeur sont des appareils à écoulement continu. Cela veut dire que, pour un régime de fonctionnement donné, l'état de fluidité du mouvement est invariable en tout point. Cette propriété leur permet de fonctionner avec des débits très importants, et rend possible la réalisation de machines de grande puissance. La machine à vapeur a inauguré l'ère industrielle au 19^e siècle, à savoir l'ère du train et des machines agricoles. Les véhicules étaient dotés de chaudières



où l'eau était maintenue en état d'ébullition par une alimentation constante en charbon.

A cette époque, l'ordre entre la science et la technique s'est encore une fois inversé. C'est l'essor des technologies autour de la machine à vapeur qui a en effet donné lieu à des développements scientifiques. Ainsi, la thermodynamique est née au 19^e siècle. Cette science s'est d'abord consacrée aux phénomènes dans lesquels interviennent des échanges thermiques, et ensuite aux transformations qui s'accomplissent à notre échelle, dont les changements d'états physico-chimiques. La thermodynamique étudie trois types différents de phénomènes macroscopiques : 1) les systèmes « ouverts », qui peuvent échanger de la matière et de l'énergie avec le milieu extérieur ; 2) les systèmes fermés, qui n'échangent que de l'énergie avec le monde ambiant ; et 3) les systèmes isolés, qui sont privés de tout échange avec l'environnement. C'est ainsi que la notion abstraite de système a supplanté la notion concrète de machine.

La thermodynamique repose sur deux propositions fondamentales ou lois. Le premier principe de la thermodynamique introduit le concept d'*énergie* et la propriété de sa *conservation*. Cette première loi implique que l'énergie, considérée sous toutes ses formes, doit rester constante au cours de la transformation d'un système isolé. Le second principe, introduit le concept d'*entropie*, fonction qui permet de quantifier l'état de désordre d'un système et qui tient compte d'une propriété d'évolution irréversible, qui veut que, dans un système isolé, le désordre ne peut que croître, ou demeurer constant à l'état d'équilibre. Ainsi, le mouvement ordonné d'un corps se transforme spontanément en vertu du mouvement chaotique de ses particules.

Parallèlement à la machine à vapeur, deux autres types d'énergie ont vu le jour grâce au développement de certaines sciences. D'une part, les chimistes ont mis au point des processus de raffinage de l'huile minérale, qui servait jusque là à l'éclairage, de manière à fabriquer du pétrole. Cette substance, beaucoup plus réactive, a permis la mise au point d'un moteur à explosion. D'autre part, les



physiciens ont dérivé l'électricité des propriétés électromagnétiques de la matière, de manière à la transformer en une force agissant à distance.

1.2.5 Pétrole

Dans sa forme brute, le pétrole est connu depuis la plus haute antiquité. Vu sa texture et sa densité, il était employé comme mortier ou comme agent d'étanchéité. On l'utilisait aussi pour ses propriétés lubrifiantes ou médicinales. Le pétrole est devenu un produit industriel au milieu du 19^e siècle. La première exploration pétrolière est attribuée à un certain colonel Drake en 1859, qui effectua un forage à Titusville en Pennsylvanie et trouva du pétrole à une trentaine de mètres de profondeur.

Le raffinage du pétrole a sans cesse été amélioré. Les hydrocarbures qui composent le pétrole ont non seulement été utilisés pour les moteurs thermiques à «combustion interne», mais aussi pour fabriquer des produits non énergétiques, comme les lubrifiants et les bitumes. Les produits chimiques dérivés du pétrole sont d'une diversité étonnante : solvants et détergents, mais aussi fibres et caoutchoucs synthétiques ainsi que matières plastiques. Tout au long de la deuxième moitié du 20^e siècle, le pétrole est étroitement lié au développement industriel et à l'accroissement du niveau de vie.

Le moteur thermique, ou moteur à explosion, mis au point à la fin du 19^e siècle, utilise la même mécanique que la machine à vapeur. Le mouvement d'un piston dans un cylindre est transmis par un arbre vilebrequin. La différence est que le piston est activé non plus par la pression de la vapeur, mais par une explosion, tirant parti du pouvoir détonant de l'essence obtenue par raffinement du pétrole brut.

Les moteurs thermiques à « combustion interne », eux, fonctionnent selon le cycle thermodynamique imaginé par Beau de Rochas en 1862, et adapté par l'Allemand Nikolaus Otto en 1876. Le « cycle », c'est l'ensemble des opérations qui se répètent périodiquement. À une course de piston dans le cylindre correspond un temps. Le cycle à quatre temps met en œuvre quatre courses de piston (deux allers et



retours) et correspond donc à deux tours de l'arbre vilebrequin. Le cycle à quatre temps se déroule de la façon suivante: 1) admission: la ou les soupapes d'admission s'ouvre(nt); le piston, partant du point mort haut, descend dans le cylindre en aspirant un mélange air-essence élaboré dans un carburateur ; 2) compression: les soupapes se referment; le piston remonte du point mort bas en comprimant le mélange gazeux; 3) explosion, détente: une étincelle électrique déclenche la réaction chimique de combustion; l'énergie déployée par la détente des gaz lors de l'explosion repousse le piston vers le point mort bas; 4) échappement: la ou les soupapes d'échappement s'ouvre(nt); le piston remonte du point mort bas en chassant les gaz brûlés.

Le moteur thermique à quatre temps comporte de deux à douze cylindres dans chacun desquels coulisse un piston entre deux positions extrêmes, le point mort haut et le point mort bas. Le piston est relié par une bielle, articulée, à l'une de ses extrémités, à un arbre coudé appelé vilebrequin. Celui-ci convertit le mouvement rectiligne alternatif du piston en un mouvement de rotation. Les soupapes gèrent la circulation des gaz au travers du moteur dans la chambre de combustion.

La pétro-technologie a donné naissance à l'essor des transports, et donc du commerce avec des régions lointaines, Elle donne ainsi naissance à ce qu'on appelle, aujourd'hui, la mondialisation, ou la globalisation.

1.2.6 Électricité

Dès la fin du 18^e siècle, les physiciens sont fascinés par les propriétés électromagnétiques de la matière. C'est ainsi qu'est née l'électricité, qui ouvre sur tout un champ de connaissances et d'applications. La théorie scientifique commence vraiment à émerger avec des physiciens comme Benjamin Franklin (1706-1790) et Charles Augustin Coulomb (1736-1806). Ceux-ci dégagent les notions de charge électrique, de conservation de la charge, ainsi que la première loi quantitative qui caractérise les forces s'exerçant entre deux charges ponctuelles. L'électrostatique, l'étude des charges électriques au repos, s'est développée à la fin du 18^e et au début du 19^e siècle. Parallèlement, l'invention par Alexandre Volta (1745-1827) d'un



premier générateur de courant électrique, ancêtre de la « pile électrique », permit l'étude des courants électriques (l'électrocinétique). Cela ouvrit la voie à l'étude de nouveaux phénomènes, à savoir les propriétés magnétiques des courants. André-Marie Ampère (1775-1836) développa cette partie de la physique qui étudie les mouvements des charges électriques, ainsi que les champs électriques et magnétiques que créent ces charges.

Les circuits électriques sont composés de plusieurs éléments. L'énergie est dissipée dans les *résistances*. Elle peut être stockée sous forme magnétostatique dans les *inductances*. Enfin, les *condensateurs* permettent le stockage d'énergie électrostatique.

Les moteurs électriques sont fondés sur le principe suivant. Un aimant crée dans l'espace un champ d'induction magnétique; en donnant à cet aimant un mouvement de rotation autour d'un axe, on provoque la rotation du spectre magnétique, créant ainsi un champ tournant. Ainsi, la rotation d'un arbre sur lequel sont montées des bobines de fils de cuivre autour d'un aimant induit un courant électrique.

Les moteurs électriques fournissent de l'énergie mécanique. Les générateurs électriques effectuent l'opération inverse; en partant d'énergie mécanique, les alternateurs fournissent de l'énergie électrique sous forme alternative. Les transformateurs permettent de transmettre l'énergie entre deux circuits de type différent. Les convertisseurs fournissent des tensions et des fréquences autres que celles qu'impose un générateur de courant alternatif ou continu. Les variateurs permettent de modifier la vitesse de rotation des machines tournantes. L'avantage des moteurs électriques, c'est qu'ils sont plus souples que les moteurs à vapeurs et les moteurs à explosion. Entraînée par un moteur électrique, la machine peut être mise en route, contrôlée et arrêtée indépendamment de ses voisines.

Les machines développées à base de moteurs deviennent de plus en plus complexes et de plus en plus puissantes. Elles permettent de se déplacer rapidement sur terre, sur mer et dans les airs. Les machines remplaceront les outils dans la réalisation de nombreuses tâches, autant dans le monde du travail que dans celui de la vie domestique (cf. chapitre 4). Avec les chaînes de montage, les industries se



transforment elles-mêmes en machines, qui organisent et contrôlent la cadence de production de biens, parmi lesquels on trouve souvent... des machines. La production compte plusieurs étapes, et à chacune d'entre elles, un ouvrier différent utilise une machine différente.

1.2.7 Machines analogiques

Toutes ces machines sont *analogiques*. En effet, elles sont toujours composées de mécanismes et de moteurs que contrôlent des dispositifs en rapport *direct et continu* avec des mesures physiques. Ainsi, par exemple, la direction est le mécanisme qui permet de guider l'automobile. Le volant (une roue) capte les intentions du conducteur et les transmet aux roues avant de manière continue et directe. L'accélérateur, piston actionné par le pied, permet de contrôler *directement et en continu* le débit d'alimentation du moteur en carburant, et donc la vitesse du véhicule. Le frein, autre piston, contrôle de la même manière le frottement d'un disque relié aux roues, qui permet de ralentir le véhicule. De même, le contrôle analogique d'un grille-pain, machine beaucoup plus simple, repose sur une lame de métal qui absorbe graduellement la chaleur et change ses propriétés jusqu'à provoquer un déclenchement qui coupe l'alimentation électrique. On fait varier le temps de cuisson en ajoutant ou en retirant une résistance à la flexibilité de cette lame.

1.2.8 Machines à programme

Dès le début du 19^e siècle, soit bien avant l'invention de l'ordinateur qui est une machine à programme digitale, est apparu une forme évoluée de machines, les *machines à programme*.

La carte perforée inventée en 1725 par François Boucher (1703-1770) sera entre autres utilisée par Joseph Marie Jacquard (1752-1834) pour perfectionner les métiers à tisser automatiques de Vaucanson (cf. section 2.3.10). Ainsi, parmi les premières machines à programme, on compte les métiers à tisser dotés d'un mécanisme qui permet de sélectionner des fils de chaîne à partir d'inscriptions sur des cartons perforés. Il suffit de changer de cartons pour obtenir des motifs



différents, ce qui représente un avantage appréciable sur les métiers à tisser traditionnels.

L'avancée substantielle consistait à séparer les instructions de la machine en tant que telle, et à les inscrire sur un support, cartons ou feuilles de papier perforés, rouleaux de cire incrustés, etc. La machine doit évidemment être dotée, alors, d'un dispositif de lecture adapté au support et à l'encodage, de manière à transférer les instructions dans la machine. Au sens anglais du terme, un programme est un texte, un ensemble ordonné d'instructions, qui, lorsqu'elles sont lues par la machine, contrôlent la réalisation de certaines opérations. Ces notions sont discutées plus en détails dans le chapitre suivant (cf. ???.).

Le tambour à picots, créé ou perfectionné par un ingénieur français, Salomon de Caus (v. 1576-1626), est à la base du carillon automatique, l'ancêtre des boîtes à musique. Ce principe est encore utilisé aujourd'hui pour produire la musique accompagnant la ballerine qui surgit d'une boîte à bijoux. La musique est distincte de la machine-instrument qui la produit. Les notes de la ritournelle, qui constituent un programme musical, sont encodées sous forme de saillies sur un rouleau, et décodées analogiquement par des languettes de métal dont la longueur détermine une tonalité; ces languettes sont appuyées sur le rouleau qui tourne en continu, de façon à jouer la ritournelle en boucle.

Parmi les machines musicales à programme, on retrouve les pianos mécaniques, ainsi que les orgues de Barbarie (cf. section 2.3.9). Ces orgues déroulent des papiers-paravents, troués de façon à reproduire dans le temps les notes qu'auraient jouées une personne, et peuvent ainsi interpréter une pièce musicale donnée.

Nous verrons au prochain chapitre que l'invention de machines programmables marque le début de l'automatisation et de la révolution industrielle. Cette invention jouera un rôle déterminant sur le travail de personnes : les tâches ne seront plus effectuées directement par l'ouvrier à l'aide d'outils, mais par une machine, par le biais d'une séquence d'instructions. L'intervention humaine consiste entre autres à établir le programme. Cette tâche est hautement qualifiée, mais ponctuelle, car le programme est établi une fois pour toutes. Par contre, l'intervention humaine qui



consiste à surveiller l'exécution du programme est très disqualifiée en comparaison avec la tâche de l'artisan. Ce travail peu valorisé est, aussi, beaucoup plus répandu.

1.2.9 Machines et médias interactifs

Des machines ont été développées dans toutes les sphères de l'activité humaine, y compris dans le domaine du spectacle, auquel est consacré le chapitre 3. Dans la plupart des activités humaines, les machines ont non seulement remplacé les outils, premières extensions de la main humaine, mais ont aussi grandement et profondément influencé notre perception de la réalité qui nous entoure et de nous-mêmes. La conception de la personne que propose René Descartes (1596-1650) est ainsi influencée par l'horloge. Plus récemment, la conception des processus cognitifs humains s'inspire beaucoup de l'architecture et du fonctionnement de l'ordinateur. Le terme « automate » (cf. chapitre 2) sera utilisé pour désigner des machines qui fonctionnent par elles-mêmes, sans le concours d'un opérateur. Ce terme désignera par la suite des machines abstraites, conceptuelles, décrites par une série d'instructions et implantées dans des ordinateurs.

Cette pensée machinique (cf. chapitre 4) est à la base du concept d'interface personne-machine, avec ses boutons, ses menus, ses fenêtres qui réagissent à leur manipulation. Cette pensée s'oppose à la pensée écologique à la base des environnements immersifs (cf. chapitre 5).

1.3 Technologies de la communication : traduction et transduction

Les technologies de la communication et les machines se sont développées en parallèle. En effet, toutes deux utilisent l'électricité, quoique pas de la même façon. Les moteurs utilisent l'électricité comme une énergie, alors que le télégraphe comme le téléphone utilisent l'électricité pour transmettre un message. Ce passage de l'énergie en message est possible parce que les paramètres du courant électrique varient de manière régulière. En contrôlant cette variation à l'émission, le courant électrique devient un signal porteur de message dans la mesure où les variations



peuvent être captées. Deux grandes approches se succèdent (tout en se chevauchant en partie), la traduction et la transduction. L'idée de la *traduction*, c'est qu'un code de départ, qui n'est pas, lui, typographique, transmet des messages langagiers.

Pour être transmis par un signal constitué de deux états du courant électrique « continu » et « interrompu », le message doit être traduit. Cette pauvreté ou rareté des états possibles restreint le champ de la communication à l'univers de l'écriture. Les lettres de l'alphabet seront traduites dans un code adapté aux deux états du courant électrique. La *transduction* utilise pleinement le potentiel du courant électrique pour la communication. Les sons captés sont convertis sans perte en modulations, et transmis sous la forme d'un signal électrique, dont les modulations, une fois captées, sont reconverties en sons par un amplificateur.

1.3.1 La télégraphie, l'écriture à distance

Le télégraphe (du grec, télé " au loin " et " graphô ", j'écris), appareil d'écriture à distance, mis au point au cours du 19^e, constitue la première technologie de la communication. Auparavant, les messages étaient acheminés par des émissaires, des humains et des pigeons. La première télégraphie est optique; Claude Chappe (1763-1805) en est le concepteur principal. Une ligne de communication visuelle était établie entre deux points par autant de stations qu'il était nécessaire. Chaque station était constituée d'une tour munie de bras articulés, avec de petites barres à leur extrémité pour les distinguer. À chaque lettre correspond une position spécifique des bras. Ces barres sont actionnées au moyen de leviers par un guetteur. Celui-ci est muni d'un télescope pointé vers la tour précédente qui relaie les messages. Le principe du télégraphe optique sera largement utilisée dans la gestion des moyens de transport. Les phares communiquent avec les bateaux en émettant des signaux lumineux. Les chefs de station communiquent des instructions aux conducteurs des trains par sémaphore, indications mobiles sur un mât. Les



déplacements des avions sur les pistes des aéroports sont guidés par un opérateur qui manipule des drapeaux à des positions prédéterminées, etc.

Tout au long du 19^e, de nombreuses recherches, aussi bien théoriques que pratiques, ont été menées sur l'électricité. On en a tiré une forme d'énergie qui servira non seulement de force motrice pour les machines, mais aussi de source d'éclairage et de moyen de communication. Un des avantages de l'électricité est qu'elle peut être accumulée dans des piles, et transportée sur de longues distances sur des fils de cuivre sans trop de perte. Grâce à ces recherches, on a aussi trouvé le moyen de transporter des messages à distance à l'aide du courant électrique.

La communication de messages d'un point à un autre à l'aide du courant électrique se fait en trois temps : l'émission, la transmission sous forme d'un signal et la réception. Le principe consiste à utiliser les propriétés physiques de l'électricité de façon à produire un flux de grandeurs physiques régulières. De la même façon, les propriétés physiques ondulatoires seront utilisées plus tard pour une communication sans fil. Première implantation de ce principe à large échelle, le télégraphe utilise un signal à base d'impulsions électriques, propagé sur un fil de cuivre. À l'aide d'électro-aimants, on génère des impulsions électriques qui étaient ensuite propagées sur un fil électrique pour parcourir des distances surprenantes.

À partir de 1840, le télégraphe optique sera abandonné au profit du télégraphe électrique. Sa vitesse, sa portée et sa facilité d'utilisation vont entraîner une croissance phénoménale du nombre de lignes, à tel point qu'en quelque cinquante ans, il va quadriller les pays du monde occidental, et puis interconnecter trois continents: l'Europe, l'Amérique et l'Asie. On remarquera l'absence de l'Afrique au rang de continent « branché ». La division entre techno-riches et techno-pauvres ne date pas d'aujourd'hui. Elle a jalonné le développement de la technologie.

1.3.2 Le code et la double traduction

Pour pouvoir représenter et transmettre des messages à l'aide de séquences d'éclairs lumineux ou d'impulsions électriques, il a fallu inventer un code adapté à la matérialité de la communication. Le concept de *code* s'est pleinement développé



lorsqu'on s'est mis à chercher un répertoire de signes adaptés aux propriétés d'un signal discontinu. Un code est composé de trois constituants : 1) un ensemble fini de signaux ou de signes de base, distincts les uns des autres, et constituant une sorte d'alphabet; 2) un ensemble fini de règles d'assemblage des signes ou signaux de l'alphabet; ces règles constituent une « syntaxe », qui produit les énoncés valides ou interprétables et 3) une table de correspondance avec un ou plusieurs autres langages.

Dans un code, la relation entre des langages qui utilisent des systèmes de signes ou de signaux différents (dépendant chacun de la spécificité matérielle de leur support) relève de la pure convention. Il suffit que soit établie une table de concordance entre les deux systèmes de signes utilisés, et qu'un signe d'un système donné ne corresponde qu'à un et un seul signe de l'autre système. La communication à distance réussit si les signes sont univoques (pas ambigus), et si le message ne se détériore pas lors de la transmission. Le concept de code a aussi été utilisé pour les communications confidentielles, qui soustraient les inscriptions à la compréhension de tous. La cryptographie, science du code secret, s'est développée à partir du début du 20^e siècle, aussi bien dans le milieu militaire que dans le milieu bancaire. Jusqu'à la deuxième moitié du 19^e siècle, seul le code typographique était utilisé pour transmettre les connaissances et les informations. La transmission s'est tout d'abord opérée par la voie de la copie manuscrite, et puis, à partir du 16^e, par l'imprimerie, et ce de façon exponentielle. L'alphabet constitue un code typographique offrant autant de symboles visuels qu'il y a de lettres dans l'alphabet. La transmission de messages par un signal électrique, elle, exige une réduction du nombre et de la diversité des signes utilisés à deux. Puisqu'ils sont bien perçus par l'oreille, les signes utilisés pour la transmission à distance peuvent être construits dans le temps, chacune des lettres de l'alphabet étant représentée par une séquence différente de signes plus simples. C'est ainsi que les signes de base peuvent être regroupés en combinaisons diverses, ce qui permet de gagner en expressivité.



L'invention du code binaire remonte au philosophe anglais Francis Bacon (1561-1626). Celui-ci cherchait une façon de transmettre la pensée à distance par un objet qui ne pourrait être que dans deux états différents, comme les cloches, les trompettes, les tirs de mousquet, les éclairs de lumière, etc. La solution qu'il a trouvée consiste à transformer chaque lettre en une combinaison de deux symboles. Le code Morse, breveté en 1838, répond aux exigences de la communication à distance, en utilisant la combinaison d'un nombre très restreint de signes, des brefs (.) et des longs (-), pour exprimer toutes les lettres de l'alphabet. Le célèbre signal de détresse est transmis par S --- O ... S ---.

La communication au moyen du télégraphe nécessitait une double opération de traduction. Un opérateur qualifié encodait le message à transmettre à l'aide d'une table de concordance des symboles, et actionnait un interrupteur qui produisait des séquences d'impulsions électriques courtes ou longues. Ces séquences constituaient le signal à proprement parler. Lors de sa réception, le signal devait d'abord être décodé par un opérateur qualifié, qui découpait le flux en grandeurs physiques, et leur associait les signes correspondants du code typographique.

1.3.3 La téléphonie, la parole à distance

Dans une communication à la Société des ingénieurs télégraphistes de Londres, en 1877, Alexander Graham Bell (1847-1922) décrit un appareil qu'il a lui-même conçu en 1875, le téléphone. Celui-ci, successeur du télégraphe, permet une communication à distance plus naturelle, parce qu'il transmet intégralement la voix des interlocuteurs, évitant l'encodage dans un langage artificiel à l'émission, et le décodage à la réception. Pour ce faire, on utilise des dispositifs mécaniques, appelés *transducteurs*, capables de transformer des grandeurs physiques d'une certaine nature en grandeurs physiques d'une autre nature. Le microphone capte les vibrations sonores, et les transforme de façon continue en signal électrique, selon le principe de l'induction. Une membrane actionnée par la voix vibre devant un électroaimant, et produit un courant électrique qui a des caractéristiques d'amplitude et de fréquences analogues. Pour effectuer l'opération inverse, c'est-à-dire pour transformer un signal électrique en énergie acoustique, on utilise un autre



dispositif mécanique, appelé *écouteur*, qui restitue l'onde sonore captée par le microphone. Plutôt que de recourir à la transmission d'impulsions électriques, qui exigeait le recours à un code vu sa pauvreté d'expression, on a mis au point la *modulation*. La modulation est un procédé beaucoup plus riche, qui consistait à faire varier les principaux paramètres du signal électrique : l'amplitude, l'intensité, la fréquence et la phase d'un courant.

Aux signaux électriques qui traduisent les signaux sonores, se sont ajoutés d'autres signaux essentiels pour l'acheminement des communications, à savoir les signaux de contrôle de la commutation ou d'acheminement. Les téléphones sont organisés en réseaux locaux, qui s'organisent sous la forme d'une étoile autour d'une centrale. L'acheminement du signal entre deux points d'un réseau se fait par la commutation des circuits par relais électro-mécaniques, activés par des signaux d'acheminement. La commutation permet l'acheminement du signal sur le réseau jusqu'à sa destination; elle est commandée par une portion du signal lui-même. Les centrales des réseaux locaux sont reliées entre elles par des centres de transit, qui comportent des commutateurs de plus haute capacité. Les centres de transit sont reliés entre eux par des artères de transmission, de manière à constituer un réseau national qui sera interconnecté avec les autres réseaux nationaux. C'est ainsi que par commutations successives, il deviendra possible d'établir une communication téléphonique avec une personne à l'autre bout du monde.

1.3.4 L'information

Nous avons vu précédemment que les technologies de la communication reposent sur l'encodage du message qui doit être transformé en signal visuel, électrique ou encore ondulatoire, d'une manière qui soit adaptée au processus de transmission utilisé. Ensuite, il faut décoder le signal pour restituer un message compréhensible. L'élément ou le système pouvant être transmis par un signal ou une combinaison de signaux, nous l'avons désigné par le terme vague de *message*. Il est aussi désigné avec le terme « information », par un emprunt à l'anglais. Par extension, l'expression " technologie de la communication " désigne tout système qui met en jeu une correspondance spécifique entre une information d'entrée et une



information de sortie au moyen d'une énergie extérieure et qui ajoute au signal des codes pour effectuer des transformations, des exécutions nécessaires à la transmission physique.

1.4 Technologies audiovisuelles

Les technologies audiovisuelles se sont développées parallèlement aux technologies de la communication, et mettent parfois en scène les mêmes personnages. Les technologies audiovisuelles font leur début avec l'enregistrement du son et de l'image ; l'enregistrement photographique de l'image sur une pellicule de cellulöid, matériau dérivé du pétrole ; l'enregistrement sonore sur rouleau de cire, et, plus tard, sur disques de plastique puis de vinyle. Les technologies audiovisuelles sont influencées par les technologies de la communication, dont lesquelles elles partagent certaines caractéristiques, comme la capture du son. Cela dit, le transcodage de l'image en mouvement ne se fait pas en un signal électrique, mais en un champ magnétique. C'est avec la retransmission par la voie des ondes herziennes que les notions de média et de public de masse apparaissent vraiment.

1.4.1 Enregistrement de l'image

Le terme " photographie ", qui signifie littéralement *écriture de la lumière*, a été utilisé pour désigner le procédé d'enregistrement de l'image. Le développement de la photographie est contemporain de celui du télégraphe. Le principe de la *camera obscura* était connu depuis l'Antiquité. Dans une boîte fermée, dont l'un des côtés est percé d'un trou, l'image de ce qui se trouve devant ce trou est reproduite, inversée, sur le côté opposé de la boîte. Cette boîte a été utilisée, entre autres, par Roger Bacon au 13^e siècle, dans le cadre de ses recherches sur la vision humaine. Au 17^e siècle, la *camera obscura* est un instrument courant dans la plupart des ateliers des peintres, mais son usage était honteux. Si le moyen de *produire* une image était ainsi connu depuis très longtemps, ce n'est qu'à la fin du 18^e siècle qu'on a trouvé le moyen de l'enregistrer, suite à la découverte des effets chimiques de la lumière sur les sels d'argent. Au début du 19^e, Joseph Nicéphore Niepce (1765-1833) utilise une plaque d'étain enduite d'un composé argentique au fond d'une



camera obscura ; le procédé sera perfectionné et commercialisé par Jacques Daguerre (1787-1851).

La photographie prendra son véritable essor avec George Eastman (1854-1932) qui développera une entreprise à partir de 1881. Il contribuera à la production industrielle de tous les aspects de la photographie ; ainsi, en 1887, il déposera la marque Kodak. L'image sera captée avec une machine qui sera appelée « camera ». Les plaques de cuivre argentées seront remplacées par un film souple découpé en lisière, et placé sur un rouleau, qui sera appelé pellicule. Est peu à peu systématisé le développement de la photo, c'est-à-dire la transformation en photographie stable et durable de l'image fragile et latente produite lors de l'exposition des sels d'argent à la lumière. L'image latente sera révélée par l'élimination des sels d'argent qui n'ont pas été exposés à la lumière. On obtient ainsi une image en négatif, où les parties les plus exposées à la lumière sont les plus noircies. Cette image sera ensuite transférée sur un support papier par le même procédé : l'image négative projetée sur le papier, enduit de sels d'argent, se trouve renversée. Le papier est par la suite soumis au même traitement que la pellicule.

La diffusion de la technologie photographique a provoqué une modification dans notre rapport à l'image. Jusque là, l'image était l'œuvre d'un artiste peintre, qui se livrait, avec du charbon ou des pigments, à la production d'une représentation esthétisante à partir d'une image perçue ou imaginée. Seuls les rois et autres seigneurs étaient mis en portrait. Les photographes — et, bientôt, tout le monde — ont pu cadrer des images et les capter fidèlement pour les conserver et les diffuser. Cette appropriation du monde visuel a restreint l'usage du langage qui, jusque là, était le premier vecteur de description et de transmission du réel. L'introduction de la photographie dans la sphère de l'imprimé a bouleversé la mise en page.

1.4.2 Enregistrement du mouvement

Le terme " cinématographe " signifie littéralement *écriture du mouvement*. La lanterne magique, qui remonte à l'École d'Alexandrie, est un dispositif qui donne l'apparence du mouvement à des images fixes qui sont projetées à partir d'une



source de lumière. La reproduction du mouvement a constitué une énigme aussi bien pour les savants que pour les artistes, de la Renaissance jusqu'au 19^e siècle. On trouve, entre autres études sur ce thème, de nombreux croquis dans les carnets de Léonard de Vinci, dont les croquis de chevaux sont parmi les plus connus. La découverte capitale pour la reproduction du mouvement revient au physicien Joseph Plateau, à qui l'on doit la formulation, en 1828, du principe de la persistance rétinienne. Ce principe établit que la sensation lumineuse sur la rétine persiste pendant une durée d'environ un vingtième de seconde après la suppression de l'excitation. Ainsi, une séquence d'images fixes projetées à raison de vingt images à la seconde devait donner une impression de mouvement continu.

Une première version complète du cinématographe a été présentée par les frères Lumière en 1895. Ce cinématographe combine techniques photographiques et techniques mécaniques. La prise de vue, fondée sur le principe de la *camera obscura*, se fait sur la pellicule souple développée par Eastman, qui comporte des perforations de chaque côté. Dans l'appareil d'enregistrement, un mécanisme à griffe, inspiré du pied-de-biche de la machine à coudre, assure un défilement régulier mais saccadé de la pellicule ; l'arrêt du défilement est synchronisé avec l'ouverture de l'obturateur pour enregistrer des images fixes et non pas déformées par le mouvement. L'appareil de reproduction, lui, est plus simple. Un moteur assure le défilement régulier de la pellicule à la même vitesse que celle à laquelle elle a été enregistrée. Elle défile devant un faisceau lumineux et derrière une lentille, ce qui permet de projeter le film devant un auditoire.

Les premiers films ont exercé une grande fascination sur le public. La reproduction du mouvement était si réaliste que la scène d'un train entrant en gare provoquait le même sentiment de panique que la situation réelle. Ce qui explique cette réaction, c'est entre autres la synesthésie, c'est-à-dire la stimulation intensive et simultanée de plusieurs sens, ici la vue et l'ouïe. La suspension de notre sens du réel qu'induisent les technologies audiovisuelles sera étudiée en détails plus loin (au chapitre 5). Cette fascination pour le cinéma ne s'est jamais atténuée, malgré l'apparition d'autres technologies audiovisuelles.



1.4.3 Enregistrement du son

Le phonographe — littéralement appareil à *écrire le son* — a été utilisé pour désigner la première machine à enregistrer des sons. En se propageant dans la partie élargie d'un cône, le son de la voix fait vibrer un diaphragme auquel est attachée une pointe métallique, qui permet de produire une empreinte du son. Thomas Edison (1847-1931) propose, en 1877, une version achevée de ce principe : de gauche à droite, la pointe de métal trace un sillon sur un cylindre, analogue aux vibrations sonores qui ont été captées. Pour reproduire le son, la machine fonctionne de façon inverse. La pointe d'acier lit le sillon gravé en spirale sur le cylindre, et active la membrane qui, en vibrant, produit du son, alors amplifié par le cône. La machine est mue par une manivelle. Le support d'enregistrement utilisé au départ est un cylindre recouvert d'une feuille d'étain. Mais au moment de la commercialisation, le cylindre sera fait de carton enduit de cire, procédé à la fois moins coûteux et plus précis.

Plusieurs améliorations seront apportées au mécanisme original, qui gagne ainsi en efficacité. Le gramophone, appareil qui fait concurrence au phonographe, inscrit et lit le son sur un disque, de plastique friable au début, puis fabriqué à partir d'un composé du vinyle. Beaucoup plus facile à produire et beaucoup plus stable, ce type de disque permettra à la distribution de masse de prendre son essor. Un moteur à ressort régularisera la vitesse du support, ce qui manquait à l'entraînement direct par manivelle. Ensuite, le moteur électrique augmentera la fiabilité de l'appareil, et l'électronique permettra l'amplification du son.

Le premier lecteur de bande magnétique fut inventé en 1898 par l'ingénieur danois Valdemar Poulsen (1869-1942). Ce lecteur utilise un fil métallique magnétisé pour enregistrer des messages téléphoniques. Le principe fut repris par l'industrie allemande dans les années 1930, d'abord avec une bande de papier recouverte de particules de métal. Puis en 1935, *BASF* produit une bande magnétique plastique, et *AEG Telefunken* sort le Magnetophon. Cette technologie audiovisuelle sera reprise après la guerre par la société californienne *Ampex*, qui imposera le standard de la



bande d'un quart de pouce. Avant 1950, la gravure de la matrice d'un disque est faite en une seule prise, si possible sans erreur. La bande magnétique permet d'enregistrer des séquences séparément, de reprendre les prises de son si nécessaire, et d'assembler une version « parfaite » par découpage et collage des meilleures séquences. De plus, le magnétophone est transportable: il permet l'enregistrement à l'extérieur du studio, de bruits, de concerts en public.

Le magnétophone qui permet d'enregistrer le son et de le reproduire aussitôt se fonde sur les principes de l'électromagnétisme. Il contient un *amplificateur électronique*, des *têtes de lecture-écriture* qui transforment les signaux électriques en signaux magnétiques (vice-versa) de façon analogique, et un *moteur* qui entraîne la bande magnétique à différentes vitesses constantes. Lors de l'enregistrement, la bande en plastique recouverte d'oxyde magnétique passe devant la tête d'écriture, qui y enregistre l'empreinte magnétique correspondant aux signaux électriques transmis par l'amplificateur. À la lecture, la bande passe par une tête de reproduction, qui transforme le motif magnétique en un signal électrique. Ce signal est amplifié et converti en ondes sonores. La captation et la reproduction du son a bouleversé le monde de la musique. Jusque là, pour entendre de la musique, il n'y avait qu'une alternative: soit faire de la musique soi-même avec des proches, soit assister à une performance musicale, qu'elle soit populaire (et jouée dans la rue) ou bien savante (et interprétée dans les théâtres). Tout à coup, il devenait possible d'avoir chez soi des pièces musicales interprétées à un moment donné par des interprètes choisis, et de les écouter à volonté. Un autre impact majeur de la capture et de la reproduction de sons fut la synchronisation de l'image et du son au cinéma; c'est ce qui a permis au cinéma d'atteindre sa maturité en devenant « parlant ». La création musicale a aussi utilisé les instruments de capture et de reproduction, auxquels s'ajoutent encore les instruments de transformation du son. C'est ainsi que sont nées les pièces de musique *électro-acoustique*.

1.4.4 La radio

Au début du 20^e siècle, Heinrich Hertz (1857-1894) réussit à faire se propager les ondes sur une grande distance et à les capter par le biais de radioconducteurs. Ces



ondes électromagnétiques de haute fréquence sont produites par des oscillations électriques. Leur longueur est supérieure aux radiations visibles qui composent la lumière. Le même principe de modulation et démodulation qui avait été appliqué à un signal électrique sera appliqué à ces ondes. C'est ce qui a permis de communiquer à distance sans fil. Guglielmo Marconi (1874-1937) complétera le dispositif en ajoutant une antenne à l'émetteur. Cela en augmentera considérablement la portée. Pour pouvoir discriminer les ondes provenant simultanément de plusieurs stations émettrices, le poste récepteur des ondes radio est accordé sur une fréquence donnée, à l'aide d'un circuit formé d'un condensateur et d'une bobine.

La radio a donné lieu à deux types d'application : la télégraphie sans fil (TSF) et plus tard, la radio amateur, qui permettait non seulement aux personnes de communiquer entre elles, mais ouvrait aussi une nouvelle voie à la diffusion de masse. Celle-ci s'établissait à travers des liaisons essentiellement unidirectionnelles entre des stations émettrices d'une part, et des postes récepteurs dans les foyers des auditeurs d'autre part. À partir des années 1920, la radio est une industrie en soi, à la source d'une programmation variée.

1.4.5 La télévision

La technologie qui consiste à transmettre le son au moyen de fréquences spécifiques du spectre électromagnétique sera, par la suite, appliquée au signal lumineux. Les dispositifs de capture et de diffusion d'images sont toutefois radicalement différents, et beaucoup plus complexes que dans le cas du son. Certes, l'image animée se déploie aussi dans le temps, mais à la différence du son, l'image se déploie aussi dans l'espace. Cela impose que l'image soit décomposée en points. Thomas Edison a développé une lampe pour accomplir cette tâche. Les variations lumineuses de chacun des points sont transformées en courant électrique analogique par des cellules photoélectriques, principalement composées de sélénium; sensibles à la lumière, ces cellules sont capables de convertir celle-ci en courant. La reconstitution de l'image s'opère sur un écran, c'est-à-dire un tube cathodique sous vide. Le principe de focalisation et de déviation d'un faisceau d'électrons dans un tube de ce



genre est dû à Karl Ferdinand Braun (1850-1918). Le faisceau d'électrons projeté par un canon balaie la surface de l'écran, sur laquelle est déposée une substance fluorescente de gauche à droite, ligne par ligne, de haut en bas. Si l'image, reproduite point par point, paraît complète, c'est en raison du principe de la persistance rétinienne.

La télévision établit des liaisons essentiellement unidirectionnelles entre stations émettrices et postes récepteurs dans les foyers des téléspectateurs. Une industrie s'est constituée sur le modèle des stations de radio, à qui elle a d'ailleurs livré une rude concurrence.

1.4.6 L'apparition des médias

Les technologies de la communication ou des médias se subdivisent en deux catégories selon les usages. Ainsi, le terme média a deux acceptions. Sous la première acception, d'application plus restreinte, le terme désigne l'équipement technique qui permet la communication interpersonnelle. Cet équipement a plusieurs composants : dispositif de captation, d'encodage, de transmission, de décodage des messages, support, etc. Il combine dans un même dispositif les fonctionnalités de l'émission et de la réception. La deuxième acception du terme média, plus large, recouvre tout le phénomène médiatique, c'est-à-dire l'équipement, mais aussi la forme et le genre des messages, structurés en programmes ou en pages, ainsi que l'instance émettrice (professionnels ou particuliers) et l'instance réceptrice de ces messages. Le public reçoit les différentes émissions diffusées sans exercer aucun contrôle possible sur leur déroulement. Les médias dits «de masse» sont le cinéma, la radio et la télévision. Le multimédia interactif, qui est l'objet d'étude de ce manuel, appartient à cette deuxième catégorie, mais permet cependant un contrôle ou une participation active dans les émissions.

Alors que pris dans leur première acception, étroite, limitée à la technologie, les médias tendent à la transparence, ils s'effacent pour une plus grande efficacité de la



communication interpersonnelle. Les médias *lato sensu* ont une dimension spectaculaire, (étudiée en détail au chapitre 3) par laquelle on veut retenir le public.

1.5 Technologies numériques

L'avènement de l'électronique permet de fabriquer des circuits électriques contrôlables, composés de portes à deux états, ouvert (1) ou fermé (0), et d'un mécanisme qui modifie leur état au moyen d'impulsions électriques. Les circuits de ce genre ont la capacité d'appliquer des opérations à certaines données, en fonction d'instructions assemblées en programmes. Les instructions et les données y sont représentées en code binaire. Les microprocesseurs interprétant la suite d'instructions des programmes appliquées à une structure de données constituent des machines immatérielles. La réalisation de telles machines est possible à partir du moment où une représentation adéquate peut être traduite en code binaire, et que le contrôle des opérations peut être réduit à un algorithme, c'est-à-dire à une suite régulière d'opérations. On a cru — et on craint encore — que l'ordinateur remplace les humains; c'était ce que préconisaient les tenants de l'intelligence artificielle, dont on examinera les prétentions plus loin. Mis à part certaines sphères d'activité où l'apport humain était minime, les ordinateurs n'ont en réalité pas remplacés les humains, mais les technologies numériques se sont immiscées dans toutes les machines, autrefois mécaniques.

Ne nommons que quelques machines qui aident aux tâches de la production médiatique: le traitement de texte a remplacé la dactylo, la table de montage virtuelle a remplacé la **table de montage** pour le cinéma (la première machine — la Moviola — fut créée à Hollywood en 1922) et la table de mixage pour la vidéo.

1.5.1 Électronique, transistors et circuit intégré

L'électronique est cette partie de la physique qui étudie la production et le comportement des électrons dans le vide, dans les gaz, les semi-conducteurs, etc. ainsi que les applications qui utilisent ces propriétés. Jusqu'au début des années 1950, la composante essentielle des appareils électroniques était le tube à vide.



Celui-ci se comporte comme un amplificateur, en augmentant l'amplitude des oscillations d'un signal électrique. La modulation de l'amplitude des oscillations électriques est le principe de base de l'électronique. Les circuits composés de tubes à vide, appelés ici « lampes », forment un dispositif qui a ses limites. En effet, comme les tubes génèrent beaucoup de chaleur, ils demandent beaucoup d'énergie électrique, sautent fréquemment et occupent beaucoup d'espace. Pour effectuer des calculs au moyen de tubes électroniques, on a mis au point en 1919 un dispositif électronique bistable appelé le « flip-flop ». Il s'agit d'un dispositif à deux triodes qui peut mettre un circuit dans deux états uniquement : ouvert ou fermé. Toute impulsion reçue à l'une des entrées du circuit fait basculer chacune des deux triodes dans l'état inverse. Ce dispositif rend possible le calcul binaire électronique.

Le transistor est un dispositif qui fonctionne de la même façon que la lampe, mais en miniature. Cela permettra de réduire la taille des appareils électroniques, ainsi que la quantité d'énergie électrique nécessaire à leur utilisation. Le transistor est un morceau de silicium, traité de manière à acquérir certaines caractéristiques électriques, à savoir celles d'un semi-conducteur. Comme un interrupteur minuscule, le semi-conducteur ne peut se trouver que dans deux états différents : il laisse le courant passer, ou, au contraire, l'en empêche. Le silicium à l'état pur, lui, n'est pas conducteur. Mais si l'on diffuse des atomes de brome et de phosphore dans des régions bien définies du morceau de silicium, on lui fait perdre sa neutralité électrique. Le courant électrique, ce sont des électrons qui circulent, passant d'une région où ils sont trop nombreux vers une région où ils sont trop peu. L'association du phosphore et du silicium, elle, produit un surplus d'électrons, alors que, au contraire, l'association du bore et du silicium provoque un manque d'électrons. Le courant circule donc de la région contenant du phosphore à la région contenant du bore, mais non en sens inverse.

À la fin des années 1950, on a assemblé plusieurs transistors sur une même plaque de silicium, et intégré les résistances et les diodes qui les relient. Ces assemblages ont été appelés circuits intégrés. Le nombre de transistors que l'on réussira à assembler sur un même circuit, appelé « puce », augmentera de façon exponentielle



jusqu'à aujourd'hui. Le microprocesseur est une forme particulière de circuit, composé de registres de transistors qui peuvent effectuer des séquences d'opérations de calcul logique : addition, soustraction, comparaison, etc. Il s'agit d'un dispositif très simple, mais très rapide. Le développement de l'ordinateur, ce sera une quête de la complexité. Les deux principes de base de l'ordinateur, et, partant, des technologies numériques, sont 1) le programme, c'est-à-dire la séparation des instructions contrôlant le fonctionnement de la machine ou du dispositif lui-même, et 2) le code binaire qui représente les données et le programme.

1.5.2 Machines numériques

Le terme « technologie numérique » désigne communément les machines contrôlées par un ordinateur. Un circuit électronique remplace les roues, les arbres et les engrenages qui assuraient à la fois le transfert d'énergie motrice et le contrôle du processus des machines. Les technologies numériques ne traitent pas le monde physique directement et continûment à l'instar des technologies analogiques étudiées plus haut. Elles *échantillonnent* la réalité physique et l'encodent sous une forme adaptée à leur matérialité. Voyons de quoi cette matérialité est faite. L'unité de traitement, appelée « processeur », est un ensemble de circuits, regroupant des registres composés d'un grand nombre de transistors. Ces transistors sont des composants électroniques qui se comportent comme des interrupteurs. Ceux-ci laissent passer ou interrompent la tension électrique. Les transistors changent d'état sur réception d'une impulsion électrique.

Tout comme les technologies de la communication, les technologies numériques sont basées sur un signal électrique, et doivent recourir à un code médiateur, adapté à leur matérialité. Ce code sera appelé *code binaire*, car il comporte seulement deux symboles — 0 et 1 — qui correspondent respectivement aux deux états du transistor, à savoir fermé ou ouvert. Le terme « digital », également utilisé pour qualifier ce type de code, est emprunté à l'anglais. Le terme « bit », acronyme de *binary digit*, accepté dans toutes les langues, désigne un élément binaire.



Contrairement aux technologies de la communication, dont le rôle consiste à transmettre des messages, les technologies numériques ont pour but d'exécuter et de contrôler l'accomplissement d'un processus. Les technologies numériques prennent la forme de machines matérielles ou immatérielles, contrôlées par un programme d'ordinateur. Pour faire le lien entre le programme et le monde extérieur, les technologies numériques échantillonnent le son, l'image ainsi que d'autres paramètres de l'environnement, et utilisent des techniques d'encodage et de décodage entre le monde analogique et une représentation binaire (et non plus un signal électrique comme pour les technologies de la communication). Le processeur des instructions du programme est lié au monde extérieur, à l'entrée et à la sortie du traitement. À l'interne, le monde extérieur prend la forme de données et de commandes, converties en codes binaires. Le terme « information » est aussi employé pour décrire ces données et commandes ; ainsi, on dira que l'ordinateur est une machine à traiter l'information.

1.5.3 Machines immatérielles

Le lien entre le processeur et le monde extérieur s'établit communément par un clavier et un écran. Les machines seront dites « immatérielles » quand elles se trouveront totalement intégrées à l'ordinateur. La calculette, par exemple, est une machine immatérielle totalement intégrée à l'ordinateur : à l'aide d'un programme approprié, on entre des nombres et des opérateurs à partir d'un clavier, et le résultat est affiché à l'écran. Il en va de même pour le traitement de texte qui remplace la dactylo, et pour le chiffrier qui remplace le livre de comptabilité. Dans ces deux cas, l'ajout d'une imprimante permet de reproduire le résultat — texte ou feuille de calcul — sur papier. Les machines restent « matérielles » quand l'ordinateur est totalement inclus à l'intérieur de la machine, que les boutons, les manettes et les senseurs fournissent les données, et que des relais, des pistons, des moteurs sont activés. Le pilotage automatique d'un avion est un bon exemple de l'intégration d'un ordinateur à l'intérieur d'une machine. Les paramètres du vol sont d'abord fournis au programme qui, suivant les données fournies par les senseurs,



l'altimètre, l'odomètre, le gyromètre, etc., active les ailerons pour ajuster la position de l'appareil à la trajectoire.

1.5.4 Représentation et commandes en code binaire

Contrairement aux technologies analogiques qui étaient en prise directe et continue sur le monde physique, les technologies numériques sont plutôt en prise indirecte avec le réel. Pour pouvoir être traité par un processeur, le monde physique continu doit être échantillonné et encodé en données. La capture d'un signal par échantillonnage consiste à le découper en fines tranches temporelles. Notons que le principe de l'échantillonnage était déjà à la base du cinéma. En effet, un film forme un ensemble de photogrammes, dont la continuité est assurée, lors du rendu, par le défilement des échantillons dans l'ordre de leur succession, et ce à la même vitesse que celle de leur capture.

Pour pouvoir être traité par un processeur, chacun des échantillons doit à son tour être converti en données, exprimées à travers le code binaire. À la sortie du traitement, les données binaires sont décodées et rendues, c'est-à-dire restituées sous leur forme initiale d'onde sonore ou de lumière. À l'aide d'un périphérique approprié, le texte et l'image sont affichés ou imprimés, les sons reproduits par un haut-parleur, etc.

Le lien entre le monde physique et la matérialité de la machine est assuré par le code binaire, qui exprime aussi bien les instructions que les données. Pour en arriver là, il a fallu en passer par plusieurs étapes : le passage des données binaires aux données numériques, le passage des instructions de base du processeur aux langages de programmation, la séparation des programmes et des données, la structuration des données.

1.5.5 Principes du code binaire

Le premier défi de l'informatique a consisté à regrouper les codes binaires en mots, de manière à représenter des données plus complexes, comme les nombres et les lettres de l'alphabet. De binaire, le code utilisé deviendra *numérique*, adjectif qui



donne leur nom à ces nouvelles technologies. Comme pour le morse, on utilisera la mise en séquence des signes binaires pour exprimer un éventail plus large de possibilités. Toutefois, en morse, les regroupements de codes longs et brefs sont de longueur variable et sont délimités par des silences, alors que les regroupements de codes binaires sont réguliers. Le premier regroupement comporte huit codes binaires et est appelé « octet ». En interprétant le code à chacune des positions, on arrive à une table de correspondance qui offre 256 possibilités, de 00000000 à 11111111 en passant par 01100110 et 10010111.

À l'aide d'un octet, on a pu représenter les lettres de l'alphabet et les signes diacritiques nécessaire à l'écriture. On a pu aussi représenter des images à l'aide d'un tableau de points appelés *pixels*. Chacun de ces pixels peut prendre une des 256 couleurs contenues sur une certaine palette. Est ainsi formé un répertoire arbitraire qui associe un code particulier à une couleur. Généralement, le blanc se voit ainsi correspondre le numéro 0, alors que le noir a le numéro 255. Pour représenter l'information contenue dans un octet de code binaire, c'est-à-dire en base deux, on est passé au code octal, c'est-à-dire au calcul en base huit, et à l'hexadécimal, c'est-à-dire au calcul en base seize. Dans ce dernier cas, on utilise les premières lettres de l'alphabet pour désigner les chiffres supérieurs à 9. Ainsi, le nombre 10 est représenté par 0A, 15 par 0F, 16 par 10, 26 par 1A et finalement 255 par FF. Ainsi, un caractère ASCII, le M par exemple, porte le code décimal 77, et le code hexadécimal 4C.

Les processeurs ont continué à évoluer en regroupant plusieurs octets en des « mots » composés d'un multiple octal d'unités binaires : 8, 16, 32, puis 64 et maintenant 128 bits. Cela a permis l'expression de données de plus en plus variées et de plus en plus précises. Ainsi, pour représenter les couleurs d'une image, on est passé d'une gamme de 256 couleurs pour un octet à une gamme de 65 536 couleurs pour 2 octets, puis à une gamme de 16 777 216 couleurs. Le son a donné lieu à une évolution similaire; sa reproduction est bien supérieure en fidélité et en qualité que lorsque les échantillons étaient codés sur 8, 16 ou 24 bits. Pour encoder des nombres qui dépassent le nombre de possibilités des octets réservés, on a mis



au point une représentation fixe, mais à virgule flottante. Le nombre est converti en une unité suivie d'un nombre fixe de décimales. La dernière position doit servir à noter l'exposant qu'il faut appliquer à l'unité pour restituer le nombre initial. Il est clair qu'une telle façon de procéder fait perdre en précision.

1.5.6 Encodage numérique des caractères

La forme extérieure d'un caractère est définie en termes de pixels, en référence à l'espace de l'écran. Il est également défini par une valeur ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*), qui correspond à un nombre décimal unique pour chaque caractère de *a* à *z* et de *A* à *Z*, ainsi que pour les nombres et les quelques signes diacritiques essentiels. Comme le standard était anglophone, 128 positions étaient suffisantes. On obtenait donc un mot mémoire de sept bits, le huitième bit du byte étant consacré au contrôle de la transmission. Pour les autres langues qui comportent des caractères accentués, en l'absence de standardisation, chacun des fabricants de système d'exploitation a assigné les 128 positions suivantes de façon différente. Par exemple, la valeur 142 (8E) affiche le *é* en MacOs, le «*Ä*» en Windows et «*è*» en UNIX. On observe, encore une fois, la prépondérance de la langue anglaise sur le développement de l'Internet.

Une partie de la norme HTML a pour but de permettre l'expression de tous les caractères accentués possibles de toutes les langues occidentales sur toutes les plates-formes disponibles. Comme elle n'adresse pas chaque caractère par un code unique et immuable, cette approche est dite *déclarative*, car l'adressage est remplacé par une déclaration.

Entre des marqueurs qui jouent le rôle de séparateurs, le caractère est décrit au moyen de plusieurs caractères, assemblés suivant une syntaxe rigide. Ainsi, le participe passé du verbe *être*, i.e. *été*, se code en HTML «*été*». Le marqueur de début est le «*&*» et le marqueur de fin est le «*;*». Ainsi, lors de la lecture caractère par caractère d'un fichier, le mode d'affichage des caractères à l'écran par adressage direct s'interrompt lorsqu'est rencontré un marqueur de fin. Les caractères sont alors accumulés jusqu'au marqueur de fin correspondant, et la



sous-chaîne ainsi constituée est utilisée comme une clé dans un tableau d'association avec les caractères accentués. Ensuite, la lecture reprend en mode d'adressage direct.

Les Schémas XML permettent de définir un ensemble de règles visant à décrire et à valider la description de la structure d'un document. Obligatoirement arborescente, la structure est spécifiée au moyen des marqueurs autorisés, de leurs attributs et de leurs relations.

Ainsi, le marquage XML ne s'attache pas à la mise en écran comme cela se passe avec le HTML, mais à la description de la structure du document. Celle-ci pourra être utilisée pour la mise à l'écran, mais aussi pour d'autres opérations de repérage et de construction dynamique de documents.

1.5.7 Encodage numérique des images

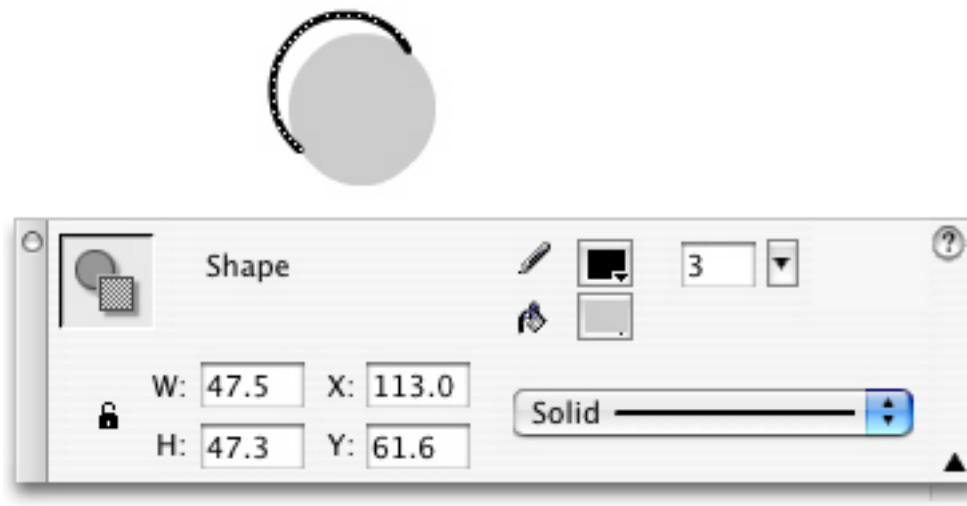
Le codage des images s'opère suivant deux grands paradigmes, la *matrice de points* et la *représentation vectorielle*. La représentation d'une image sous forme de matrice de points (ou *bitmap*) consiste à découper l'image en une grille de carreaux minuscules, qui correspondent chacun à un point lumineux de l'écran : les pixels (pour *Picture elements*). Chacun des pixels se voit associer une position spécifique, exprimée en coordonnées à partir du coin supérieur gauche, coté (0,0), ainsi qu'une valeur dans une palette de couleur. Il s'agit là du format le plus commun pour les images, parce qu'il s'obtient directement à partir d'une table de numérisation ou d'une caméra digitale. Ce format est particulièrement adapté aux images dont les tons forment une gradation continue, comme les photographies ou les images de synthèse, parce la granularité des pixels permet d'encoder des dégradés subtils d'ombre et de couleur.

Le format bitmap se distingue du format vectoriel sur un point important. Le nombre de points d'une image étant fixé pour une taille donnée, la modification de la taille de l'image entraîne automatiquement une modification de sa qualité. Par exemple, si une image de 2 cm x 2 cm d'une résolution de 300 dpi ((la mesure de la densité de points au pouce carré) est agrandie 4 fois, la résolution de l'image



agrandie ne sera plus que de 75 dpi. Photoshop est un logiciel qui permet de travailler les images au niveau du pixel.

Le format vectoriel, lui, est composé de droites et de courbes, définies par des objets mathématiques appelés *vecteurs*, décrits par la valeur de leurs propriétés. Voici, à titre d'exemple, un cercle gris dans un format vectoriel, accompagné d'un inspecteur de propriétés qui en indique la valeur :

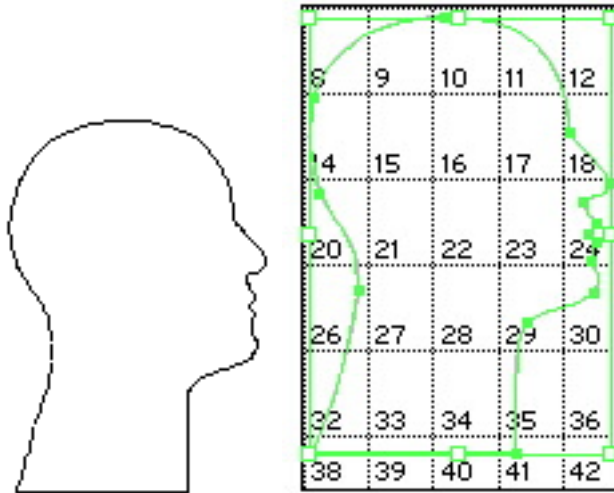


On y trouve 1) les caractéristiques géométriques, ainsi un cercle est décrit par son rayon, 2) l'emplacement par rapport au plan cartésien de l'écran, ce qui permet les emboîtements et les ajointements, 3) les dimensions, 4) la couleur du trait qui en définit le contour et la couleur de son remplissage, et 5) l'épaisseur et le type de trait qui constitue le contour.

Une image vectorialisée est indépendante de la résolution de son affichage, parce qu'elle peut être redimensionnée à volonté pour s'adapter au format écran ainsi qu'à celui, plus précis, de l'imprimé, sans aucune perte de détail ou de clarté. Illustrator, commercialisé par Adobe, est un logiciel qui permet la conception vectorielle. Dans l'illustration ci-dessous, on voit, à gauche, les sinuosités d'une ligne dans le format bitmap, alors qu'à droite, cette image est reportée au format vectoriel à l'aide d'une grille qui permet de relever des informations relatives aux proportions. L'image vectorielle est une série de points qui assemblent des courbes ou des droites.



L'objet ainsi constitué est lui-même compris dans une boîte entourée de poignées qui permettent l'agrandissement ou une n'importe quelle autre altération de la forme globale.



Le codage des images en format bitmap a été lui-même objet d'un codage ou d'un surcodage, dont la fonction est de compresser les données nécessaires à la représentation. Dans le format matriciel, chaque pixel est décrit suivant sa couleur. Ainsi, les zones contiguës de même couleur présentent de grandes redondances, parce que tous les pixels ont la même valeur. Ce n'est pas le format optimum pour contenir l'information. Plusieurs stratégies ont été proposées pour résoudre le problème. Deux d'entre elles ont été retenues pour la publication sur Internet : le format GIF et le format JPEG. Cependant, ces formats de compression d'images dégradent la qualité de l'image. Une fois comprimée, l'image ne peut pas être régénérée.

Le format de compression GIF (*Graphic Interchange Format*) oblige à réduire la résolution à 72 dpi, à savoir celle de l'écran, et ramène toutes les couleurs de l'image à une palette indexée, qui reprend uniquement les 256 couleurs les plus utilisées, auxquelles seront ramenées toutes les autres couleurs. Il est cependant possible de retirer une couleur, et ainsi de produire des images à zones transparentes.



Le format JPEG (*Joint Photographic Expert Group*) a été conçu pour tirer parti des limitations de l'œil humain, et entre autres du fait que les changements de couleur légers sont beaucoup moins perceptibles que les changements légers de luminosité. Le format JPEG permet de sélectionner la qualité d'image désirée, c'est-à-dire le taux de dégradation jugé acceptable, compte tenu de l'économie d'espace de stockage réalisée. La compression s'opère d'une part en éliminant les redondances statistiques, pour ne conserver que les codes les plus courts, accolés aux données les plus fréquentes, et d'autre part en éliminant la redondance subjective; ainsi, la variation locale de couleurs très approchées sera ramenée à une seule couleur médiane.

1.5.8 Encodage numérique de l'audiovisuel

Les formats de compression des images que l'on vient de voir (GIF et JPEG) sont des *formats publics*, dans le sens où n'importe qui peut développer un encodeur et un visualiseur. Le format SWF (*ShockWave Flash*) est, au contraire, un format de fichier vectoriel propriétaire, parce qu'il est utilisé pour des applications réalisées avec le logiciel Flash de Macromedia qui en détient la licence d'exploitation. Ce format permet d'obtenir pour le Web des animations interactives en 2D spectaculaires, et pourtant de poids très faible. La lecture de ces fichiers dans le navigateur nécessite toutefois le téléchargement du *plug-in* Shockwave qui, lui, est disponible gratuitement.

Quant aux formats de scènes et d'animation 3D, il existe plusieurs formats propriétaires, dont Virtools, Shockwave3D, etc. Le VRML –(*Virtual Reality Modeling Language, c'est-à-dire langage de modélisation de la réalité virtuelle*), est une norme publique qui permet la description de scènes en 3D en permettant l'interaction. Deux versions de la norme ont été implantées, VRML 1.0 et 2.0, et VRML97. La description des scènes est complète. Elle comporte 1) le modèle vectoriel premier, composé d'un assemblage de formes géométriques, qui constitue l'armature des objets et de l'environnement et sur laquelle sont appliquées des textures, 2) l'animation des objets, 3) la possibilité d'inclure des personnages, 4) la spécification de propriétés des objets et de l'espace physique, comme les surfaces



dures, les ouvertures d'interaction, 5) la programmation des comportements des personnages en fonction des contraintes rencontrées. Comme le HTML, l'initiative VRML participe à la volonté collective de créer des standards ouverts et publics. Le développement de la norme VRML a été repris par un consortium appelé Web3D, qui est devenu ensuite Extensible 3D (X3D), parce qu'il fait évoluer la norme VRML97 en utilisant la norme XML.

Pour ce qui est de l'audiovisuel, il existe des formats propriétaires, comme, d'une part, QuickTime, qui intègre de nombreux formats de compression et a longtemps été la seule norme sur le marché, et, d'autre part, Real, qui a introduit la diffusion par « streaming », forme de téléchargement continu qui permet la diffusion de très gros fichiers sonores ou vidéo sans transfert de fichier. Mais outre ces deux formes, il existe encore une norme MPEG, qui en est à sa 4^e version, et peut potentiellement intégrer les autres normes et les autres formats. MPEG-4 permet :

- 1) de standardiser la représentation d'unités de contenu sonore, visuel ou audiovisuel considérées comme des « objets médias »; ceux-ci peuvent avoir une origine naturelle, ce qui est le cas lorsqu'ils sont captés par un microphone ou une caméra, ou bien encore être directement générés par synthèse, à l'aide de logiciels de création et de montage;
- 2) d'assembler les objets dans un agrégat appelé *scène audiovisuelle*;
- 3) de *multiplexer*, c'est-à-dire d'envoyer plusieurs objets différents sur un même canal, et de synchroniser les données associées aux différents objets médias, de manière à pouvoir les transmettre sur un canal comme Internet, et enfin,
- 4) de rendre l'interaction possible avec la scène entière.

De plus, cette norme intègre les fonctionnalités du VRML en termes de structures et de fonctionnalités des nœuds de composition des objets. MPEG-4 standardise la représentation des textes et des images 2D et 3D. Les objets peuvent être placés n'importe où dans le système de coordonnées d'une scène, et les transformations sont appliquées aux objets médias pour en changer l'apparence géométrique ou



acoustique. MPEG-4 permet de changer les points de vue et d'écoute de manière interactive en n'importe quel point de la scène.

1.5.9 Langage de programmation

Le deuxième défi de l'informatique a consisté à développer des langages de programmation conviviaux. Cette idée de séparer les mécanismes de la machine et le contrôle des opérations (qui, donc, s'autonomise) était déjà dans l'air depuis un siècle pour les machines analogiques, comme nous l'avons vu plus haut. Les premiers ordinateurs n'étaient que des machines à calculer. D'ailleurs, c'est là le sens premier du terme anglais *computer*. À cette époque, le contrôle des opérations de calcul était inscrit — ou plutôt câblé — directement dans le matériel de l'unité de traitement. Une première généralisation a consisté à concevoir des processeurs neutres quant à leur utilisation. Pour fonctionner, ces processeurs avaient besoin qu'on leur fournisse une séquence d'instructions qui constituaient le programme à accomplir. Comme pour le métier à tisser de Jacquard, le programme permet d'effectuer plusieurs tâches à l'aide d'un même processeur, sans en changer la configuration matérielle. Cela a nécessité l'invention d'une architecture adaptée : au lieu d'être pensés comme des machines à effectuer un calcul spécifique, les processeurs seront conçus comme des machines à effectuer n'importe quelles instructions sur des données. Ainsi, pour réaliser un calcul spécifique ou effectuer toute autre tâche, il faudra décomposer ce calcul ou cette tâche en un algorithme, et exprimer cet algorithme sous forme d'instructions que peut accomplir le processeur.

Les instructions de base, appelées *machine code* en anglais, sont peu nombreuses. Elles régissent les opérations de base du processeur, qui sont de quatre types:

- 1) les instructions arithmétiques;
- 2) les instructions logiques: ces opérations logiques sont utilisées pour les processus de décisions et pour les opérations sur des données non numériques;



- 3) les instructions de déplacement de données: celles-ci permettent de charger des données dans les registres du processeur, ou encore de les placer à une adresse précise de la mémoire;
- 4) les instructions de contrôle qui veillent au bon séquençage des instructions, en effectuant des branchements parmi une série d'alternatives, formulées en termes de conditions.

Par exemple, pour effectuer une opération aussi simple qu'une addition de deux nombres entiers, plusieurs types d'instructions sont mobilisées : l'opération d'addition en tant que telle, et celles qui assurent la gestion matérielle des données dans les registres de la mémoire. Les registres d'une mémoire sont des espaces concrets, constitués de transistors, dotés d'une adresse qui permet d'y accéder directement sans parcourir l'ensemble de la mémoire. Il faut additionner le nombre entier qui se trouve dans le registre 2, au nombre entier qui se trouve dans le registre 1, et remplacer le contenu du registre 1 par le résultat de l'addition. Ainsi, l'instruction de l'addition prendra la forme d'un code numérique décomposable en trois parties; le premier nombre spécifie quelle opération doit être effectuée, le deuxième nombre donne la position où les opérands se trouvent en mémoire ,et le troisième nombre spécifie la position de la mémoire où les résultats doivent être placés.

L'*assembleur* fut le premier langage de programmation. Il a été appelé comme ça parce qu'il facilitait l'assemblage des instructions de base d'un processeur en un programme. En assembleur, on peut utiliser, au lieu du code binaire, des symboles, c'est-à-dire des chaînes de caractères qui remplacent les suites de codes binaires représentant les instructions ou les données. Ainsi on peut utiliser des noms mnémoniques qui désignent de façon explicite les fonctions et les espaces de stockage. C'est ce qui justifie que l'on parle d'un langage: les instructions sont des énoncés, constitués d'opérations et de variables, dont la formulation est validée par rapport aux règles de formation que dicte le compilateur. Quand ils sont chargés par



le processeur, les programmes écrits en assembleur sont convertis en code binaire. Comme l'assembleur reste très près des instructions de base du processeur, chacun des processeurs aura son propre langage assembleur.

La génération suivante de langages de programmation sera *procédurale*. Le FORTRAN — *FORmula TRANslation* — est le premier langage de programmation largement utilisé. Il a été mis au point de 1953 à 1956 par IBM. On l'a surtout utilisé pour résoudre des problèmes mathématiques, ainsi qu'en ingénierie et en science. Le COBOL — *COmmon Business Oriented Language* — a été développé à la fin des années 1950 pour résoudre des problèmes dans le domaine du traitement des données pour le commerce et pour les organisations.

Ces langages, parmi lesquels on retrouve aussi le Basic, le Pascal et le C, sont *génériques*, en ce sens que l'écriture d'un programme peut se faire indépendamment du processeur auquel il est destiné. Les programmes écrits à l'aide de ces langages sont traduits dans les instructions d'un processeur donné à l'aide d'un programme, le « compilateur ». Le compilateur vérifie la syntaxe du programme et diagnostique les erreurs, le cas échéant. Ces langages sont particulièrement adaptés à la description de procédures, car ils proposent une approche structurée. La tâche à accomplir est séquencée en plusieurs modules reliés entre eux. En paramétrant les contextes particuliers d'application, ces modules peuvent être réutilisés plusieurs fois au cours de la procédure.

Cette recherche de la plus grande généralité pour un module s'appelle *fonctorisation*. Plus les modules sont circonscrits, plus la modification ou l'évolution d'un programme est facilitée. En effet, les interventions nécessaires sont toujours ponctuelles, puisque l'on s'est assuré que les instructions répétées soient constituées en module unique. Ces langages offrent un répertoire étendu de commandes et de fonctions, qui permettent des assignations, des branchements conditionnels, des itérations, mais aussi la construction de modules, et les renvois à d'autres modules. Ils rendent possible le contrôle de toutes les ressources de l'ordinateur, telles que la lecture et l'écriture d'un fichier sur disque, l'impression d'un fichier, etc.



1.5.10 Structures et formats de données

Le troisième défi de l'informatique, ce fut de développer des structures et des formats de données complexes qui soient adaptés à la fois à la spécificité de la matérialité à représenter, au traitement que l'on compte y appliquer, et enfin au support sur lequel on veut les conserver. Le terme « fichier » est emprunté au vocabulaire des bibliothèques. Dans ce domaine, il désigne ces armoires à tiroirs remplis de rectangles de carton appelés *fiches*, qui réfèrent aux documents contenus dans la bibliothèque, et qui constituent le catalogue de cette bibliothèque. En informatique, le mot « fichier » désigne la représentation interne d'un ensemble de données de différents types, enregistrées sur une mémoire externe, dont le support est soit magnétique, soit optique. Les fichiers sont toujours composés d'une séquence de codes binaires regroupés en mots.

Certains fichiers sont structurés en format fixe. Ainsi, par exemple, le fichier d'une image de 640 par 480 pixels est composé de 307 200 octets qui représentent la couleur des pixels. Par contre, lorsque le format fixe est utilisé pour contenir des données de longueur variable (comme du texte ou des programmes), l'espace inoccupé pour chaque ligne de longueur fixe est tout de même réservé; l'espace occupé est donc gaspillé. Dans les fichiers contenant du texte, une suite d'octets représente autant de caractères ; ces fichiers sont structurés en lignes.

D'autres fichiers sont de format variable. Le format varie suivant une certaine structure prédéfinie, délimitée par des balises, c'est-à-dire des suites de caractères au statut spécial, comportant des informations différentes, à savoir des séparateurs et des instructions de décodage. Habituellement, le premier octet qui suit un séparateur indique la longueur de l'enregistrement et le type de données en question. Voyons de quoi se compose, par exemple, un fichier renfermant la description vectorielle d'une image. L'image est segmentée en éléments de base : point, ligne, forme fermée, etc. Ces éléments sont enregistrés les uns à la suite des autres, et sont spécifiées les propriétés de chacun d'entre eux, telles leur position, leur grandeur, leur hauteur, leur couleur, etc. Ce type de structure et de format de donnée a été utilisé pour formuler des normes qui permettent la circulation et



l'utilisation de données complexes. C'est ce type de structure qui est utilisée, par exemple, pour le format Postscript. Ce format décrit la mise en forme d'un document pour l'impression avec une plus grande précision que celle que permettraient les matrices de pixels à l'écran. Ce type de structure est inclus (au même titre que d'autres types de structure appropriées) à la production audiovisuelle synchronisée qui constitue le format MPEG décrit plus haut

1.6 Technologies de l'information

Les technologies de l'information se sont développées autour des bases de données, applications informatiques qui permettent de conserver et de traiter de grandes quantités de données. Pour mettre sur pied un système d'information qui repose sur une base de données, il faut constituer un modèle des entités que l'on veut stocker, compatible avec les possibilités qu'offre la base de données. La démarche est analytique: un premier niveau de description concerne les entités en elles-mêmes, décrites en termes de propriétés. Puis les relations que ces entités entretiennent entre elles sont l'objet d'une autre description, le plus souvent au moyen d'un graphique. Comme les capacités des bases de données, la démarche analytique a été raffinée et systématisée. Ainsi, le modèle « entités-relations » a été utilisé pour décrire la structure de l'information, et les traitements effectués sur celle-ci par les divers constituants des organisations, de façon à bénéficier des apports des systèmes d'information. C'est ainsi que la gestion des organisations s'est restructurée autour des principales fonctions du traitement de l'information : la production, le stockage, l'accès et l'échange. Les principes de gestion et les traitements développés dans le secteur des organisations ont par la suite été étendus à toutes les sphères d'activité humaine impliquant de grosses quantités de matière, et notamment à la gestion des documents.

Les technologies de l'information ont aussi connu un développement parallèle à partir d'une autre approche à l'information. Au lieu de l'accès à l'information par requête et appariement (accès qui caractérise les bases de données), cette autre approche permet d'accéder à l'information de manière associative, de manière à



favoriser l'émergence de liens qui unissent les différentes connaissances que proposent différents individus. De cette manière se constitue une « intelligence collective ». C'est l'hypertexte qui permet la navigation à volonté d'un segment de document à un autre.

1.6.1 Bases de données

Les technologies de l'information sont des technologies numériques. Elles s'implémentent donc dans un ordinateur. Mais à la différence des autres technologies numériques, les technologies de l'information traitent non pas les données pour résoudre un problème, mais traitent des données hiérarchisées, des informations organisées en fonction d'une tâche donnée. Nous avons vu précédemment qu'une donnée pouvait se définir comme la représentation symbolique d'une quantité ou d'une qualité, apte à pouvoir être traitée par un ordinateur. L'information, discutée plus loin en détail, n'a pas le même statut, pour les bases de données, que la donnée brute. En effet, une information se définit comme une donnée reliée à une connaissance à propos du monde. Ces données, dotées d'une valeur, peuvent être emmagasinées, communiquées ou traitées avec l'aide de l'ordinateur. Les traitements dont il est ici question sont, d'une part, le *repérage* de données à partir de certains critères fondés sur des catégories, et le *tri* des données à partir de clés déclarées.

Cette technologie n'a pas été générée spontanément, mais dérive de la *Tabulatrice*, machine statistique à carte perforée électrique, proposée en 1889 par Hermann Hollerith (1860-1929) au service américain du recensement. Avant d'être traitées, les données sont transcrites sur des cartes perforées; les opérations sont alors appliquées aux fiches en tenant compte des perforations pratiquées à des endroits précis de la carte. Le passage du courant électrique au travers des perforations faisait avancer d'une graduation l'aiguille d'un totalisateur. Ce mécanisme permettait d'effectuer tous les tris et toutes les extractions possibles en fonction des différentes catégories décrites sur les cartes.



Les technologies de l'information reposent principalement sur une *base de données*. Celle-ci est une extension de la mémoire de l'ordinateur, qui permet au processeur, en cours de traitement, de stocker et d'accéder aux données par le biais d'adresses. La base de donnée sert donc à archiver et à rechercher des informations dans des fichiers d'un type particulier; ainsi, les données qu'elles contiennent sont organisées et référencées de façon à en faciliter la recherche. Les données sont structurées, indépendamment des programmes d'extraction, en différents enregistrements, et chacun de ces enregistrements peut être découpé en différents champs, chaque champ correspondant à une propriété pertinente pour le traitement réservé aux données.

On dit que les données sont *indexées*. Cela veut dire que lors de leur enregistrement sur un support, une table indique l'adresse physique de l'enregistrement et de la valeur d'un champ qui tient lieu de descripteur. Ainsi, par exemple, une base de données des détenteurs de permis de conduire comportera un enregistrement pour chacun des détenteurs, et cet enregistrement sera découpé en différents champs renfermant certaines données : le numéro du permis, le nom de famille, le prénom, l'âge, le sexe, l'adresse, etc. Des tables seront construites pour faciliter le repérage des individus à partir des champs du numéro du permis, du nom et du prénom. Plutôt que de parcourir le fichier du début à la fin, en comparant les enregistrements un à un, afin de déterminer s'ils correspondent à la requête, les bases de données fouillent dans les tables et accèdent directement à l'enregistrement à l'aide de l'adresse trouvée dans la table.

Notons qu'une requête peut consister en l'intersection d'index communs dans plus d'une table; on dira alors qu'il y a *conjonction des critères de recherche*. Les bases de données ont été surtout utilisées dans les organisations et les centres de documentation.

1.6.2 Système d'information et modélisation

Dans les organisations, la base de données est intégrée à un système plus complexe qui fait aussi intervenir des personnes, des procédures administratives et des



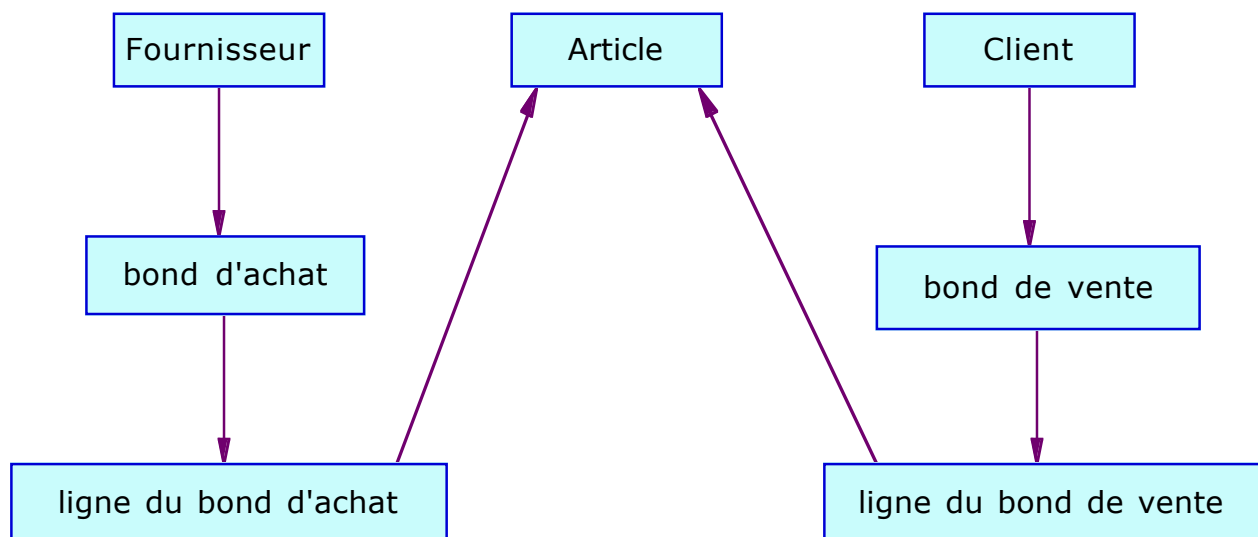
programmes de traitement et de transactions. Un tel système est appelé *système intégré de gestion de l'information*. Ce système assure la collecte, le traitement et la transmission de l'information entre les différentes instances. On peut dire que les technologies de l'information ont révolutionné la gestion des organisations en déplaçant l'accent de la hiérarchie des employés sur les processus. De plus, ces systèmes se révèlent très utiles dans la décision stratégique. L'implantation de ces systèmes dans les organisations ont entraîné une ré-ingénierie de celles-ci. Les goulots d'étranglement du flux de l'information — en d'autres mots, les étapes de traitement improductives — sont détectés et éliminés. En court-circuitant les étapes qui s'avéraient inutiles ou redondantes, ces systèmes ont imposé une rigueur et une cohérence des processus, et ainsi provoqué un changement dans les habitudes de travail des employés, voire, dans certains cas, l'abolition pure et simple de leur poste. C'est ainsi que dans de nombreuses organisations, la partie intermédiaire de la hiérarchie qui assurait la coordination des opérations a été remplacée par le système lui-même. Ces cadres moyens ont été remplacés par des spécialistes de l'informatique de gestion, chargés de déployer, d'entretenir et de faire évoluer le système.

Pour réaliser un système d'information et l'implanter le plus harmonieusement possible dans une organisation, il faut modéliser les données et leurs traitements. La méthodologie d'analyse utilisée est tirée de la théorie des systèmes. Cette branche des mathématiques étudie les propriétés et le comportement d'entités complexes analysables, les systèmes, ainsi que les interactions de séries ou d'ensembles d'entités reliées entre elles et avec leur environnement. Les données qui représentent les différents états des entités sont elles aussi analysées en termes de propriétés, et des relations qu'elles entretiennent les unes avec les autres. La *granularité* d'une donnée, c'est le niveau d'exhaustivité nécessaire et suffisant de sa représentation, qui est déterminé au cas par cas, en fonction de la finalité qu'on assigne au système. Ainsi, une transaction de vente oblige à tenir compte de la marque, du numéro de série de l'objet, ainsi que de son prix, alors que la réparation d'un objet demande que soient spécifiés le détail de chacun de ses composants et leur plan d'assemblage.



Pour illustrer cette notion de système d'information, envisageons un instant le cas d'un entrepôt. Dans un entrepôt, il est vital de disposer de données à jour sur chacun des articles en inventaire. Ces articles sont commandés par des clients en quantités variées. Quand le nombre d'exemplaires d'un article en stock descend en dessous d'un certain seuil, il doit être commandé au fournisseur. Dans la base de données, il sera essentiel de disposer de trois types d'enregistrements : article, fournisseur et client. De plus, comme le traitement principal est la commande d'un article ou de plusieurs articles par client, un autre type d'enregistrement se révèle nécessaire, à savoir le bon de vente. Pour faciliter le traitement, chacun des articles commandés sera l'objet d'un enregistrement à part. Il en va de même pour l'approvisionnement : au fur et à mesure des ventes, un bon d'achat sera constitué pour un fournisseur donné. Chacun des articles commandés au fournisseur sera l'objet d'un enregistrement particulier.

Maintenant, certaines relations sont définies entre les types d'enregistrements. Il y a six relations pertinentes (voir figure 1). Ces relations assurent la cohérence du système. Ainsi, par exemple, il faut établir une relation entre un bon de vente donné et un client : un bon de vente qui n'est pas rattaché à un client est impensable. De plus, si un bon de vente comporte des données divergeant de celles de la fiche du



client, il ne devrait pas être admis dans la base de données.



fig. 2. Types d'enregistrements et leurs relations dans la base de donnée d'un entrepôt

Le système intégré de gestion de l'information sous-tend non seulement les activités de l'entrepôt, mais contient aussi des procédures qui permettent de générer automatiquement des rapports d'activité de toutes sortes. La plus grande partie des traitements de l'informatique de gestion consiste en la mise à jour, la consultation, la recopie, le tri et la fusion, l'interclassement, etc.

1.6.3 Gestion des documents

On l'a vu, les technologies numériques ont bouleversé le mode traditionnel de *production* des documents, en facilitant les modifications après leur saisie ainsi que leur mise en page. Les technologies de l'information, elles, ont profondément modifié la *gestion* des documents, d'abord dans les centres de documentation, puis, ensuite, dans l'ensemble des documents disponibles sur Internet. La prolifération des documents, la complexification des machines et des processus rendus possibles par les formidables capacités de traitement de données des ordinateurs a accru le besoin de documents, ne serait-ce que pour documenter ces machines et ces processus. Par exemple, on cite souvent le cas d'un avion dont la longueur du manuel d'entretien dépasse celle de l'avion lui-même.

La gestion des documents a deux grandes fonctions, toutes deux sous-tendues par les technologies de l'information : *l'archivage des documents* et le *repérage d'informations* dans les documents archivés. Traditionnellement, on archivait les documents dans un endroit physique donné, distingué par sa rangée et sa tablette. On constituait alors une fiche qui comportait les informations signalétiques pertinentes pour le repérage du document : le nom de l'auteur, le titre, la date, etc. Les fiches étaient par la suite rangées dans des tiroirs dans lesquels on devait fureter pour trouver les documents recherchés. Ces fiches devaient être classées selon une information jugée importante, par exemple l'ordre alphabétique du nom de l'auteur, l'ordre chronologique de leur production, le numéro de dossier, etc. A un document correspondait une seule fiche; ainsi, par exemple, si le document



recherché était produit par plusieurs auteurs, il fallait connaître le nom de l'auteur principal. Quand on voulait fournir plusieurs voies d'accès au document, la fiche devait être dédoublée, ce qui compliquait la gestion. En effet, lorsqu'un document était déplacé, toutes les fiches se rapportant à ce document devaient être modifiées.

Les bases de données de la première génération ont été calquées sur ce modèle traditionnel. Elles présentaient déjà de grands avantages: rapidité de traitement de la requête, multiplicité des accès à partir d'une fiche unique par document. Ensuite, il est devenu possible d'utiliser des *patrons de fouille* , ce qui a rendu la recherche plus souple, et ainsi permis de répondre à beaucoup plus de besoins. Un patron de fouille a pour but de restreindre ou d'élargir le repérage. Une des possibilités qu'offrent les patrons de fouille est la *troncature* des termes recherchés. Par exemple, la troncature permet à celui qui cherche un document portant sur la navigation d'utiliser la chaîne tronquée « navig ». La base de données lui donnera alors tous les titres qui reprennent un mot commençant par *navig* , au singulier ou au pluriel. Ainsi, *navigation, navigateur, naviguer* , etc. seront détectés. Une autre possibilité qu'offrent les patrons de fouille est de composer une requête à plusieurs termes, tronqués ou non, et de spécifier si on veut l'un *ou* l'autre, l'un *et* l'autre ou encore l'un *sans* l'autre. Ainsi, les résultats de la recherche peuvent devenir assez exhaustifs: pour trouver les documents portant sur la navigation, notre chercheur peut formuler un patron de fouille du type [navig OU marin OU bateau].

Pour étendre encore les capacités de la recherche de documents, on a développé la pratique de l' *indexation* . Celle-ci consistait à ajouter à la description signalétique du document une description de son contenu à l'aide de mots-clés tirés d'un répertoire, appelé *thesaurus* . Il devenait alors possible d'effectuer des recherches de documents à partir de leur contenu, sans connaître ni les auteurs, ni les titres.

En exploitant pleinement le potentiel des systèmes d'information, il est devenu possible d'intégrer d'autres fonctions à la fonction de repérage de documents, comme la fonction de *gestion de la circulation des documents* . Les documents étant peu à peu disponibles sous un format numérique, le repérage direct d'information dans les documents à partir de certains mots devenait possible.



1.6.4 Le silence et le bruit

Deux mesures ont été développées pour qualifier le rendement d'un système de repérage d'information : le *taux de silence*, c'est-à-dire le nombre de documents ou de segments pertinents qui auraient dû être dépistés, et le *taux de bruit*, c'est-à-dire le nombre de documents ou de segments qui ont été dépistés et qui s'avèrent non pertinents. L'*ajout de descripteurs* est une opération effectuée avant l'archivage des documents pour réduire les taux de silence et de bruit. Cette mesure demande une expertise de lecture de haut niveau et se révèle donc onéreuse. Pour qu'elle soit efficace, il faut que l'ensemble des requêtes possibles soit pris en compte, ce qui est difficile, voire impossible. Lorsque les patrons de fouille sont appliqués sur le texte intégral, la nature textuelle du document engendre à la fois un haut taux de silence et un haut taux de bruit, de sorte que le dépistage d'informations à l'aide d'un moteur de recherche peut être une expérience fort décevante.

Une grande partie du problème vient de la *différence de statut* des termes utilisés lors d'une requête dans un document. Lors d'une requête, on utilise les mots qui désignent les concepts à propos desquels on recherche de l'information. Dans les textes, les concepts ne sont que rarement formulés clairement et explicitement. Ils font l'objet de construction ou de discussion, et les formulations sont trop contextualisées, ou encore trop entremêlées à d'autres concepts. A cause de leur caractère trop local, elles sont peu utilisables directement. En effet, d'une part, ce n'est pas parce qu'un mot est *présent* dans un document que le repérage de ce document est pertinent. De fait, le mot peut être utilisé dans un contexte peu important, ou bien peut simplement servir à expliquer un autre concept. Par exemple, le terme « navire » peut se retrouver dans un document portant sur l'assurance dans l'explication d'une clause contractuelle qui traite des risques relatifs aux moyens de transport. Si l'on recherche de l'information sur la construction des navires, le document sera non pertinent. Plusieurs phénomènes textuels courants viennent embrouiller la recherche des textes pertinents pour une requête donnée : l'anaphore ou la paraphrase remplacent le terme recherché par un autre mot ou par une autre expression, ou l'ellipse escamote complètement le terme. Par exemple, un



document qui traite des « goélettes, ces voitures d'eau », pertinent pour notre chercheur, ne sera pas repéré à l'aide du patron de fouille formulé plus haut.

Cet exemple illustre à la fois la formidable capacité de l'ordinateur à traiter des symboles, mais aussi l'impossibilité d'accéder au *sens* de ces symboles, ce que l'humain fait pourtant avec la plus grande facilité.

1.6.5 Hypertexte et accès associatif à l'information

La façon d'organiser la documentation et d'accéder à l'information qu'elle renferme au moyen d'un système de repérage d'information a été l'objet de virulentes critiques. Celles-ci ont finalement débouché sur un type de technologie de l'information totalement différent : *l'hypertexte*.

Dans son célèbre article (paru dans le *Atlantic Monthly* en juillet 1945) intitulé *As We May Think*, Vannevar Bush, conseiller scientifique du président américain Roosevelt, critique ainsi la pertinence de l'accès à l'information à partir d'un plan de classement où les champs de connaissance sont découpés en disciplines, ou encore à partir de descripteurs tirés d'une nomenclature normalisée des objets de connaissance d'un champ donné. Inspiré par le mouvement cognitiviste et par les neurosciences naissantes, il diminue l'importance de l'organisation hiérarchique de la connaissance par des institutions telles que les bibliothèques, et met l'accent sur les *associations* pertinentes qu'on établit entre les documents lors d'un travail intellectuel. Ces associations constituent un réseau qui vient enrichir les documents. *Memex*, le dispositif qu'il a imaginé, permet aussi bien d'établir les liens jugés pertinents entre divers documents que d'emprunter les liens déjà établis par d'autres utilisateurs.

Theodor Nelson est l'auteur d'un texte dont le titre est traduit ici littéralement de l'anglais : *Machines littéraires. Rapport du projet Xanadu portant sur le traitement des textes, leur publication électronique et l'hypertexte, Thinkertoys [jeux de construction], la révolution intellectuelle de demain et certains autres sujets incluant la connaissance, l'éducation et la liberté (tomorrow's intellectual revolution and*



certain other topics including knowledge, education and freedom). La première édition date de 1981 et l'édition révisée, de 1987.

Le programme informatique qu'il y présente — nommé par lui " Xanadu(tm) hypertext system " — constitue non seulement un moyen de stocker des documents sur support informatique et d'y accéder à la demande, mais aussi une nouvelle forme de littérature, et une pratique en réseau qui pourrait revitaliser la vie humaine. Il s'agit en fait d'une base de données d'un type particulier, dont les enregistrements sont constitués de segments de textes et de liens qui ont été établis entre ces segments. L'utilisateur est face à un dispositif d'affichage qui lui permet de parcourir les segments de texte en empruntant les liens qui ont déjà été établis, mais qui lui permet aussi d'établir de nouveaux liens et d'ajouter de nouveaux segments de textes. Pour qualifier cette activité d'accès à l'information par déplacement volontaire d'un segment à l'autre, on a eu recours à une métaphore provenant du monde marin. De même que jadis, on *naviguait* pour explorer le nouveau monde, on *naviguait* désormais dans un espace informationnel. Ce dispositif induit une nouvelle façon d'écrire à plusieurs égards. Contrairement au texte suivi, le segment d'un hypertexte doit être complet et autonome, car on ne peut compter sur ceux qui viennent avant ou après pour expliciter sa formulation. Cette disposition favorise l'ouverture et le pluralisme du processus de construction de l'hypertexte, puisqu'ils impliquent différents utilisateurs. Ce pluralisme et cette convergence des initiatives individuelles ont modifié la façon de penser la connaissance, celle-ci est conçue comme le produit d'une intelligence collective, comme le soutient Pierre Lévy dans un ouvrage intitulé *L'Intelligence collective. Pour une anthropologie du cyberspace*, paru en 1994.

Par extension, le terme " hypermédia " désigne aussi un espace informationnel qui n'est pas constitué de segments textuels, mais d'écrans qui comportent du texte, des images, de la vidéo, des animations et du son. Hypercard, distribué dès 1987 par Apple, les fabricants du Mac Plus, est le plus connu des logiciels auteurs qui permettent de construire des hypermédias sans avoir nécessairement suivi une formation en informatique. Cela a contribué à faire sortir le concept de l'univers clos



des laboratoires de recherches, et a permis aux concepteurs de contenu de se l'approprier.

1.7 Technologies de l'information et de la communication (TIC)

L'expression *nouvelles technologies de l'information et de la communication* (NTIC), apparue au début des années 1980, veut avant tout exprimer la convergence et l'intégration de plus en plus poussée de l'électronique, de l'informatique et des réseaux de télécommunication. Si cette convergence a été rendue possible, c'est parce que les technologies numériques permettent de représenter, de capter et de distribuer de la même façon un signal analogique ou une information structurée suivant un langage naturel ou artificiel comme celui des bases de données. La nouveauté consiste à intégrer, voire à fusionner des technologies jusque là distinctes, et ainsi à modifier certaines pratiques existantes comme la téléphonie cellulaire, mais surtout à générer des applications inédites, dont la base est formée par un réseau mondial qui relie les ordinateurs entre eux : l'Internet.

1.7.1 Convergence de l'informatique et des réseaux de communication

Les *nouvelles technologies de l'information et de la communication*: l'adjectif *nouvelles* renvoie au culte obsessionnel de la nouveauté qu'entretiennent les médias et les stratégies du marketing. Fonctionnant exclusivement dans le circuit de la valeur, la nouveauté suscite des espoirs nouveaux que ne peuvent faire naître les certitudes connues du passé. Cette qualification est toujours très convoitée en raison de son caractère mythique, et de l'attention, voire de la reconnaissance qu'elle confère à son objet, qui devient, in fine, porteur de progrès. Cette valorisation entraîne un usage abusif voire outrancier de l'adjectif, qui le rend tellement flou qu'il se vide de tout sens. Par ailleurs, cette qualification est trompeuse, car elle fait oublier que les choses ont évolué lentement, à travers de multiples innovations et de nombreux emprunts d'une technologie à l'autre.



Les États-Unis en ont fait un enjeu politique, lorsqu'en 1993, le vice-président Al Gore invite l'humanité à se consacrer à la *Global Information Infrastructure*, projet mobilisateur à l'origine d'un mouvement de globalisation des échanges aussi bien sociaux qu'économiques. Ce n'est pas un hasard si l'infrastructure de cette autoroute de l'information repose en grande partie sur une technologie développée aux États-Unis.

Aujourd'hui, le terme NTIC désigne aussi bien certaines applications ou certains services, comme la télématique ou le commerce électronique, que l'industrie qui en fournit les composantes et les prestations. Il désigne enfin un secteur de l'économie en plein essor, et pour lequel on a développé une bourse spécifique : le NASDAQ.

1.7.2 Téléphonie cellulaire

Parmi les différentes évolutions qu'a connues la téléphonie, soulignons le passage des commutateurs à électro-aimants aux commutateurs numériques implantés dans des circuits intégrés. Cette évolution est rendue possible parce que la transmission d'un signal par l'impulsion électrique sur du fil de cuivre est remplacée par une transmission par impulsions lumineuses, produites par les lasers dans de fins conduits de verre, c'est-à-dire de la fibre optique. La téléphonie cellulaire constitue un changement encore plus radical, car il modifie non seulement le degré d'efficacité de la technologie, mais aussi son usage. En effet, la téléphonie cellulaire ne relie plus un poste fixe au réseau par un fil, mais relie un poste mobile à un réseau de stations hertziennes en zones contiguës. Les appareils sont dotés d'un système de repérage assurant le passage automatique d'une zone à l'autre, ce qui permet au signal de rester continu même si l'appareil se déplace. La révolution dans l'usage est multiforme, et les impacts sur la vie en société sont importants : au lieu d'être partagé par des utilisateurs dans un même lieu, le poste de téléphone devient un objet personnel; la communication à distance entre les personnes en temps réel devient possible peu importe leur localisation; il n'est pas rare de croiser un automobiliste, un passant au téléphone.



1.7.3 Internet

La convergence de l'informatique et des réseaux de télécommunication n'est pas nouvelle, et l'Internet en constitue l'aboutissement. Depuis la fin des années 1960, on pouvait utiliser une ligne téléphonique pour relier des terminaux à un ordinateur central appelé serveur au moyen d'un *modem*, — *modulateur-démodulateur* — pièce d'équipement qui assure la conversion de données numériques en signal analogique, qui prend la forme de modulations de fréquences, et qui, à l'inverse, reconvertit la modulation de fréquence en données numériques. Un *terminal*, constitué d'un écran et d'un clavier, permet d'envoyer et de recevoir des commandes avec un ordinateur central où résident les programmes et les données. Plusieurs terminaux peuvent être branchés sur un même ordinateur, parce que des programmes de partage du temps machine permettent de tenir plusieurs sessions simultanément tout en effectuant d'autres tâches. Au début, chacun des fabricants d'ordinateurs avait ses propres terminaux. Puis s'est imposée une norme, appelée VT100. Cette norme permet entre autres la synchronie des touches du clavier et des caractères affichés avec les codes reçus et envoyés ainsi que la pagination des écrans, ce qui constituait un net progrès sur les écrans déroulants à base de lignes de commande et de retours sous la forme de lignes de texte ou de code.

Internet, ce réseau de réseaux, s'est construit graduellement durant les trente dernières années, d'abord chez les militaires et chez les universitaires avant de desservir la population civile. Le premier réseau aux États-Unis fut un système de surveillance aérienne, appelé SAGE, (*Semi Automatic Ground Environment*). Dans la société civile, le premier réseau fut un système de réservation de billets d'avion, appelé SABRE (*Semi Automatic Business Research Environment*). Puis ArpaNet, l'ancêtre d'Internet, constitua le premier réseau de communication non centralisé. Il était conçu pour résister aux attaques éventuelles des ennemis soviétiques, redoutées dans le contexte de la guerre froide. Les universités de Los Angeles, de Stanford, de Santa Barbara et de l'Utah constituèrent les premiers nœuds de ce réseau.



Internet, c'est un protocole générique d'interconnexion d'ordinateurs, qui permet à tous les ordinateurs branchés sur le réseau de communiquer ensemble. Les premières spécifications d'un protocole générique d'interconnexion et de communication de données inter-ordinateur remontent à 1974. Le programme de contrôle de transmission (*Transmission Control Protocol*, ou *TCP*), développé par Vinton Cerf et Robert Kahn, reposait sur deux principes : découper les fichiers en *paquets* et acheminer les paquets à l'ordinateur destinataire en passant par une série d'ordinateurs situés entre les deux.

Les paquets sont des segments de fichiers qui sont numérotés et qui portent l'adresse de l'expéditeur et du destinataire. Chacun des ordinateurs du réseau peut contribuer à la transmission de paquets, de sorte que les paquets d'un même fichier peuvent prendre plusieurs chemins différents. Donc, si une partie du réseau est détruite, les paquets peuvent quand même être acheminés. Le protocole IP (*Internet Protocol*) est venu généraliser les différents types de programme de contrôle de transmission propres à certains réseaux qui s'étaient développés en parallèle. Ce protocole permet, au début, de créer une passerelle entre Arpanet et Csnet (*Computer and Science Network*), puis petit à petit, les autres réseaux vont graduellement s'intégrer à l'Internet. Le protocole IP permet cette intégration en standardisant le numéro qui identifie de façon unique les ordinateurs branchés au réseau. Une adresse IP comporte quatre nombres séparés par des points. Le premier identifie le pays, le deuxième identifie l'organisation, le troisième un certain segment du réseau interne et, enfin, le quatrième identifie un appareil en particulier.

Le système UNIX, développé au début des années 1980, est un système d'exploitation qui incorpore le protocole IP. Il est le signe d'une convergence achevée entre l'informatique et les télécommunications. À partir d'un terminal ou d'un programme d'émulation de terminal, il devient possible de tenir des sessions parallèles sur plusieurs ordinateurs branchés au réseau et d'échanger des données entre eux.



Enfin, le système des noms de domaines (*Domain Name System*, ou DNS), introduit en 1984, vient régir l'utilisation des adresses IP, en établissant une nomenclature plus explicite pour les adresses, composées de chaînes de caractères décrivant récursivement les domaines, les sous-domaines et les ordinateurs. L'idée du découpage en sections est conservée; ainsi, par exemple, l'adresse COMM.UQAM.CA désigne un ordinateur qui appartient au sous-domaine UQAM, lui-même sur le domaine national CA.

Avec Internet, l'ordinateur est devenu une machine à communiquer. Un nouveau champ d'investigation est ainsi apparu dans la discipline des communications : les *communications médiatisées par ordinateur* (CMO). Moins utilisé aujourd'hui qu'hier, le terme *télématique*, contraction de *télécommunications* et *informatique*, désignait une gamme variée de services de deux types différents : les communications interpersonnelles individuelles ou en groupe, en direct ou en différé, et l'accès à des systèmes d'informations personnelles, comme le compte bancaire, et à de l'information de masse, comme les bases de données. Deux exemples de services télématiques : le Minitel en France, qui offre toutes sortes de services transactionnels tarifés à la pièce sur des terminaux adaptés fournis gratuitement, qui vont de la consultation d'annuaires téléphoniques à la réservation de billets de train en passant par la messagerie rose, et *America On Line* (AOL) qui offre en Amérique une gamme de services comparables sur un ordinateur personnel, mais par abonnement.

1.7.4 Les services de communication

Voyons maintenant les principaux types de services communicationnels qui ont pris naissance dans le contexte de la télématique, et qui se retrouvent maintenant gratuitement sur Internet, une fois la connexion opérée. Il y a, d'une part, les services de communication *asynchrones*, c'est-à-dire qui n'exigent pas la présence simultanée des participants, à savoir le courrier électronique (service 1), les listes de distribution (2), les forums d'information et de discussion (3), et l'échange de fichiers (4). Les services *synchrones*, en revanche, exigent la participation simultanée de tous les participants : les *conversations* (5), traduction littérale de



chat, et les visioconférences (6). Tous ces services convergent en un service unique et général qui ou bien remplace les autres, ou bien les intègre : les pages du *World Wide Web* (7). Le dernier service (8) est des plus importants : il concerne les moteurs de recherche.

Tous ces services de communication permettent de regrouper autour de thématiques variées des personnes dispersées partout dans le monde, pour autant qu'elles aient accès à un ordinateur branché sur Internet. Ces regroupements constituent alors des groupes d'intérêt ou, en d'autres mots, des communautés *virtuelles* puisque ses membres sont dispersés, plus ou moins stables, et dont les échanges s'opèrent exclusivement par Internet.

Examinons maintenant plus en détails chacun de ses services.

1) Le courrier électronique (ou *e-mail*, contraction de *electronic mail*) ou *courriel* en français (contraction française équivalente) a été formalisé au début des années 1970. Il adopte la forme la plus simple de communication car il est calqué sur le système postal connu et établi depuis plusieurs siècles. Transposé dans le contexte d'Internet, un message est un fichier contenant du texte qui prend la forme hybride d'une lettre et du genre de mémo qui circulent dans les organisations. Ces fichiers comportent des champs obligatoires : le destinataire, l'expéditeur, le sujet et le corps du message. Il est aussi maintenant possible d'adjoindre au message des fichiers d'autres types. Les adresses, normalisées, sont formées à partir de l'identité du possesseur de la boîte aux lettres, séparé du nom de domaine du serveur par le célèbre caractère « @ », nommé *arobas*. Si l'identité est composite, les différentes parties sont séparées par des points, tout comme les constituants de l'adresse physique. La conception, l'envoi, la réception et la gestion des messages s'opèrent à l'aide de programmes de courriers qui interagissent avec une boîte aux lettres sur un serveur. Les courriels peuvent faire l'objet d'une réponse ou d'un réacheminement vers d'autres destinataires et peuvent être classés dans différents répertoires. Enfin, un message est envoyé à l'expéditeur dans le cas où le message ne peut être acheminé intégralement à son destinataire.



2) La liste de distribution (*listserv*) constitue un moyen élémentaire de communication de groupe. Très simple, ce genre de liste est fondé sur les principes du courrier électronique, mais intègre la fonctionnalité de la liste de distribution. Une adresse de courrier électronique est attribuée à la liste de distribution. Les intéressés peuvent s'abonner à la liste et annuler leur abonnement; et tous les messages envoyés à la liste sont automatiquement envoyés à tous les abonnés. La liste de distribution est souvent gênante pour les abonnés, car elle génère un volume très important de courriels qu'il est parfois difficile de distinguer de ceux qui nous sont personnellement envoyés.

3) Les forums d'information (*newsgroups*) ont été formalisés à la fin des années 1970 puis adaptés à TCP/IP en 1986. Il ont pris plusieurs noms, variant en fonction du rôle communicationnel qu'on lui faisait jouer : babillards électroniques, forums de discussion, messageries. Ces forums constituent des messageries publiques maintenues par plusieurs serveurs en miroir; leur contenu est à chaque fois identique car certaines procédures permettent de propager les ajouts sur chaque serveur. L'utilisateur ne reçoit pas les messages, mais va les consulter sur le serveur en indiquant l'adresse du groupe de son choix. La structure des groupes d'intérêts est arborescente; par conséquent, la nomenclature doit être hiérarchique. Le premier mot, qui constitue le descripteur le plus général, appelée racine d'intérêts majeurs, est suivi d'un certain nombre de niveaux qui constituent autant de groupes emboîtés, de plus en plus spécifiques; le dernier mot à droite est le descripteur spécifique du groupe. Ainsi, par exemple, le groupe « `rec.aquaria.freshwater.goldfish` » désigne un sous-sous groupe qui s'intéresse à une sorte spécifique de poisson, à l'intérieur d'un sous-groupe consacré aux aquariums d'eau douce, etc. De plus, les messages échangés peuvent être liés plus intimement les uns aux autres; par exemple, une question est liée aux réponses qu'elle a suscitées. Ce service est préférable aux listes de distributions, mais comme tous les messages doivent être consultés lorsqu'on recherche une information en particulier, ce service doit être complété par un moteur de recherche.



4) L'échange de fichiers entre un ordinateur client et un ordinateur serveur qui sert de dépôt s'opère à l'aide d'un protocole de transfert de fichier FTP (*File Transfer Protocol*) de type client-serveur, sur Internet. Lors de la liaison du logiciel client à un logiciel serveur, l'identification explicite de l'utilisateur et un mot de passe secret sont demandés afin de déterminer si la personne qui veut établir un lien est autorisée à établir la connexion avec le serveur. À partir du nom qui lui est fourni, le serveur déterminera quels fichiers sont accessibles à la personne et quelles actions il est autorisé à effectuer sur ces fichiers: les télécharger, y ajouter des données, les modifier ou les retirer.

Sur le serveur, les fichiers sont inclus dans des répertoires qui peuvent eux-mêmes être inclus dans d'autres répertoires. Le logiciel client permet de se déplacer dans cette structure hiérarchique, de la modifier et d'échanger des fichiers. Les fichiers sont généralement compressés afin d'occuper le moins d'espace possible, de façon à réduire au minimum le temps de connexion. Ils sont aussi encodés de façon à pouvoir être envoyés sur Internet, soit en code binaire, soit en code texte, mais uniquement à l'aide des 127 caractères de l'ASCII. L'échange de fichiers est une matérialisation de l'idéologie du partage et de la gratuité d'Internet; les serveurs permettent un accès anonyme aux fichiers offerts en partage. Certains logiciels ou ajouts (*plug-in*) à des logiciels existants proviennent de développeurs indépendants qui mettent au service de la collectivité leurs connaissances et leur savoir-faire en informatique.

C'est ainsi qu'est apparu le terme *shareware*, contraction de *shared software*, littéralement traduit en français par *partagiciel*. Les plus ardents défenseurs de cette idéologie du partage constituent un genre inédit d'utilisateurs, qui, sans être des programmeurs, sont néanmoins des utilisateurs assez avertis et assez formés pour pouvoir assembler eux-mêmes les modules de leur environnement logiciel et pour l'adapter à leurs besoins. La communauté qui gravite autour du système d'exploitation LINUX est le meilleur exemple de cette idéologie. Une autre communauté qui rassemble beaucoup plus de monde est celle des personnes qui partagent des fichiers musicaux encodés selon la norme MP3. Le répertoire des



pièces musicales de chacun des utilisateurs branchés au réseau devient accessible aux autres utilisateurs, ce qui permet le partage, libre de droits, des pièces musicales.

5) Les conversations (*chats*) sont des services qui permettent à deux ou plusieurs personnes reliées à l'Internet de communiquer entre elles de façon synchrone. L'idée est simple : chacun des utilisateurs peut participer à la conversation en envoyant du texte au serveur, et les participations de chacun sont diffusées par le serveur à tous les participants. Les conversations peuvent être publiques ou privées lorsque l'accès est réservé à certains participants. Ce service permet une véritable communication interpersonnelle, laisse la place à la spontanéité de toutes parts, et à une progression émergente du contenu au gré des échanges; il offre aussi la possibilité d'interrompre ou d'anticiper la prise de parole. Ce service permet d'amorcer ou d'entretenir de véritables liens sociaux. En même temps, il favorise les contacts sociaux de nature sensuelle, anonymes et ludiques, les participants utilisant un pseudonyme et se forgeant littéralement une identité, ce qui engendre de nouvelles formes de sociabilité, fantasmatiques et dénuées de responsabilité. Certains logiciels permettent d'organiser des visioconférences; les personnes dotées d'une caméra et d'un microphone peuvent alors communiquer entre elles en temps réel au moyen d'images et de son. Ce dernier service n'est pas très développé en raison de l'importance de la largeur de bande nécessaire pour un rendu de qualité et un délai de transmission acceptables.

6) Le *World Wide Web* est le service le plus achevé de la télématique parce que ni la forme, ni la structure, ni les usages des fichiers ne sont déterminés à l'avance. En réalité, il faudrait parler de média à part entière plutôt que de service. Pourtant, le *World Wide Web* se réduit techniquement à un simple service d'envoi sur requête de fichiers comportant des pages-écrans à afficher, appelées « pages WEB ». Proposé au début des années 1990, ce service a connu un essor sans précédent tout au long de la décennie pour enfin devenir le support universel de tous les services télématiques. Sa puissance vient de ce qu'il intègre le concept d'hypertexte, proposé par Ted Nielson, qui permet d'établir fonctionnellement des liens associatifs



entre des pages WEB. Le *World Wide Web* tire le meilleur parti de la communication client-serveur, parce que la connexion n'est plus continue, mais ponctuelle, et que le temps de connexion est réduit au minimum pour soumettre une requête au serveur et pour que celui-ci envoie la page WEB demandée; la consultation de la page WEB est effectuée localement sans lien externe. Ainsi, cliquer sur une certaine zone d'une page WEB provoque la requête, le chargement et l'affichage d'une autre page WEB qui y était associée. Cette action, par un emprunt au monde maritime, a été appelée « navigation ».

Chacun de ces fichiers est identifié par une adresse dont la forme suit une nomenclature normalisée (*URL: uniform resource localisation*). Ses différents éléments, séparés par des points, sont les suivants (de gauche à droite) a) le type de service — HTTP:// pour les pages WEB —, b) le nom du serveur associé à l'adresse IP et, séparés par des obliques, c) le ou les répertoires imbriqués, d) le nom du fichier suivi d'une extension imposée - HTM ou HTML. Les URL permettent d'établir des liens entre des fichiers qui peuvent se trouver sur des serveurs différents; ainsi l'utilisateur aura une impression de continuité entre les pages affichées quand bien même elles se trouvent sur des serveurs distincts.

Pour optimiser le transfert des fichiers et pallier la restriction des 127 caractères ASCII pour les textes, au lieu de recourir à la compression et à l'encodage, une stratégie différente a été déployée : le balisage (*mark-up*) à partir d'un langage de description. Ce *langage de balises*, appelé HTML (*hypertext mark-up language*), permet, lorsqu'il est interprété par un logiciel client, de reconstituer des documents identiques sur les ordinateurs de n'importe lequel fabricant, et ce malgré leur complexité. Les balises sont de deux types : elles se trouvent soit à l'intérieur, soit à l'extérieur des mots du texte. À l'intérieur des mots, elles permettent d'afficher d'autres caractères que les 127 caractères primitifs, surtout des voyelles accentuées. Pour ce faire, on place entre les méta-caractères « & » et « ; » une formulation littérale du caractère. Ainsi, par exemple, « Eacute » symbolise le caractère e majuscule accent aigu. À l'extérieur des mots, les balises bornées par les méta-caractères « < et > » sont toujours doubles. Elles indiquent le début et la



fin du segment qui fait l'objet d'une description particulière. Ainsi, un segment se trouvant entre les balises <A> et sera analysé comme l'ancrage d'un lien hypertexte. Ces balises servent à décrire une mise en forme du texte, à établir des liens avec d'autres pages WEB, à inclure des images fixes ou animées, des vidéos, des sons, et même à spécifier un type de comportements interactifs. Les pages WEB sont habituellement regroupées en un site, et pour y accéder, on passe généralement par une page d'accueil qui donne des informations sur le site et permet d'accéder aux pages qu'il contient.

7) Les moteurs de recherche constituent un service essentiel de l'Internet pour pouvoir repérer les ressources disponibles pour une certaine requête. Ces services sont offerts sur des sites WEB. Un moteur de recherche représente une base de données d'un type particulier. D'un côté, une procédure automatisée parcourt les différents serveurs et repère les pages WEB et les messages envoyés dans les forums. Cette procédure inscrit dans une base de données chacun des mots des contenus rencontrés, associé à l'adresse de la page ou du message correspondant. Les requêtes, elles, sont composées d'un mot ou de plusieurs mots, assemblés par des connecteurs qui généralisent les recherches — *un des* mots fournis doit se trouver dans la page — ou au contraire les restreignent — tous les mots fournis doivent se trouver dans la page. La recherche se fait dans la base de données, et les adresses pertinentes sont fournies au requérant. Celles-ci peuvent être ordonnées en fonction du nombre d'occurrences du mot dans le document, ou encore en fonction de la place occupée dans la structure (le mot faisant partie du titre ou d'un des sous-titres ou pas).

1.7.5 Applications inédites

Ces dernières années, l'utilisation des services de base développés à partir des technologies de l'information et de la communication s'est répandue de façon fulgurante. Ainsi, des pratiques réservées à quelques facultés d'université sont maintenant courantes dans toutes les organisations, et ce dans tous les secteurs de l'activité professionnelle et de la vie privée. Les TIC ont aussi fait émerger des applications inédites sur lesquelles se fonde une bonne partie de l'économie



actuelle. Les guichets automatiques permettent d'opérer des transactions financières avec la plupart des banques par interconnexion des réseaux. L'échange de documents informatisés (EDI) remplace les échanges sur papier dans les transactions financières avec les clients, les sous-traitants ou les fournisseurs ; cette interconnexion permet d'introduire le "juste à temps", concept fondé sur la rapidité des échanges. Le télétravail connecte les employés à leur organisation par les services Internet, ce qui leur permet de participer pleinement aux activités de l'organisation, à travers des interventions directes sur son système d'information. La domotique permet la gestion à distance des immeubles, de la sécurité, de la consommation d'énergie, etc. Le commerce électronique permet à un fournisseur d'opérer des transactions en étant directement en ligne avec ses clients, sur un mode libre accès, à l'aide du catalogue et d'un panier de provision virtuel à remplir. Le multimédia interactif utilise en partie les TIC, mais se caractérise par une forme et par un usage particuliers, examinés dans la section suivante.

Les technologies de l'information et de la communication ont profondément modifié les réalités humaines et sociales, en permettant une maîtrise plus immédiate du temps et de l'espace. Le concept de *temps réel* bouscule les échelles habituelles du temps; je n'attends pas, j'agis et le résultat est immédiat. La mobilité matérielle et informationnelle que procurent les TIC nous confère une plus large autonomie. L'interconnexion des bases de données et des individus étend les capacités cognitives. Cependant, l'accès à toute l'information ne remplace pas la compétence prérequis par son utilisation, qui consiste à savoir quelle information demander et quel usage en faire. Les TIC ont généré de nouvelles obsessions: être continuellement joignable, vivre devant tout le monde, rendre sa vie privée publique via les *Webcams*, ces caméras vidéo qui diffusent en temps réel sur le WEB.

1.8 Le multimédia interactif

La spécificité du multimédia interactif par rapport aux technologies de l'information et de la communication est difficile à saisir. Cette difficulté vient en partie de ce que le multimédia interactif emprunte en partie ses formes, ses constituants, ses usages



aux services offerts par les TIC. Le multimédia interactif relève des technologies de l'information et de la communication car il permet l'utilisation simultanée de plusieurs types de données numériques (textuelles, visuelles et sonores) à l'intérieur d'une même application ou d'un même support, et ceci en y intégrant l'interactivité propre à l'hypermédia. La différence essentielle entre les TIC et le multimédia interactif est que les premiers offrent des services et des applications, alors que le multimédia interactif participe de la représentation d'un contenu.

La spécificité du multimédia interactif ne vient donc pas tant de ce que plusieurs médias s'y retrouvent synchronisés (texte, images fixes ou animées, son) mais de ce qu'il intègre du matériel typographique et audiovisuel pour en faire un média à part entière. Le terme *média* désigne les substrats, les supports physiques d'inscription et les techniques de diffusion de masse, de pratiques culturelles qui couvrent un large spectre, allant des moyens de transmission de l'information, à la narration d'une histoire vraie ou imaginée, en passant par l'expression artistique et toutes les formes de divertissement.

Contrairement à tous les autres médias connus, ce média est interactif.

L'interactivité est conçue d'abord comme l'extension d'une pratique de contrôle qui se trouve déjà exercée en informatique: l'utilisateur fait exécuter une tâche par l'ordinateur, choisit les commandes logicielles appropriées et leur succession en fonction de ses objectifs propres. De même, dans le domaine de l'audiovisuel, l'utilisateur peut avancer, reculer, adopter la vitesse normale, une vitesse accélérée, etc. sur un enregistrement. Ou encore, il peut changer la fréquence de réception et ainsi changer d'émission sur une bande passante.

Sur le plan restreint du traitement de l'information, l'interactivité, c'est la capacité de l'utilisateur à accéder au contenu de façon non linéaire. Le concept de *linéarité* est incontournable; au plan cognitif, notre attention baisse lorsque trop de stimuli se présentent simultanément; on assimile les informations les unes après les autres. Il faudrait plutôt dire que l'accès au contenu est *libre*, voire *sous-déterminé*. En fait, il se joue là un renversement complet : la séquentialité des éléments de contenu est non plus le fait de l'auteur, mais de l'interacteur, dont le rôle est singulièrement



étendu: il ne doit plus uniquement comprendre les contenus qui lui sont présentés, mais sélectionner et ordonner ces contenus. Dans le multimédia interactif, l'interactivité n'est pas uniquement fonctionnelle, mais aussi immersive.

L'interactivité inclut alors les deux sens de la communication personne — monde représenté. Le document numérique produit des stimulations sensorielles en guise de réponse à une action participative de l'utilisateur à travers des prothèses, guidée la plupart du temps par ce qu'il perçoit. Au lieu de parler d'accès à l'information à partir d'une arborescence, on parlera plutôt d'expérience immersive dans un monde, d'où le terme *réalité virtuelle*.

Pour rendre compte de l'avènement du multimédia interactif, il faut défaire patiemment les nœuds enchevêtrés de deux histoires auxquelles sont consacrés les deux chapitres suivants, à savoir celle de l'automate, qui permet de comprendre la spécificité du substrat médiatique et, conjointement, celle du spectacle, défini comme fondement de la représentation, ce qui permettra de comprendre les pratiques culturelles.

1.9 Bibliographie

Baudet, Jean, *De l'outil à la machine : histoire des techniques jusqu'en 1800*, Paris : Vuibert, 2003, 346 p.

Beltran, Alain et Pascal Griset, *Histoire des techniques au XIXe et XXe siècles*, Paris : Armand Colin, 1990, 190 p.

Destrée, Annette, *Histoire des techniques*, Bruxelles : Meddens, 1980, 210 p.

Gille, Bertrand, *Histoire des techniques : technique et civilisations, technique et sciences*, Paris : Gallimard (Encyclopédie de la Pléiade), 1978, 1652 p.

Jacomy, Bruno, *Une histoire des techniques*, Paris : Éditions du Seuil, 1990, 366 p.

Sénécal, Michel, *Médias, technologies et réseaux, de la camera obscura aux balises de l'inforoute*, Sainte-Foy : Presses de l'Université du Québec, 1996, 389 p.

Strandh Sigvar. *Machines, Histoire illustrée*, Paris, Draeger, 1979, 239 p.

