

**PHILOSOPHIE DE LA CONCEPTION AVEC LES
NOUVEAUX OUTILS INFORMATIQUES**

A thesis submitted to
the Faculty of Graduate Studies and Research
in partial fulfilment of the requirements of the
degree of Master in Architecture (Design)

rédigée par
Dominique Dubuc, arch.

présentée à
Ricardo Castro, prof.

**School of Architecture
McGill University, Montréal
© Dominique Dubuc, août 1993**

Nom

Dissertation Abstracts International est organisée en catégories de sujets. Veuillez s.v.p. choisir le sujet qui décrit le mieux votre thèse et inscrire le code numérique approprié dans l'espace réservé ci-dessous



U·M·I

SUJET

CODE DE SUJET

Catégories par sujets

HUMANITÉS ET SCIENCES SOCIALES

COMMUNICATIONS ET LES ARTS

Architecture	0729
Beaux arts	0357
Bibliothéconomie	0399
Cinéma	0900
Communication verbale	0459
Communications	0708
Danse	0378
Histoire de l'art	0377
Journalisme	0391
Musique	0413
Sciences de l'information	0723
Théâtre	0465

EDUCATION

Generalites	515
Administration	0514
Art	0273
Colleges communautaires	0275
Commerce	0688
Economie domestique	0278
Education permanente	0516
Education prescolaire	0518
Education sanitaire	0680
Enseignement agricole	0517
Enseignement bilingue et multiculturel	0282
Enseignement industriel	0521
Enseignement primaire	0524
Enseignement professionnel	0747
Enseignement religieux	0527
Enseignement secondaire	0533
Enseignement special	0529
Enseignement superieur	0745
Evaluation	0288
Finances	0277
Formation des enseignants	0530
Histoire de l'education	0520
Langues et litterature	0279

Lecture	0535
Mathematiques	0280
Musique	0522
Orientation et consultation	0319
Philosophie de l'education	0998
Physique	0523
Programmes d'etudes et enseignement	0727
Psychologie	0525
Sciences	0714
Sciences sociales	0534
Sociologie de l'education	0340
Technologie	0710

LANGUE, LITTÉRATURE ET LINGUISTIQUE

Langues	
Generalites	0679
Anciennes	0289
Linguistique	0290
Modernes	0291
Litterature	
Generalites	0401
Anciennes	0294
Comparee	0295
Medievale	0297
Moderne	0298
Africaine	0316
Americaine	0591
Anglaise	0593
Asiatique	0305
Canadienne (Anglaise)	0352
Canadienne (Française)	0355
Germanique	0311
Latino americaine	0312
Moyen orientale	0315
Romane	0313
Slave et est europeenne	0314

PHILOSOPHIE, RELIGION ET THÉOLOGIE

Philosophie	0422
Religion	
Generalites	0318
Clerge	0319
Etudes bibliques	0321
Histoire des religions	0320
Philosophie de la religion	0322
Theologie	0469

SCIENCES SOCIALES

Anthropologie	
Archeologie	0324
Culturelle	0326
Physique	0327
Droit	0398
Economie	
Generalites	0501
Commerce Affaires	0505
Economie agricole	0503
Economie du travail	0510
Finances	0508
Histoire	0509
Theorie	0511
Etudes americaines	0323
Etudes canadiennes	0385
Etudes feministes	0453
Folklore	0358
Geographie	0366
Gerontologie	0351
Gestion des affaires	
Generalites	0310
Administration	0454
Banques	0770
Comptabilite	0272
Marketing	0338
Histoire	
Histoire generale	0578

Ancienne	0579
Medievale	0581
Moderne	0582
Histoire des noirs	0328
Africaine	0331
Canadienne	0334
Etats Unis	0337
Europeenne	0335
Moyen orientale	0333
Latino americaine	0336
Asie, Australie et Oceanie	0332
Histoire des sciences	0585
Loisirs	0814
Planification urbaine et regionale	0999
Science politique	
Generalites	0615
Administration publique	0617
Droit et relations internationales	0616
Sociologie	
Generalites	0626
Aide et bien etre social	0630
Criminologie et etablisements penitentiaires	0627
Demographie	0938
Etudes de l'individu et de la famille	0628
Etudes des relations interethniques et des relations raciales	0631
Structure et developpement social	0700
Theorie et methodes	0344
Travail et relations industrielles	0629
Transports	0709
Travail social	0452

SCIENCES ET INGÉNÉRIE

SCIENCES BIOLOGIQUES

Agriculture	
Generalites	0473
Agronomie	0285
Alimentation et technologie alimentaire	0359
Culture	0479
Élevage et alimentation	0475
Exploitation des peturages	0777
Pathologie animale	0476
Pathologie végétale	0480
Physiologie végétale	0817
Sylviculture et faune	0478
Technologie du bois	0746
Biologie	
Generalites	0306
Anatomie	0287
Biologie (Statistiques)	0308
Biologie moleculaire	0307
Botanique	0309
Cellula	0379
Ecologie	0329
Entomologie	0353
Genetique	0369
Limnologie	0793
Microbiologie	0410
Neurologie	0317
Oceanographie	0416
Physiologie	0433
Radiation	0821
Science veterinaire	0778
Zoologie	0472
Biophysique	
Generalites	0786
Medicale	0760

Geologie	0372
Graphysique	0373
Hydrologie	0388
Mineralogie	0411
Oceanographie physique	0415
Paleobotanique	0345
Paleoecologie	0426
Paleontologie	0418
Paleozoologie	0985
Palynologie	0427

SCIENCES DE LA SANTÉ ET DE L'ENVIRONNEMENT

Economie domestique	0386
Sciences de l'environnement	0768
Sciences de la sante	
Generalites	0566
Administration des hopitaux	0769
Alimentation et nutrition	0570
Audiologie	0300
Chimiotherapie	0992
Dentisterie	0567
Developpement humain	0758
Enseignement	0350
Immunologie	0982
Loisirs	0575
Medecine du travail et therapie	0354
Medecine et chirurgie	0564
Obstetrique et gynecologie	0380
Ophthalmologie	0381
Orthophonie	0460
Pathologie	0571
Pharmacie	0572
Pharmacologie	0419
Physiotherapie	0382
Radiologie	0574
Sante mentale	0347
Sante publique	0573
Soins infirmiers	0569
Toxicologie	0383

SCIENCES DE LA TERRE

Biogeochimie	0425
Geochemie	0996
Geodesie	0370
Geographie physique	0368

SCIENCES PHYSIQUES

Sciences Pures	
Chimie	
Generalites	0485
Biochimie	487
Chimie agricole	0749
Chimie analytique	0486
Chimie minerale	0488
Chimie nucleaire	0738
Chimie organique	0490
Chimie pharmaceutique	0491
Physique	0494
Polymeres	0495
Radiation	0754
Mathematiques	0405
Physique	
Generalites	0605
Acoustique	0986
Astronomie et astrophysique	0606
Electronique et electricite	0607
Fluides et plasma	0759
Meteorologie	0608
Optique	0752
Particules (Physique nucleaire)	0798
Physique atomique	0748
Physique de l'etat solide	0611
Physique moleculaire	0609
Physique nucleaire	0610
Radiation	0756
Statistiques	0463

Sciences Appliqués Et Technologie

Informatique	0984
Ingenierie	
Generalites	0537
Agriculture	0539
Automobile	0540

Biomedicale	0541
Chaleur et thermodynamique	0348
Conditionnement (Emballage)	0549
Genie aerospacial	0538
Genie chimique	0542
Genie civil	0543
Genie electronique et electrique	0544
Genie industriel	0546
Genie mecanique	0548
Genie nucleaire	0552
Ingenierie des systemes	0790
Mecanique navale	0547
Metallurgie	0743
Science des matériaux	0794
Technique du petrole	0765
Technique miniere	0551
Techniques sanitaires et municipales	0554
Technologie hydraulique	0545
Mecanique appliquee	0346
Geotechnologie	0428
Materes plastiques (Technologie)	0795
Recherche operationnelle	0796
Textiles et tissus (Technologie)	0794

PSYCHOLOGIE

Generalites	0621
Personnalite	0625
Psychobiologie	0349
Psychologie clinique	0622
Psychologie du comportement	0384
Psychologie du developpement	0620
Psychologie experimentale	0623
Psychologie industrielle	0624
Psychologie physiologique	0989
Psychologie sociale	0451
Psychometrie	0632



TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS.....	1
REMERCIEMENTS (ACKOWNLEGEMENTS).....	1
RÉSUMÉ DE LA THÈSE (ABSTRACT).....	2
CHAPITRE 1: INTRODUCTION	5
1.1 ÉLABORATION DE LA PLATE-FORME TECHNOLOGIQUE.....	6
1.2 ANALYSE DES COMPOSANTES DE LA CAO ACTUELLE.....	7
1.3 DÉFINITION DES ÉTAPES DE LA CAO	7
1.4 INTERPOLATION DES RÉSULTATS DE RECHERCHES	8
CHAPITRE 2: LES PÉRIPHÉRIQUES DE L'ORDINATEUR.....	10
2.1 LES ÉCRANS.....	11
2.1.1 Les écrans graphiques	11
2.1.2 Les écrans tactiles	13
2.1.3 Les écrans-tablettes.....	14
2.1.4 Les écrans virtuels.....	15
2.2 LES DONNÉES GRAPHIQUES.....	17
2.2.1 La tablette graphique.....	17
2.2.2 La souris.....	18
2.2.3 Le manche à balai et le gant sensoriel	18
2.2.4 Les pointeurs optiques	19
2.3 LES NUMÉRISSEURS.....	21
2.3.1 Les numériseurs vidéo	21
2.3.2 Les numériseurs optiques.....	22
2.3.3 La reconnaissance des caractères.....	23
2.3.4 La reconnaissance des vecteurs.....	24
2.4 LES IMPRIMANTES	25
2.4.1 L'imprimante matricielle.....	25
2.4.2 L'imprimante laser	26
2.4.3 Le traceur de courbes à plumes	27
2.4.4 Les traceurs électroniques.....	29

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE 3: LA CAO ACTUELLE.....	32
3.1 L'HISTORIQUE DE LA CAO.....	33
3.1.1 Les années 60	33
3.1.2 Les années 70	34
3.1.3 Les années 80	35
3.1.4 Les années 90	36
3.2 LA STRUCTURATION DES DESSINS EN CAO.....	37
3.2.1 L'objet graphique simple	37
3.2.2 L'objet graphique complexe.....	38
3.2.3 Les composantes architecturales.....	39
3.2.4 Les couches du dessin numérique	40
3.3 LA CLASSIFICATION DES DONNÉES.....	42
3.3.1 Le 1D: Les textes	43
3.3.2 Le 2D: Les dessins.....	44
3.3.3 Le 3D: Les volumes.....	45
3.3.4 Le 4D: Le temps	47
3.4 LES GÉNÉRATIONS DE SYSTÈMES CAO	50
3.4.1 La première génération.....	50
3.4.2 La deuxième génération.....	50
3.4.3 La troisième génération	51
3.4.4 La quatrième génération.....	52
CHAPITRE 4: LA NOUVELLE CAO.....	55
4.1 LA PROGRAMMATION ARCHITECTURALE.....	56
4.1.1 Les outils informatisés de la programmation architecturale.....	56
4.1.2 Dimensionnement automatique d'un rectangle.....	57
4.1.3 Interrelation interactive entre les espaces	58
4.1.4 Calculs automatisés des espaces	59
4.2 LES ESQUISSES PRÉLIMINAIRES.. ..	62
4.2.1 Créer un nouveau poste de travail.....	62
4.2.2 Intercepter l'information.....	65
4.2.3 Gérer le dessin à main levée.....	66
4.2.4 Vectoriser l'esquisse préliminaire.....	68

TABLE DES MATIÈRES

4.3	LA FORMALISATION DU PROJET	71
4.3.1	L'interprétation du projet par les points et les lignes	72
4.3.2	L'interprétation du projet par les surfaces	76
4.3.3	L'interprétation du projet par les objets	78
4.3.4	La compréhension de la vue et de l'échelle de travail	81
4.4	L'AVANT-PROJET.....	83
4.4.1	Les étapes précédentes.....	83
4.4.2	La station de travail.....	84
4.4.3	L'interface-usager.....	86
4.4.4	L'espace de travail.....	87
	CONCLUSION.....	90
1°	CONCEVOIR UNE STATION DE TRAVAIL ADAPTÉE AU DESIGN	90
2°	ÉTABLIR LE PROJET COMME BASE INFORMATIQUE EN CAO.....	92
3°	INFORMATISER LE DESSIN À MAIN LEVÉE ET LA FORMALISATION DU PROJET.....	93
4°	PRÉPARER LE CONCEPTEUR AUX CHANGEMENTS INFORMATIQUES.....	95
	BIBLIOGRAPHIE.....	98
	ANNEXE A.....	I
A.1	LES CATÉGORIES D'ORDINATEURS.....	I
	Les systèmes d'exploitation	II
	La catégorie micro.....	II
	La catégorie mini	III
	La catégorie maxi.....	IV
A.2	LA DESCRIPTION DE L'ORDINATEUR.....	VI
	La puissance.....	VI
	La vitesse de calcul.....	VII
	La puissance de calcul.....	VII
	La mémoire vive.....	VIII
	ANNEXE B.....	X
	TABLEAU SYNTHÈSE DES FAMILLES DE DONNÉES.....	X

PHILOSOPHIE DE LA CONCEPTION AVEC LES NOUVEAUX OUTILS INFORMATIQUES

Avant-propos

Cette thèse est le reflet d'une phrase utilisée pour la première fois lors du lancement de l'ordinateur Macintosh, au mois de janvier 1984, et qui se lit:

"Un beau jour, à Cupertino, en Californie, quelques brillants ingénieurs eurent une idée de génie: puisque les ordinateurs sont si intelligents, ne serait-il pas plus sage d'apprendre l'homme à l'ordinateur plutôt que d'apprendre l'ordinateur à l'homme? Ils travaillèrent alors jour et nuit, enseignant aux minuscules puces de silicium tout ce qu'il y a à savoir sur les hommes: comment ils font des erreurs, comment ils changent d'avis, comment ils intitulent leurs classeurs et comment ils conservent des numéros de téléphones périmés, comment ils travaillent pour gagner leur vie et comment ils occupent leurs moments perdus"¹

Depuis ce jour, je me suis dit que la même réflexion s'appliquait à l'architecte et à son travail aussi bien qu'à l'utilisateur ordinaire d'ordinateurs. Ce qui a conduit, six ans plus tard, à la rédaction de cette thèse.

Présentement, j'écris ces lignes sur un Macintosh portable, dernier cri de la technologie moderne, qui est le résultat direct de cette phrase publicitaire lancée par Steve Jobs, un des visionnaires des années 80.

En regardant le travail accompli depuis cette phrase, je ne peux qu'établir le parallèle de ce que pourrait être la nouvelle CAO² en la comparant avec l'évolution récente qu'a vécu la bureautique au cours de la dernière décennie. Tentons donc de faire des années 90 le tremplin de la métamorphose que pourrait vivre la CAO actuelle, vers une CAO adaptée au travail du concepteur.

Remerciements

Je tiens à remercier mon directeur de thèse, M. Ricardo Castro, pour le soutien qu'il a pu m'accorder qui a fait en sorte que j'ai pu mener à terme la rédaction de ce mémoire. En tant que le dernier étudiant de son programme de maîtrise, j'espère lui faire honneur

Je remercie également Mme Anderson pour la patience et la compréhension qu'elle a su avoir à mon égard, ainsi qu'à Mme Sophie Voillot, ma correctrice d'épreuve, pour son aide en fin de course. Enfin, je remercie Mme Martine Lefèvre, Mme Isabelle Tremblay et M. Paul Lalonde pour leur aide technique tout au long de la rédaction de cette thèse.

Résumé de la thèse

Pour parvenir à la définition de la nouvelle CAO, la thèse est divisée en quatre chapitres, accompagnée d'une conclusion, qui permettent d'analyser la situation actuelle de la CAO et la technologie disponible aujourd'hui ou dans un avenir proche. Cette analyse conduit à la définition d'un poste de travail adapté au design de façon à pallier aux lacunes actuelles.³

Le premier chapitre consiste en une introduction qui illustre les approches qui ont servi à mener à bien cette thèse. Plusieurs méthodes et analyses viennent appuyer l'élaboration des pistes vers lesquelles devraient s'effectuer les recherches futures sur la philosophie de la conception avec les nouveaux outils informatiques.

Le deuxième chapitre dresse l'inventaire des périphériques de l'ordinateur qui déterminent la particularité d'un poste de travail informatique. Sans ses périphériques, l'ordinateur n'est qu'une grosse calculatrice. Il est donc important, lorsqu'il est question de concevoir le design d'un poste de travail adapté au design, d'aborder ce sujet en profondeur.

Le troisième chapitre couvre la description de la CAO actuelle et la façon dont les données sont classées en fonction de leur utilisation. Après un historique de la CAO et de l'évolution des générations de systèmes, ce chapitre décrit la CAO actuelle du point de vue de l'utilisateur, c'est-à-dire par les données qu'il utilise.

Le quatrième chapitre de la thèse décrit le déroulement d'un projet par un processus de design continu. Il s'agit ici de bien marquer l'interrelation qui existe entre les étapes, de manière à démontrer l'utilité de l'ordinateur en tant qu'outil utile à la conception. Un grand intérêt est porté à une nouvelle étape: la formalisation du projet, qui fait le lien entre le stade de l'esquisse et celui de l'avant-projet.

La conclusion de cette thèse permet de mettre en relief la situation actuelle en CAO afin de permettre l'élaboration d'une nouvelle CAO mieux adaptée aux architectes et aux concepteurs pour qu'ils puissent enfin concevoir leur projet avec l'ordinateur.

Abstract

To arrive at a definition of the new CAD, the thesis is divided into four chapters, accompanied by a conclusion, permitting an analysis of the current CAD situation and the technology available today or in the near future. This analysis leads to the definition of a work station adapted to design so as to bridge the existing gaps.⁴

The first chapter consists of an introduction which illustrates the approaches that were used to complete this thesis. Several methods and analyses support the development of approaches upon which future research into the philosophy of design using new computer tools should be based.

The second chapter lists the computer peripherals which determine the features of a computer work station. Without its peripherals, the computer is simply a giant calculator. It is therefore important to address this subject in depth when creating a work station adapted to design.

The third chapter covers the description of current CAD and the manner in which the data are classified according to their use. Following a summary of the history of CAD and the evolution of generations of systems, this chapter describes today's CAD from the point of view of the user, that is, by the data he uses.

The fourth chapter of the thesis describes the progress of a project using the process of continuous design. This chapter looks at the interrelation that exists between the stages in order to show the usefulness of the computer as a design tool. Significant interest has been shown in a new stage : the formalization of the project, which makes the link between the drawing stage and the pre-project stage.

The conclusion of this thesis puts the current CAD situation into perspective in order to pave the way for the development of new CAD, better adapted to architects and designers and allowing them to finally conceive their projects on computer.

Notes:

- 1 Cette citation provient de la toute première publicité du Macintosh de la société APPLE. Elle illustre une nouvelle philosophie en matière d'informatique qui s'est révélée être la ligne directrice des années 80
- 2 CAO veut dire «Conception Assistée par Ordinateur» (ou «CAD» en anglais), qui englobe également la DAO ou «Dessin Assisté par Ordinateur» et qui évoque plus la notion technique de la pratique. Le terme plus général serait CDAO pour «Conception et Dessin Assistés par Ordinateur», mais dans le texte de cette thèse, j'utiliserai CAO pour représenter le domaine de la conception et du dessin.
- 3 Étant donné la volatilité et la fragilité de l'information sur l'informatique dans le temps, il a été très difficile de citer des références très précises qui se soient avérées constantes du début jusqu'à la fin de la rédaction de cette thèse. Les affirmations contenues dans cette thèse ont donc été établies à partir de constatations sur l'évolution des tendances depuis cinq ans. De plus, tous les éléments soulevés dans la conclusion sont le reflet de technologies qui arrivent présentement sur le marché de la bureautique
- 4 Given the volatility and fragility of computerized information at the time, it was very difficult to cite very precise references, which proved constant during the writing of this thesis. The statements contained in this thesis were therefore established through observation of the evolution in trends over the last five years. Moreover, all of the issues raised in the conclusion are the reflection of technologies that are currently arriving in the market of office automation

1 INTRODUCTION

La présente thèse décrit l'utilisation de l'outil informatique dans le processus de design à travers l'évolution de la CAO. Mais en partant par le début du processus de design, soit la programmation architecturale, on se rend compte qu'il manque un chaînon dans le processus. L'esquisse préliminaire. Ce maillon est l'étape de la conception même d'un projet, le moment où le concepteur réalise son design. Mais cette étape a été négligée parce que la technologie actuelle ne permettait pas de la concevoir dans des conditions acceptables.

C'est aussi le moment où normalement la connaissance du projet aurait été transmise du concepteur à l'ordinateur.¹ Cette transmission de la connaissance survient lorsque qu'il y a eu assez de données sur un projet pour que le concepteur se mette à éditer les données recueillies plutôt que de recommencer la cueillette à chaque fois comme dans le cas des esquisses. Ainsi, à partir du moment où la connaissance du projet est détenue par l'ordinateur, le concepteur édite des versions successives de celui-ci.

Pour illustrer le processus continu avec ce nouvel outil, il est nécessaire de connaître les étapes qui constitueront l'ensemble. Ces étapes, bien qu'elles existent toutes dans la pratique traditionnelle de l'architecture, ne sont pas toutes encore informatisées. En effet, à l'heure actuelle, le processus de design sur l'ordinateur possède toujours des manques qui nuisent au passage des données d'une étape à l'autre.

Ainsi, l'intégration de l'informatique s'est faite par les deux bouts du processus de design, soit d'un côté par le traitement des données dans l'étape de la programmation architecturale, où l'ordinateur a eu une présence marquée, notamment à cause de la capacité de traitée des données associables entre elles; et de l'autre par l'exécution des dessins, où l'ordinateur a démontré son habilité à reproduire des lignes tracées et des formes précises.

En commençant par la fin du processus, soit l'exécution des dessins, l'informatisation de la CAO a remonté les étapes de design et a investi l'étape de l'avant-projet, là où le tri-dimensionnel (3D) fait présentement ses preuves pour la représentation du projet. Le rôle de la CAO pour la réalisation d'avant-projet

commence désormais à être bien défini avec l'utilisation généralisée de la modélisation 3D.

Le propos de cette thèse est donc de venir s'appuyer sur la base technologique ("hardware"), qui se développe en moment, pour élaborer et expérimenter un nouveau type de système de conception qui s'inspirerait des innovations des systèmes d'exploitation conviviaux qui se sont répandus dans les années 80, comme le système du Macintosh ou Windows.

Ainsi, pour mener à bien cette thèse, plusieurs méthodes et analyses viendront appuyer l'élaboration des pistes vers lesquelles devraient s'orienter les recherches futures sur la philosophie de conception avec les nouveaux outils informatiques.

1.1 *Élaboration de la plate-forme technologique*

Pour établir une base technologique sur laquelle installer la description des différentes étapes du processus, il faut tout d'abord élaborer la plate-forme technologique, qui comprend l'ordinateur et les périphériques.

La plate-forme technologique équivaut au poste de travail informatique. Ce poste de travail est formé d'un ensemble de périphériques assemblés de manière à permettre la réalisation d'une fonction précise. Dans le cas présent, la tâche à réaliser est la conception de projets architecturaux.

Ici, on assemblera une plate-forme théorique s'appuyant sur les découvertes actuelles ou qui surviendront dans un avenir proche et qui, naturellement, n'ont pas encore trouvé d'applications pragmatiques dans le domaine de la conception. En effet, ces inventions ou brevets récents ont souvent été prévues pour des applications bien spécifiques (comme les applications militaires) n'ayant rien à voir avec les applications que nous recherchons.

C'est pourquoi il importe de suggérer immédiatement des applications pointant vers de nouvelles perspectives, qui permettront l'élaboration d'un processus de design utilisant la plate-forme technologique décrite.

1.2 Analyse des composantes de la CAO actuelle

Pour comparer les éléments qui composeront la nouvelle CAO avec l'évolution actuelle de la CAO, il est important de définir divers systèmes de classification illustrant les liens qui devront être établis entre les éléments.

Pour débiter l'analyse des composantes qui constituera la nouvelle plate-forme et le nouveau processus de design avec l'ordinateur, il faut procéder à la décomposition des différents niveaux informatiques qui interviennent dans la création de la nouvelle CAO.

Cette décomposition des éléments par niveaux informatiques, en partant de l'ordinateur vers le concepteur, aura pour avantage de faciliter leur classification selon plusieurs types de relations, ce qui permettra d'isoler les composantes utiles à la reconstruction de la nouvelle CAO selon d'autres critères.

Grâce à de nombreuses analyses réalisées par des laboratoires renommés dans le domaine de l'informatique et de la CAO, et à la publication des résultats de ces analyses dans des revues spécialisées, on peut profiter de la connaissance acquise pour la classification des éléments. Citons par exemple l'étude effectuée par le Centre Siricon de l'Université Concordia à Montréal².

1.3 Définition des étapes de la CAO en relation avec le projet

Par la définition des étapes du projet, en soulignant les liens et les types de données qui existent entre elles, nous procéderons à l'analyse du processus de conception assistée par ordinateur, ce qui permettra d'isoler les étapes considérées comme informatisables afin de permettre un processus continu.

Pour chacune des étapes, il s'agit de démontrer comment l'utilisateur interagit avec l'ordinateur. Cette description comprendra donc l'apport des données nécessaires à l'étape, ainsi que celles qui seront générées par celle-ci.

Les étapes du processus, telles que définies dans cette thèse, sont: la programmation architecturale, les esquisses, la formalisation du projet, l'avant-projet, l'exécution et la gestion du bâtiment.

1.4 Interpolation des résultats de recherches personnelles

En plus des analyses qui existent sur le sujet, cette thèse se fonde sur une expérience personnelle dans le domaine de la conception assistée par ordinateur. Cette expérience, accumulée depuis dix ans, coïncide avec l'apparition au Québec des premiers systèmes de CAO qui aient été réellement conçus pour les architectes³.

En tant que jeune architecte intéressé par les nouvelles technologies, l'auteur de cette thèse a rapidement été mis à contribution dans la recherche de nouveaux débouchés à l'informatique, participant à de nombreux bancs d'essais de nouveaux logiciels⁴ pour des multi-nationales américaines qui tentaient à l'époque de mettre au point de nouveaux produits adaptés à l'architecture.

En plus d'effectuer les tests pour les compagnies, l'auteur a également mis sur pied des démonstrations destinées aux représentants de ces compagnies à Montréal, car ces produits n'étaient pas encore adaptés au contexte québécois⁵. Cette expérience et cet intérêt l'ont amené à faire une tournée des universités américaines, où il a pu rencontrer les responsables de centres de recherches en infographie à Harvard University (Boston), au M.I.T. (Boston), à Berkeley University (San Francisco), à Stanford University (Salto Alto) et à UCLA (Los Angeles).

Son implication personnelle lui a également permis de rencontrer des fabricants de logiciels français, de faire l'essai de plusieurs logiciels français et de visiter plusieurs centres de recherche à Paris⁶.

En tant que professeur de design et informatique au département de Design de l'Université du Québec à Montréal, l'auteur a mis au point un programme de formation composé de trois cours et portant sur l'apprentissage de la conception assistée par ordinateur. De plus, il a participé à la création de deux centres de recherche en infographie qui avaient comme mandat de développer de nouvelles applications de la CAO. Il s'agit de: l'ASED (Atelier de la Synthèse de l'Espace du Département de Design) et le CDIN, Centre de développement en Infographie Numérique de l'UQAM.

Notes:

- 1 La thèse s'adresse donc à des lecteurs qui sont au fait du processus de design comme il a toujours été auparavant et qui ont eu, soit par des expériences personnelles en tant que concepteur ou soit par des tentatives d'informatisation d'ateliers d'architectures qu'ils ont vécues, des expériences possiblement négatives avec la CAO dans sa forme actuelle. Je n'écarte donc pas la possibilité que le lecteur parte avec un préjugé défavorable au principe d'un processus de conception utilisant l'ordinateur.
- 2 La société Siricon a procédé à plusieurs banc d'essais de logiciels CAO pour les architectes. Elle a publié de nombreux résultats d'analyses sous la forme de volumes, dont notamment l'ouvrage intitulé *Guide d'évaluation des logiciels de CAO, No.1.*
- 3 L'un des premiers systèmes CAO dédié à l'architecture à être installé au Québec a été celui de la Direction Architecture d'Hydro-Québec à Montréal. Il s'agissait d'un système IGS 400 de CalComp. Il a été installé à l'automne 1982.
- 4 Lors des bancs d'essais, Dominique Dubuc a eu l'honneur d'être un évaluateur pour les logiciels suivants:
 - FPMA (Facilities and Planning Management Application), CalComp, Californie;
 - SABA (Stacking and Blocking Algorithm), UCLA, Californie;
 - SOLIDS MODELING (3D rendering), CalComp, Californie;
 - ADP (Architectural Drawing Package), CalComp, Californie;
 - UNIFICATION (Graphic relational database), CalComp, Californie.
- 5 Voici les produits dont l'auteur de cette thèse a dû apprendre toutes les ressources:
 - BD&D (Building Design & Drafting), ARRIS de Sigma Design, Denver;
 - MODELING, ARRIS de Sigma Design, Denver;
 - SITE DESIGN, ARRIS de Sigma Design, Denver;
 - HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioned), Calcomp, Californie;
 - CADVANCE, IsiCAD, Californie.
- 6 Voici la liste des logiciels testés durant leur période de rodage ou pour leur implantation en Amérique par Dominique Dubuc:
 - SPACEEDIT, Abvent, Paris;
 - MACANIMATION, Abvent, Paris;
 - DIAGONALE 4, Paris;
 - ZOOM, Abvent, Paris;
 - TURBO3D, Abvent, Paris.

2 LES PÉRIPHÉRIQUES DE L'ORDINATEUR

L'ordinateur constitue le cerveau d'un système informatique, alors que les périphériques, ainsi nommés parce qu'ils sont raccordés en périphérie de celui-ci, représentent en quelque sorte ses membres et ses organes sensoriels.

Sans ses périphériques, l'ordinateur ne serait qu'une grosse calculatrice, incapable d'accomplir les fonctions habituelles de l'ordinateur. Ce sont ses périphériques qui en font un outil utile et bien adapté à son travail. Lors de la conception du design d'un poste de travail ergonomique, il est important d'aborder ce sujet en profondeur.

C'est en développant de nouveaux périphériques encore mieux adaptés au travail de l'être humain que l'on rendra l'ordinateur plus humain.

2.1 Les écrans

L'écran de l'ordinateur représente en quelque sorte la bouche de celui-ci, car c'est par ce périphérique qu'il exprime ou affiche la réponse ou les résultats de l'opération effectuée. Le clavier, quant à lui, représente les oreilles par lesquelles l'ordinateur "entend" nos commandes.

Aux débuts de l'informatique, c'était l'imprimante, munie d'un clavier (à l'image d'une dactylo), qui jouait ce rôle. Ainsi, le terminal de l'ordinateur, sous la forme du téléscripteur ("teletype"), imprimait sur papier les commandes que l'on venait de taper sur le clavier, puis les réponses que l'ordinateur retournait à nos commandes.

Dès l'apparition de l'écran cathodique, les utilisateurs ont vite apprécié les avantages de ce nouveau moyen de visualiser les résultats, car en plus de gaspiller du papier, l'imprimante était lente et bruyante. De plus, la disposition linéaire de l'information rendue par l'imprimante ne se prêtait pas à la consultation de tableaux ou d'écrans provenant de bases de données. Cependant, les premières versions de l'écran cathodique, avec ses teintes verdâtres, étaient peu attirantes pour l'utilisateur. Mais depuis son apparition, beaucoup d'améliorations et de transformations ont eu lieu, qui ont préparé le terrain aux prochaines innovations qui pointent à l'horizon de la recherche.

2.1.1 Les écrans graphiques

Les premiers écrans graphiques représentaient les dessins par des vecteurs apparaissant sur un écran au phosphore à haute résolution. La compagnie Tektronic, l'une des pionnières dans ce domaine, a édicté des normes qui ont toujours cours aujourd'hui, notamment dans le domaine des couleurs (la norme HIS).

Avec l'évolution des écrans graphiques, la technologie des écrans vectoriels a fait la place à celle des écrans matriciels ("raster"). Ce qui a permis de développer une technologie commune aux deux modes: le graphique et l'alphanumérique.

Les écrans matriciels ont pris leur essor avec la micro-informatique, tant du côté des PC que des autres. Avec cette technologie, le facteur déterminant est devenu la résolution de l'écran, c'est-à-dire le nombre de pixels par pouce¹. Le facteur secondaire de la dimension de l'écran prend également de l'importance.

L'écran alphanumérique avait habitué les utilisateurs à une définition de 32 caractères de largeur par 16 lignes de hauteur, puis, par la suite, de 80 caractères par 24 lignes. Par contre, l'écran graphique se définit plutôt par le nombre de pixels de largeur et de hauteur. C'est ainsi que l'on a vu évoluer les normes de l'écran graphique vers de nouveaux sommets. À partir de la résolution initiale de l'écran graphique, qui était de 256 points par 192 (l'équivalent du premier écran alphanumérique), sont apparues une multitude de combinaisons variant en fonction de la marque².

La dimension des écrans a suivi l'évolution de l'augmentation du nombre des pixels. La dimension initiale pour les ordinateurs de type PC, qui était de 12" de diagonale, est passée à 14", à 16" et enfin à 19". S'ajoutent à cette liste les différents formats des écrans Macintosh: de 9" pour les Mac Plus, ils font maintenant jusqu'à 21" pour les Mac II³.

L'écran graphique a également subi une transformation radicale dans le domaine de l'affichage des couleurs. Des deux couleurs (le noir et le blanc, le vert ou l'ambre) des débuts, on est passé à la norme CGA qui comportait 4 couleurs pouvant s'afficher en même temps sur l'écran, puis à l'EGA avec 16 couleurs, et au VGA qui compte 256 couleurs⁴.

Du côté du Macintosh, après une prise de position pour le noir et blanc avec la série des Mac Plus, SE et Classic, le Mac II est apparu, doté d'un écran couleur et d'une nouvelle façon de catégoriser la couleur. Dépassant l'attribution de 1 bit par pixel à l'écran, il a tout d'abord utilisé 8 bits, ce qui produisait 256 couleurs à la fois sur l'écran. Ensuite, l'écran 24 bits a fait son apparition (8 bits pour le rouge, 8 bits pour le vert et 8 bits pour le bleu), produisant l'équivalent de 17 millions de couleurs sur un même écran.

Du côté du noir et blanc, on trouve maintenant des écrans à 2 bits (4 tons de gris) et à 4 bits (16 tons de gris) qui améliorent grandement la qualité des ordinateurs portables.

Indépendamment de la résolution ou de la dimension de l'écran, la couleur permet d'apporter une information supplémentaire à l'utilisateur. Bien qu'elle ne soit pas essentielle pour la CAO, elle aide l'utilisateur à distinguer divers types de données à l'écran (ex.: le plan électrique en rouge et la plomberie en bleu). Comme toutes ces informations vont finir par être tracées en noir et blanc sur des plans différents en fonction de leur domaine, la couleur permet donc au concepteur de visualiser simultanément l'ensemble du projet sur un même écran, sans avoir à activer ou à désactiver des couches différentes pour le comprendre.

La couleur est également importante dans d'autres domaines que la CAO, comme l'animation, l'édition et toutes les autres disciplines où le produit fini est l'image générée par l'ordinateur. C'est surtout pour ce type d'utilisation que s'est développée la technologie des écrans couleur. Ce qui ne nous empêche pas, nous qui utilisons la CAO, d'en profiter.

Pour ce qui est du clavier, les innovations restent malheureusement à venir, l'industrie étant trop ancrée dans l'état actuel de cette technologie pour souhaiter la modifier. Le prochain changement à venir sera sans doute son abolition pure et simple. On peut cependant noter l'apparition du pavé numérique et celle de l'ordinateur portable ("NoteBook" ou "PowerBook"), qui permet à l'utilisateur de transporter son clavier sans perdre la vision de son écran.

L'ordinateur portable représenterait-il une évolution du clavier plutôt que de l'ordinateur proprement dit?

2.1.2 Les écrans tactiles

Avec l'avènement de l'informatique interactive sont apparus toutes sortes de nouveaux périphériques (qui seront couverts plus loin). Mais l'un d'eux, l'écran tactile, s'est développé dès le début des années 80.

Il s'agissait pour l'utilisateur d'actionner des commandes en touchant certaines zones de l'écran au lieu de les taper sur le clavier. Les premiers essais ont eu lieu avec un crayon optique agissant exactement comme une tablette graphique. Le but de l'écran tactile était d'éviter de dissocier l'action d'écrire sur une surface de la visualisation du résultat. Quoique bien prometteur, l'écran tactile ne s'est pas

répandu dans le domaine global de la micro-informatique. Ce fait s'explique par plusieurs raisons.

Premièrement, cette technologie était coûteuse et fragile. En effet, deux types de technologie ont été explorés: le cadre photo-électrique, qui consiste en une matrice de cellules photo-électriques réparties tout autour de l'écran et indiquant la localisation du crayon au moment où l'on actionne celui-ci sur l'écran; et la pellicule sensible, qui mesure l'impédance de la surface de l'écran en fonction d'un quadrillage pré-établi permettant à l'ordinateur de savoir où l'utilisateur a pointé avec son doigt l'écran de l'ordinateur.

La première de ces technologies existe toujours, notamment dans les appareils de contrôle aérien et militaire. Elle nécessite une quincaillerie imposante pour offrir une grande précision (plus la précision doit être grande, plus il faut de cellules). Elle a également le grand désavantage d'obliger l'utilisateur à maintenir son bras levé si l'écran est vertical.

La seconde est utilisée avec des programmes de présentation destinés au grand public, comme pour des expositions thématiques ou pour la consultation de banques de données sur vidéo-disques. Sa résolution n'a pas besoin d'être très élevée, car elle n'a besoin de distinguer que la distance entre des cases de la largeur d'un doigt. Les programmes sont donc conçus en conséquence.

2.1.3 Les écrans-tablettes

Un des secteurs les plus prometteurs du développement des périphériques dans la vie de tous les jours est sans nul doute celui des écrans-tablettes qui ont commencé à faire leur apparition sur le marché. Il s'agit d'un écran à matrice de cristaux liquides sur lequel il est désormais possible d'écrire avec un crayon spécial. En plus d'afficher les informations émises par l'ordinateur, telles que les menus, les fenêtres et autres, l'écran-tablette permet à l'ordinateur d'enregistrer chacun des pixels que touche le crayon à la surface de l'écran.

Le mécanisme consiste en une double matrice, l'une pour l'affichage et l'autre pour la détection du crayon. Ce dernier, issu de la technologie des écrans tactiles, a été raffiné pour permettre la coïncidence entre les pixels de l'écran et les points dessinés. L'utilisateur peut désormais répondre aux fenêtres de dialogue

de l'ordinateur avec son crayon au lieu de se servir du clavier ou de la souris. Il est à noter que ces écrans-tablettes possèdent leur propre ordinateur intégré, tout comme les "NoteBook".

L'utilisateur pourrait rédiger sur l'écran des réponses ou des commandes destinées à l'ordinateur, ou bien des textes écrits à la main, qui seront ensuite mis en mémoire sous cette forme, incompréhensible pour l'ordinateur, mais utile pour son auteur lorsqu'il le rappellera à l'écran. Grâce à un système intégré de reconnaissance des caractères ("OCR" ou "Optical Character Recognition"), le texte manuscrit pourra également être traduit en code ASCII, ce qui aura pour avantage de rendre le texte lisible par l'ordinateur et de l'optimiser pour la mise en mémoire.

Au début de la rédaction de cette thèse, le format de ce nouvel ordinateur était de la grandeur d'une calculatrice. Aujourd'hui, celui qui est en vente est de la grandeur d'un calepin. Dans les revues scientifiques, on prévoit que la version qui sera bientôt sur le marché aura la dimension d'un "NoteBook" (8 1/2 "x 11"). Il est facile d'imaginer pour un proche avenir un ordinateur de ce type d'un format 11" x 17" ou même 12" x 18". La difficulté que présente encore la fabrication d'un tel format réside dans la matrice caprice, mais cette difficulté semble s'estomper à mesure que la technologie se développe.

Le fondement même du reste de cette thèse repose sur l'application de ce nouveau périphérique dans la pratique de la CAO.

Étant donné que l'industrie de l'informatique s'efforce d'interpréter l'écriture, l'analyse présente se concentrera sur la compréhension du dessin à main levée.

2.1.4 Les écrans virtuels

Le développement de la réalité virtuelle constitue un autre volet important de la technologie actuelle. On a pu observer certaines de ces innovations dans le dernier film de Stephen King, *The Lawnmower Man*, ou dans celui de Wim Wenders, *Until the End of the World*, qui portent entièrement sur le sujet.

L'écran virtuel fait partie des périphériques permettant à un être humain d'évoluer et de visualiser la réalité virtuelle, c'est-à-dire ne résidant que dans l'ordinateur. Il s'agit d'un casque comprenant deux petits écrans de 2" de

diagonale, situés exactement à la place des yeux, et qui reproduisent une version stéréoscopique des images en trois dimensions que produit l'ordinateur.

Grâce à cette vision stéréoscopique d'images en trois dimensions, qui donne une impression de profondeur, l'utilisateur peut se promener à l'intérieur d'un univers tridimensionnel que l'on désigne par le vocable de réalité virtuelle. Le casque possède également des senseurs permettant de déterminer la position de la tête de l'utilisateur. Ainsi, lorsque celui-ci tourne la tête, l'univers virtuel dans lequel il se trouve pivote également, lui donnant l'impression de se trouver dans un espace tridimensionnel réel.

Pour l'ordinateur, il s'agit de toute une performance à exécuter, car pour chacun des mouvements de la tête, il doit calculer en temps réel⁵ une série de perspectives du modèle 3D qu'il a en mémoire, les texturer et les reproduire en stéréoscopie dans les écrans du casque. On comprend bien que pour réussir cet exploit, on doit recourir à un ordinateur de grande puissance.

2.2 LES DONNÉES GRAPHIQUES

Cette section consiste en une analyse des différents périphériques d'entrée des données, autres que l'écran et le clavier, et qui permettent d'adapter les postes d'ordinateur conventionnels au travail graphique.

En effet, ces périphériques ont été mis au point pour permettre à l'utilisateur d'entrer des données graphiques autrement qu'en tapant les coordonnées au clavier.

2.2.1 La tablette graphique

Après le clavier, le premier périphérique d'entrée des données à faire son apparition a été la tablette graphique, composée d'un réseau interne de fils récepteurs qui captent la position du pointeur lorsque celui-ci est activé. La tablette graphique a été inventée pour permettre aux utilisateurs de logiciels graphiques de pointer des coordonnées à l'aide d'un crayon. Rapidement, deux modes d'opération avec ce nouveau périphérique se sont développés: le mode relatif et le mode absolu.

Le mode relatif (semblable au fonctionnement de la souris) permet à l'utilisateur de promener un curseur sur l'écran et de pointer des menus apparaissant à la surface de l'écran. La position du curseur est déterminée de façon relative au déplacement du crayon. L'utilisateur n'a donc pas à vérifier où il pointe sur la tablette: il lui suffit d'observer la position du curseur sur l'écran.

Dans le mode absolu, qui sert à numériser un dessin déjà existant que l'on colle sur la tablette, la position du crayon est toujours évaluée à partir de l'écran. On se sert généralement d'un pointeur en forme de croix que l'on déplace le long des lignes à numériser. Le format de la tablette devient important, car il faut qu'elle puisse couvrir la surface du dessin. On trouve donc des tablettes dont le format va de 12"x12" jusqu'à 60"x48" et même plus.

L'utilisation de la tablette graphique offre également un autre mode: celui des menus. Pour des raisons pratiques dues au manque d'interfaces adéquats, les programmeurs se sont mis à développer des menus que l'on colle sur la tablette

et que l'on pointe avec le pointeur pour actionner une macro-commande. Ce mode d'utilisation tend à disparaître parce qu'il force l'utilisateur à regarder constamment la tablette, ce qui le déconcentre à chaque fois qu'il exécute une commande. De plus, la technologie des interfaces visuelles s'étant énormément développée récemment, les programmeurs ont de moins en moins recours à cette technique.

2.2.2 La souris

À partir du mode relatif exploité par la tablette graphique, les inventeurs de la souris cherchaient à créer un périphérique qui offrirait tous les avantages de la tablette sans son encombrement ou son coût. De cette manière, tous les ordinateurs pourraient en être dotés. Grâce au développement de la souris, il est désormais plausible d'envisager pour bientôt que tous les programmes seront munis d'une interface comme celle du Macintosh, car les ordinateurs qui les opéreront en seront tous équipés.

La souris a effectivement révolutionné le monde de la micro-informatique, mais elle a apporté avec elle d'autres problèmes. Par exemple, il est très difficile d'apprendre à dessiner avec une souris lorsqu'on a utilisé un crayon toute sa vie. Son application pour la CAO est donc beaucoup moins importante que celle de la tablette graphique équipée d'un crayon.

Après la souris est apparue la boule ("track ball"), qui est en fait une souris à l'envers que l'on manipule avec l'index ou le pouce. Cependant, la boule n'a pas eu le succès escompté auprès des utilisateurs, mais depuis l'apparition des ordinateurs portatifs et à cause de la quasi-obligation d'utiliser une souris pour manipuler les programmes, la boule est devenue populaire, car elle ne nécessite aucune surface de déplacement.

2.2.3 Le manche à balai et le gant sensoriel

Le manche à balai ("joystick") a fait son apparition bien avant la souris. Son but était semblable à celui de la souris, c'est-à-dire de permettre à l'utilisateur de déplacer un curseur sur l'écran.

Même si l'invention de la souris a restreint son utilisation, le manche à balai est toujours populaire auprès des adeptes des jeux vidéos. Il est également utilisé dans le domaine des arts graphiques et de la CAO. Utilisé en interface avec des cartes graphiques, il permet à l'utilisateur d'effectuer d'une main des zooms et des panoramiques pendant qu'il dessine de l'autre sur une tablette graphique. Cependant, ce genre d'installation est plus commune sur des stations graphiques de haut calibre que sur des micro-ordinateurs.

Un autre périphérique vient de faire son apparition. Il s'agit du gant sensoriel, que l'utilisateur enfle pour communiquer ses commandes à l'ordinateur. Ce gant est muni de senseurs externes qui indiquent à l'ordinateur tous les mouvements des doigts de la main. Ce périphérique, qui fonctionne comme un "manche à balai sans manche", a été inventé pour fonctionner avec le casque-écran dans le cadre de la réalité virtuelle. Étant donné que l'utilisateur du casque se trouve dans un univers virtuel et qu'il ne voit donc pas l'environnement réel, il lui serait en effet impossible de manœuvrer une manette et encore moins de pousser un bouton. Grâce à un langage de la main pré-établi, comme celui des sourds-muets, l'utilisateur pourra communiquer ses commandes à l'ordinateur d'un mouvement de la main, comme d'ouvrir ou de refermer la main ou de pointer l'index.

L'utilisation du gant sensoriel ouvre la porte à diverses applications dans des domaines où l'attention de l'utilisateur est primordiale. On peut déjà imaginer que ce périphérique apportera de nouvelles possibilités dans le domaine du design. Pensons par exemple à la manipulation d'une maquette 3D dans le cadre de la mise en forme d'un projet.

2.2.4 Les pointeurs optiques

On assiste depuis peu à l'apparition d'une multitude de nouveaux périphériques d'entrée, arrivés sur le marché à la suite de la popularité des techniques multi-média et de la présentation, qui découlent de l'informatique interactive.

On peut noter le laser-pointeur, qui va de pair avec l'écran translucide. Celui-ci, que l'on place sur un rétro-projecteur, permet de projeter sur un écran géant l'image en couleur (format VGA) de ce qu'aurait normalement reproduit

l'ordinateur sur son écran. L'utilisateur se sert alors du laser-pointeur, qui se présente comme une lampe de poche, et pointe ce qu'il désire sur l'écran géant. Grâce à un petit senseur qui détermine la position du rayon laser, l'ordinateur réagit aux commandes de l'utilisateur comme s'il se servait d'une souris ordinaire.

2.3 Les numériseurs

Le domaine des numériseurs constitue l'un des secteurs de l'informatique qui a le plus progressé depuis cinq ans. Cette technologie s'est développée en intégrant des éléments de recherches provenant de champs connexes.

Le raffinement des techniques vidéo, avec l'avènement du CCD ("Couple Charge Device"); l'intégration du fax dans nos activités quotidiennes; l'interprétation des données provenant des multiples satellites qui tournent autour de la terre; voilà des exemples des développements récents qui ont permis à la numérisation d'évoluer très rapidement.

On distingue en numérisation deux grandes familles qui se différencient par la source des images qui auront à être numérisées: images vidéo ou optiques. La numérisation vidéo tire ses images du médium électronique, tandis que la version optique capte directement des images ou des documents réels (photographies, plans ou lettres).

2.3.1 Les numériseurs vidéo

Les numériseurs vidéo ont été les premiers à faire leur apparition sur le marché de la micro-informatique, car il était plus facile de traiter un signal qui se présentait déjà sous forme électronique, calibrée par une caméra vidéo et filtrée par un équipement vidéo comme un magnétoscope. Il s'agissait donc uniquement de convertir le signal vidéo d'un écran de télévision en une matrice de points ayant chacun une valeur numérique.

Les premiers numériseurs, qui fonctionnaient en noir et blanc, n'avaient donc qu'à interpréter les tons de gris de la télévision en les associant à un nombre compris entre 0 et 255 (8 bits ou un octet). Par la suite, les numériseurs vidéo se sont adaptés à la couleur, suivant la même évolution que la télévision. Ils avaient recours à la méthode "RGB" ("Red-Green-Blue") qui permet de diviser le signal vidéo en trois signaux distincts. Le numériseur peut alors synthétiser l'image selon ses trois signaux RGB, doté chacun d'une valeur comprise entre 0 et 255 ($3 \times 8 \text{ bits} = 24 \text{ bits}$), ce qui donne une possibilité de couleurs d'environ 17 millions (2 à la puissance 24).

La résolution du numériseur vidéo est constante, car elle ne dépend pas du numériseur, mais bien de la résolution du vidéo lui-même, qui est très faible: elle est de l'ordre de 525 lignes en Amérique (625 en Europe) par 400 points de définition sur chaque ligne. Le numériseur vidéo doit donc se contenter d'une matrice de 600 lignes par 400 colonnes.

Au début de l'arrivée des numériseurs vidéo, les écrans des micro-ordinateurs avaient une résolution moins élevée. L'image numérisée offrait donc une meilleure qualité que celle de l'ordinateur. Mais maintenant que la résolution des écrans graphiques tourne autour de 1 024 x 1 024, la résolution des images numérisées est inférieure à la précision de l'écran.

Selon ce que l'on désire créer avec ces images, ce problème peut être important. Si l'on désire se servir des images numérisées pour les retourner vers le vidéo par la suite, comme lorsqu'on ajoute des images de synthèse à des décors vidéographiés, il est alors acceptable de réduire la résolution des images de synthèse à celle du vidéo, car le produit fini aura alors le même format. Mais lorsque le produit fini est destiné à un média autre que le vidéo, la numérisation vidéo peut s'avérer insuffisante.

2.3.2 Les numériseurs optiques

De leur côté, les numériseurs optiques ont fait leur apparition plus récemment, avec un modèle offert par la compagnie Abaton (qui a été pendant longtemps la seule à en produire). Les numériseurs optiques ont suivi l'évolution des numériseurs vidéo, puisque le traitement électronique de l'image, le traitement informatique de la sortie et la codification des couleurs et des points de la matrice étaient les mêmes. La seule vraie différence résidait dans la numérisation de l'image, qui demandait une autre approche.

En effet, le numériseur optique doit photographier son image au lieu de la capter électroniquement. Cette numérisation photographique peut prendre des formes différentes selon qu'on a affaire à un petit format ou à un grand document, et si l'image est de simple épaisseur ou attachée à un livre. Le numériseur à plat ("flat bend"), qui ressemble à un photocopieur, permet de numériser des documents reliés, et le numériseur à glissière, issu de la

technologie des télécopieurs, permet de numériser plusieurs documents à la fois grâce à un chargeur automatique ("feeder").

Chacun des formats à ses avantages. Dans le domaine de la numérisation des plans, le deuxième système est plus avantageux, car il est plus facile de réaliser une glissière du format d'un plan "A0" qu'une table du même format.

Le développement des numériseurs optiques a été freiné dans ses débuts par le manque de normalisation pour le traitement informatique des données. Contrairement aux numériseurs vidéo, qui possèdent à peu près tous le même format, la numérisation optique s'effectuait dans toutes sortes de formats accompagnés d'une multitude de résolutions différentes.

Cette stagnation a duré jusqu'à la définition d'un format commun qui permettrait de standardiser l'image numérisée. Ce format a été baptisé "TIFF" (pour "Tagged Image File Format"). Il permet de sauvegarder les images dans un fichier que pourront lire tous les autres programmes de traitement d'images numériques, indépendamment de la compagnie qui les fabrique ou du type d'ordinateur. C'est en quelque sorte l'ASCII de l'image numérique. Ce format a comme caractéristique de coder, en préface du fichier contenant l'image numérique, les paramètres qui ont servi à sauvegarder l'image. Ces paramètres sont:

- la dimension de l'image (hauteur, largeur);
- la résolution de l'image (nombre de pixels par pouce);
- le nombre de tons de gris utilisés (entre 2 et 256)⁶.

2.3.3 La reconnaissance des caractères

L'invention du numériseur a permis à la science informatique de se pencher sur le problème de la reconnaissance de documents déjà écrits. À partir du moment où l'on a pu introduire dans un ordinateur l'image numérisée de documents déjà dactylographiés, on s'est tout de suite demandé comment passer de cette image à un véritable document informatique éditible sur l'ordinateur.

En effet, lorsqu'on numérise un document, on n'obtient que des pixels qui, une fois mis ensemble, ressemblent au document original. L'ordinateur, qui n'a aucune compréhension de ce document numérisé, ne peut donc pas en faire l'édition comme s'il provenait d'un fichier de traitement de texte en format

ASCII. Il faut donc procéder à l'étape de la reconnaissance des caractères, ou "OCR" en anglais ("Optical Character Recognizer").

Cette étape est très délicate car elle demande à l'ordinateur d'user de déduction, ce qui en exige plus de performance qu'un simple traitement mathématique. Il existe deux façons d'accomplir cette tâche: la création de banques de caractères et la décomposition des caractères en éléments mesurables.

2.3.4 La reconnaissance des vecteurs

Du côté de la reconnaissance des vecteurs, l'avenir est encore neuf. Il n'a pas encore été fait de découverte assez significative pour que l'on puisse imaginer correctement les possibilités du côté de ce domaine de recherche.

2.4 Les imprimantes

L'imprimante ou le traceur est sans nul doute l'un des périphériques les plus importants en CAO, car le but premier de celle-ci est d'assister le concepteur ou le technicien dans la réalisation du projet. Étant donné que, dans l'industrie, la transmission du projet se fait par la remise de plans et de devis et que ces plans se font encore sur support papier (ou film), les utilisateurs restent donc tributaires de ce périphérique.

Il existe une corrélation directe entre la qualité de la production des plans et celle des périphériques utilisés ainsi que leur type. Cependant, en CAO, contrairement à l'infographie (comme le graphisme), où le produit fini sort directement de l'ordinateur, le dessin ne sert qu'à communiquer l'information du projet à ceux qui vont le bâtir. N'oublions pas que le produit fini n'est pas le plan, mais bien la construction achevée.

Il est néanmoins important de bien comprendre l'évolution de ce type de périphériques, car le traçage des plans constitue toujours une étape importante dans la réalisation d'un projet d'architecture avec la CAO.

2.4.1 L'imprimante matricielle

L'imprimante matricielle existe depuis les débuts de l'informatique. En effet, avant même l'utilisation régulière de l'écran cathodique, c'est par le clavier et l'imprimante que l'on pouvait communiquer avec l'ordinateur central.

L'imprimante matricielle consiste en une tête d'écriture qui parcourt, ligne par ligne, le papier monté sur un rouleau. Cette tête est composée d'une matrice d'aiguilles qui frappent le papier à travers un ruban encre. Le principe de l'impression matricielle réside dans la possibilité d'imprimer, caractère par caractère, sur chacune des lignes, chaque code ASCII provenant de l'ordinateur.

Ensuite, la plus grande innovation dans le domaine de l'imprimante à aiguilles est venue de la compagnie Apple, avec sa série d'imprimantes ImageWriter. Grâce à son ordinateur Macintosh, Apple a su réinventer la relation entre l'imprimante, l'ordinateur et ce nouveau venu qu'était à l'époque l'écran

cathodique. La nouveauté du concept résidait dans le fait que chaque pixel de l'écran correspondait à un point de l'imprimante. La relation entre les points était donc la même qu'à l'écran. Il restait à mettre au point un écran ayant la même résolution que l'imprimante, soit 72 points par pouce (DPI).

Le choix de cette résolution a permis de normaliser, à l'écran comme sur l'imprimante, des dimensions de caractères identiques à celles des polices de caractères utilisées dans la typographie. Ainsi, un lettrage de 12 points (l'unité de mesure typographique) mesure effectivement 12 pixels à l'écran, conformes à la réalité typographique.

De plus, la finesse des points de l'écran a permis de reproduire la plupart des polices de caractères reconnues. On retrouve donc des polices de caractères classiques comme Helvetica, Courier ou Times, et on a la possibilité de les imprimer avec des effets tels que les caractères gras, soulignés ou italiques. Enfin, comme la notion de lignes-caractères a disparu avec l'avènement du Macintosh, il est désormais possible d'imprimer des pages entières avec les caractères disposés n'importe où sur la surface de la page, ce qui est idéal pour l'édition.

Du noir et blanc, l'imprimante matricielle à aiguilles est passée à la couleur grâce à la mise au point de rubans à quatre couleurs (noir, magenta, cyan et jaune). Sa tête d'écriture, qui comportait à l'origine 9 aiguilles, en compte maintenant 24.

Après le développement de l'imprimante matricielle à aiguilles, il en est apparu une autre inspirée du même concept matriciel: il s'agit de l'imprimante à jet d'encre. Au lieu d'utiliser une tête composée d'aiguilles, l'imprimante crée les points à l'aide d'un jet de particules d'encre ionisée et projetée sur le papier, ce qui permet une plus grande résolution. L'imprimante à jet d'encre est maintenant disponible en couleurs.

2.4.2 L'imprimante laser

L'imprimante laser est arrivée bien plus tard dans l'évolution de la micro-informatique. Une fois l'imprimante matricielle bien implantée, l'imprimante laser était devenue une nécessité, car la qualité et la vitesse d'impression des premières laissaient à désirer pour l'industrie.

L'imprimante laser représente donc le raffinement de l'imprimante matricielle croisée avec le concept du photocopieur. Il s'agit en effet d'un mécanisme à tambour qui utilise de la poudre pour transférer l'image sur le papier.

Lorsque l'ordinateur veut imprimer une page, il la retrace point par point sur un écran virtuel situé dans la mémoire de l'imprimante laser. Une fois la page recréée dans la mémoire, celle-ci est transférée par un faisceau laser qui la dessine ligne par ligne sur un tambour. Celui-ci est alors magnétisé par le laser, ce qui permet à de la poudre à photocopie d'être déposée sur le papier.

Le problème majeur de l'imprimante laser consistait à briser la normalisation, tout récemment développée pour le Macintosh, pour la correspondance de résolution entre l'écran et l'imprimante. En effet, la qualité d'impression étant devenue bien supérieure à ce que pouvait reproduire l'écran (300, 400 et 600 DPI), il devenait impossible de maintenir cette équivalence.

Il a donc fallu concevoir un nouveau langage d'interface entre l'ordinateur, qui a une résolution de 72 DPI, et l'imprimante laser, qui en possède un minimum de 300. Ce langage, nommé "PostScript", traduit les informations qui permettent à l'ordinateur d'afficher la page en instructions destinées à l'imprimante laser.

Les caractères qui composent une police laser ne sont pas formés de points, mais de vecteurs qui définissent leur contour, ce qui permet à l'imprimante laser de les reproduire dans toutes les tailles et avec toutes sortes de déformations, toujours avec la même précision.

2.4.3 Le traceur de courbes à plumes

Le traceur de courbes est apparu dès le début de l'informatique, bien avant avant l'invention de l'imprimante laser. Il s'agit de l'un des plus imposants périphériques. Il sert à tracer des plans et des dessins sur un support papier à l'aide de plumes. Son côté imposant provient du format de papier qu'il a à manipuler (à l'époque, les traceurs écrivaient sur des formats supérieurs à A0). De plus, la mécanique nécessaire pour tracer un dessin le rend comparable à un véritable robot.

La nécessité de l'invention des traceurs de courbes a été apportée par les nouvelles applications de la cartographie informatisée. L'un des premiers traceurs de courbes a été mis au point en 1959 par la compagnie CalComp de la Californie, qui fabrique toujours des traceurs⁷ et qui a été pendant longtemps l'un des leaders de la géomatique.

Les premiers modèles étaient des traceurs horizontaux dans lesquels le papier était fixé à plat. Un bras mobile se déplaçant sur roulettes simulait l'axe des "x", tandis qu'un porte-plume se déplaçait sur le bras pour exprimer l'axe des "y". Sur le porte-plume était fixé un mécanisme servant à déposer et à relever la plume. La feuille était maintenue sur place par succion.

Vint ensuite le traceur vertical: le papier était fixé à une courroie verticale se déplaçant de haut en bas le long d'un tablier mobile. Le déplacement du papier simulait alors l'axe des "x" tandis que l'axe des "y" était produit par le déplacement du porte-plume situé au sommet de la courroie⁸. L'avantage du traceur vertical réside dans le fait qu'il occupe beaucoup moins d'espace que le traceur horizontal, car la feuille, en plus d'être placée verticalement, se replie sur elle-même grâce à la courbure de la courroie.

Actuellement, tous les traceurs de courbes de grands formats sont de type vertical (format D et E ou A1 et A0), mais, pour diminuer les coûts du traceur, on a supprimé le tablier mobile au profit de roulettes qui déplacent la feuille elle-même, ce qui a malheureusement pour effet de réduire la précision du tracé (la feuille ayant tendance à se décaler tout au long du traçage). Les traceurs de petits formats présentent encore le format horizontal (format A, B, C ou A4 à A2)

Parallèlement au perfectionnement du mécanisme d'entraînement du traceur, une autre révolution se produisait. Il s'agit du perfectionnement des plumes et du papier qui servent aux tracés. Au début, on utilisait des pointes techniques de type "rapidograph" pour le traçage à l'encre, et des plumes à billes ou au feutre pour les présentations couleurs.

L'utilisation des plumes à l'encre s'avérait cependant très coûteuse à l'usage, car pour tracer sur du papier film, il fallait utiliser des plumes au tungstène ou au diamant, qui sont tous deux très onéreux. De plus, l'utilisation du papier film

s'avérait une aberration, car l'original n'était plus le plan tracé, mais bien le fichier informatique. À chaque modification effectuée avec l'ordinateur, il fallait donc retracer un film avec des plumes en diamant.

Les mentalités ont évolué et plusieurs innovations ont contribué au changement. Il s'agit de l'invention de la plume jetable pour traceur et du papier "vello-bond" (pour "Vellum" et "Bond"). La plume jetable a permis de ne plus dépendre des caprices des plumes conventionnelles, qui avaient tendance à cesser de fonctionner au milieu du traçage, faisant de cette étape la plus périlleuse du processus.

La seconde innovation a permis de son côté d'utiliser les nouvelles plumes sur un papier adapté, donnant d'une part la qualité du papier "Bond" pour les présentations des plans; et d'autre part, la transparence du papier "Vellum" pour la reproduction des dessins par procédé conventionnel de copie par transparence.

Ainsi, grâce à ce papier translucide, il est donc possible aujourd'hui de faire reproduire sur film, à la fin du projet, un cahier d'originaux destinés à l'archivage du cahier des plans.

2.4.4 Les traceurs électroniques

Les traceurs électroniques comprennent toutes les catégories de traceurs qui transforment l'information vectorielle en une matrice de points représentant le dessin, traitée dans une mémoire tampon puis reproduite ensuite sur une feuille par un procédé électronique. Ce procédé peut être le transfert électro-statique, laser, thermique ou par jet d'encre électrolysé.

Les traceurs électroniques offrent le grand avantage de tracer des dessins de grands formats à très grande vitesse. En effet, ils sont capables de reproduire un dessin numérique sur un papier de 36 pouces de largeur à un taux d'un pouce par seconde. De plus, les traceurs électroniques peuvent tracer une série de dessins un à la suite de l'autre, ce qui libère l'opérateur de l'obligation de superviser le traçage durant tout le processus.

Les traceurs électroniques ont fait leur apparition sous forme de traceurs électro-statiques, qui fonctionnent sur le principe d'un aimant qui magnétise sur

du papier de petits points qui attirent ensuite l'encre. Chaque point magnétisé et encre équivaut à un point qui aurait été tracé par la plume d'un traceur de courbes.

Le principe électro-statique était coûteux et difficile à entretenir. Il a donc été remplacé par le principe laser, qui fonctionne exactement comme une imprimante laser, mais en plus grand format. Le traceur laser est beaucoup fiable, mais son coût n'en fait pas un outil accessible pour un bureau d'architecte.

Pour tenter de réduire les coûts de production des traceurs électroniques, l'industrie a mis au point le traceur thermique, qui fonctionne exactement selon le principe du télécopieur (ou fax). L'inconvénient de ce procédé provient du type de papier utilisé. En effet, le papier thermique a malheureusement le défaut de noircir à la chaleur, ce qui l'empêche d'être utilisé par le processus de copie ozalide.

La véritable révolution provient des traceurs à jet d'encre, qui permettent les mêmes avantages que les précédents, mais à un coût inférieur à celui d'un traceur de courbes. Leur principe réside dans le traçage par un jet d'encre ionisé qui permet d'imprimer de très petits points sur une feuille sans mécanisme élaboré.

L'impact qu'a eu le traçeur à jet d'encre est comparable à celui des plumes jetables pour les traceurs de courbes, car il permet désormais de produire en moins de dix minutes une copie sur papier d'un dessin numérique.

C'est cette simplification du processus de traçage qui a provoqué le glissement de la notion d'original à partir de la copie papier vers celle du dessin numérique. L'original des dessins du projet réside maintenant dans l'ordinateur; les corrections apportées au projet ne sont que reflétées par les copies tracées sur papier.

Notes:

- 1 Le terme "pixel" provient de l'anglais "picture cell", qui veut dire un point lumineux de l'écran. La résolution d'un écran se définit donc d'après le nombre de pixels de largeur par le nombre de pixels de hauteur, ou d'après le nombre de pixels par pouce carré.
- 2 Les formats de résolution graphique subséquents furent les suivants.

IBM/PC	Pixels	Mac	Pixels	Nom
CGA	640 x 350	Mac Plus	512 x 342	Color Graphic Adaptor
EGA	640 x 480	Mac II	640 x 480	Enhanced Graphic Adaptor
VGA	800 x 600			Video Graphic Adaptor
VGA Pro	1024 x 768	Mac II	1024 x 1024	Video Graphic Adaptor
PGA	1280 x 1024	Mac II	1280 x 1024	Professional Graphic Adaptor
- 3 Tous ces formats n'ont pas systématiquement une seule résolution. Ainsi, certains types d'écrans peuvent recevoir des résolutions différentes: ce n'est que la taille du pixel qui change. C'est le cas du "MultiSync", disponible en format de 14" ou 19", qui s'ajuste automatiquement à la résolution demandée par l'ordinateur.
- 4 Même si l'on ne peut voir à l'écran qu'un nombre limité de couleurs, on peut néanmoins choisir ce nombre de couleurs dans une palette. Ainsi, la norme EGA offre une palette de 4 096 couleurs (16 tons de rouge x 16 tons de vert x 16 tons de bleu = 4 096 possibilités). De son côté, le PGA offre 256 couleurs de base qui peuvent donner un choix de 16 777 216 nuances (256 x 256 x 256), soit près de 17 millions. Pour remplacer le PGA déjà désuet, on a vu récemment sortir sur le marché le VGA qui offre un nombre de couleurs variant entre 16 et 256, selon la résolution utilisée, et qui a conduit à la création toute récente du XGA (pour "eXtended Graphic Adaptor").
- 5 En informatique, la notion de temps réel sera toujours un peu utopique, car l'ordinateur mettra toujours un certain temps à réaliser un calcul. Il s'agit donc de produire un calcul plus rapidement que le temps de perception de l'utilisateur. Comme on désire un calcul de plus en plus complexe (par exemple pour obtenir des ombres portées, pour plus de réalisme), on devra toujours avoir recours à des ordinateurs plus puissants pour obtenir le "temps réel".
- 6 Le programme qui s'apprête à utiliser l'image TIFF commence par lire cette étiquette pour savoir comment décoder le fichier. On a d'abord conçu un fichier TIFF-8 (à 8 bits) pour le noir et blanc, puis TIFF-24 (à 24 bits) pour la couleur et maintenant TIFF-Groupe 3 (à 1 bit) pour les télécopieurs.
- 7 En 1984, l'auteur de cette thèse a participé au concours international de la compagnie CalComp, qui fêtait le 25^e anniversaire de l'invention du traceur. Il s'agissait de réaliser une œuvre d'art utilisant ce médium. Il a remporté le quatrième prix pour une gravure d'encre noire sur cire de couleurs (vieille technique d'arts plastiques) où le traceur a gravé à sa place le dessin informatisé.
- 8 Les éléments qui déterminent la qualité d'un traceur sont principalement.
 - la vitesse maximum de la plume sur le papier (entre 125 à 35cm/ seconde),
 - l'accélération, qui est le temps que met le traceur pour atteindre la vitesse maximum (entre 1G et 4G, 1G étant l'équivalent de la gravité sur terre),
 - le nombre de plumes que comporte le porte-plume (qui est généralement de 8, bien que 4 suffisent), et
 - la précision du traceur, qui se compte par la distance et l'angle entre deux pas (décomposition en micro-vecteurs).

3 LA CAO ACTUELLE

Issue d'une nouvelle approche informatique consistant à considérer le graphisme comme langage de base, l'infographie est la science du graphisme par ordinateur. Elle comprend l'animation par ordinateur, la publication par ordinateur (PAO), la conception assistée par ordinateur (CAO) et bien d'autres applications à venir.

La CAO est donc une approche informatique qui consiste à utiliser des éléments manipulables et transformables dans le but de les faire évoluer pour obtenir un produit à l'étape de la conception. Alors que l'infographie est un moyen en soi pour obtenir un produit fini, comme une animation ou un journal, la CAO se distingue par le fait qu'elle n'est qu'un moyen d'obtenir un projet.

Les logiciels de CAO comportent des fonctions qui créent des objets graphiques, les éditent, les traitent et les reproduisent. Le logiciel de CAO gère donc des objets dans une base de données graphiques. Une base de données CAO peut être soit en deux dimensions ou 2D (x,y) ou en trois dimensions ou 3D (x,y,z). Dans le cas du 2D, elle est appelée un dessin CAO ("drawing"), tandis qu'en 3D, elle est appelée une scène ("model file").

Les dessins CAO accumulent et gèrent dans un fichier informatique, sous la forme d'un plan cartésien, des objets graphiques 2D simples ou complexes, comme des groupes et des symboles graphiques. Un objet graphique est un élément indépendant qui peut être déplacé, copié, effacé ou transformé sur un plan ou dans un espace.

3.1 L'histoire de la CAO

La CAO (Conception Assistée par Ordinateur) est le domaine de l'informatique qui touche à la conception et au dessin en utilisant l'ordinateur comme outil. Si la CAO est ce qu'elle est aujourd'hui, avec ses avantages et ses inconvénients, c'est que son évolution a été teintée par les étapes à travers lesquelles elle est passée.

La CAO provient de systèmes graphiques primaires qui, à l'origine, étaient fournis avec l'ordinateur, à même sa carte graphique. La carte graphique est une composante de l'ordinateur qui sert d'interface entre celui-ci et l'écran graphique.

Ces logiciels étaient donc des interpréteurs intégrés dans les routines internes de l'ordinateur ("built-in"), qui servaient à donner des instructions binaires à celui-ci pour qu'il puisse générer à l'écran des formes graphiques telles que des lignes, des rectangles et des cercles.

Avec la progression de la CAO, les logiciels sont devenus des bases de données qui gèrent désormais des séries d'instructions graphiques destinées à l'écran. Ces séries d'instructions ont évolué pour se transformer en véritables objets pouvant être déplacés, copiés, supprimés, modifiés ou édités.

3.1.1 Les années 60

Pendant les années soixante, les systèmes de CAO ont d'abord été mis au point pour le design de circuits électroniques, qui exigeaient la manipulation de multiples lignes superposées et l'agencement complexe de symboles graphiques. Parallèlement, des applications graphiques simples, telles que le logiciel "Sketch Pad", sont venues donner un avant-goût de l'utilité potentielle de l'ordinateur dans le domaine graphique.

Les nombreuses possibilités de ces systèmes ont vite amené les avionneries et les fabricants d'automobiles à s'intéresser à leur développement. La troisième dimension s'est greffée sur le dessin 2D, qui utilisait le plan cartésien (x,y) comme canevas. Ceci allait permettre d'envisager la manipulation d'objets 3D

dans un espace cartésien (x,y,z) . Les logiciels 3D permettent alors de réaliser le design des pièces d'avion et de carrosserie d'automobile.

De l'électronique, en passant par l'avionnerie, la CAO s'est étendue au domaine de l'ingénierie civile, mécanique et électrique. Jumelée à d'autres programmes de calcul, la CAO est vite devenue un outil graphique associant la puissance de l'ordinateur à la qualité de la représentation à l'aide du dessin.

Après l'adaptation de la CAO à l'ingénierie, les informaticiens se sont attelés au défi de la transposition de leur produit au domaine de la création et de l'art. Leur premier essai s'est dirigé du côté de l'architecture, en raison de sa proximité avec le monde scientifique et parce qu'elle partage avec le génie le domaine de la construction et du dessin technique.

La première erreur des informaticiens fut de croire que l'architecte est un ingénieur qui dessine des maisons, au lieu d'un artiste qui crée des structures. Partant d'une vision de l'architecte travaillant sur une table à dessin toute la journée, ils ont négligé la part de créativité dont celui-ci se sert dans l'élaboration d'un concept ou d'un projet.

Cette interprétation simpliste de l'architecture les a amenés à imaginer des logiciels de CAO qui ne faisaient que rajouter certaines fonctions adaptées au dessin de bâtiments, comme la création de lignes doubles pour les murs ou l'insertion automatique de symboles de portes, sur des logiciels de DAO conçus pour la représentation de circuits électroniques ou d'ailes d'avions.

C'est cette erreur d'interprétation de l'architecture qui a donné lieu à toute la mésadaptation de la CAO actuelle au domaine de la création et du design d'architecture¹.

3.1.2 Les années 70

Le début de la CAO a nécessité le dialogue entre deux types de professions qui n'avaient aucun point commun: l'architecture et l'informatique. D'un côté, on trouvait des informaticiens qui ne connaissaient pas grand-chose à la conception, et de l'autre des architectes qui ne s'imaginaient pas ce qu'était l'informatique.

Néanmoins, pendant les années 70, un groupe d'architectes s'est tout à coup intéressé à l'informatique, croyant qu'avec le développement rapide de l'informatique, la science arriverait à créer un système-expert qui pourrait remplacer l'architecte dans son rôle de créateur et concevoir directement un bâtiment grâce à l'interaction avec l'utilisateur ou le client.

Ce groupe d'architectes, motivés par le côté administratif et lucratif de la profession, pensaient contrôler ainsi le côté créatif à l'aide de l'ordinateur. En effet, si l'ordinateur parvenait à s'occuper de générer des alternatives à l'infini, l'architecte pourrait alors passer plus de temps avec son client. Celui-ci aurait ainsi plus d'attention afin de mieux exprimer les contraintes qui le caractérisent.²

Les recherches sur les hypothèses de cette école de pensée n'ont jamais produit les résultats espérés. En l'absence de résultats probants, cette tentative a prouvé que la conception n'est pas facilement programmable et que les paramètres du design sont difficilement quantifiables.

3.1.3 Les années 80

Les premiers logiciels de CAO ont été produits sur des macro-ordinateurs ("main-frame"), car la manipulation d'informations graphiques demandait une puissance de traitement maximale.

Lorsque sont apparus les micro-ordinateurs, au début des années 80, la CAO a dû s'adapter à ce nouveau support informatique, bien inférieur au précédent. Cet avènement a porté un grand coup aux "systèmes fermés" de la CAO, qui coûtaient environ dix fois plus que les logiciels des micro.

Du même coup, le marché s'est trouvé inondé de logiciels de mauvaise qualité, provoquant une régression de la qualité et de la performance des systèmes CAO qui existaient à cette époque. Ce compromis technologique a forcé les informaticiens à repenser leur produit à la baisse pour s'adapter à ce nouveau médium. À force d'épurer leurs programmes, ils en ont handicapé les possibilités originales.

Les architectes des années 80 ont longtemps gardé cette impression d'échec de la CAO, malgré le fait que cet échec fut un bienfait pour l'architecture elle-

même: elle a ainsi évité de voir la fonction du design réduite à un programme informatique et l'architecte ravalé au rang d'opérateur.

Cinq ans plus tard, les informaticiens sont revenus à la charge avec leurs versions améliorées de la CAO sur micro-ordinateurs. Laissés à eux-mêmes par la désaffection des architectes, ils ont produit ce qu'ils pensaient être le mieux pour l'architecture, sans véritable connaissance du processus de design, à part la conception de circuits électroniques ou de plomberie. Citons en exemples des logiciels comme IDP ("Intelligent Drawing Package") de CalCOMP ou BD&D ("Building Design & Drafting") d'Arris.

Ces logiciels s'inspiraient des commentaires de professionnels proches des informaticiens, c'est-à-dire les ingénieurs. Pendant ce temps, les architectes les recevaient passivement, sans même savoir comment les évaluer et les critiquer, ou même pire, sans savoir à quoi cela pourrait leur servir.

3.1.4 Les années 90

Aujourd'hui, dans les années 90, nous sommes dans une période de développement de nouveaux ordinateurs, de nouveaux périphériques, de nouvelles plate-formes et de systèmes d'exploitation, au détriment du développement du logiciel lui-même. En effet, après dix ans, la micro prend une nouvelle forme physique et les développeurs de logiciels préfèrent attendre que de nouvelles normes s'établissent avant de se risquer dans de nouveaux produits.³

Une fois que la plate-forme sera établie, les périphériques ajustés, le système d'exploitation et l'interface-usager normalisés, il sera possible d'assister à la sortie d'une nouvelle vague de logiciels qui profiteront alors de la technologie disponible et de la puissance des nouveaux ordinateurs.

3.2 La structuration des dessins en CAO

Depuis la deuxième génération de système CAO, il est désormais possible d'emmagasiner les formes géométriques dessinées sur l'écran dans un fichier informatique qui porte le nom de dessin numérique.

Ce fichier peut représenter soit un plan, soit un espace cartésien, où les formes géométriques sont positionnées grâce à leurs coordonnées 2D ou 3D. L'ensemble des formes géométriques de ce fichier constitue ainsi la représentation en plan et en coupe d'un projet, ou sa maquette 3D.

En plus de son nom, le fichier possède des caractéristiques qui définiront le dessin numérique dans le projet et qui influenceront le comportement des formes qui le composeront, comme son échelle, sa précision et sa grandeur de feuille.

Les dessins numériques sont le véhicule des données graphiques dans la CAO actuelle, c'est pourquoi il est important de bien saisir leur composition en faisant la description de leur structure.

3.2.1 L'objet graphique simple

Un objet graphique simple est une forme géométrique qui correspond à une formule mathématique précise ou à un concept graphique particulier. Un objet graphique simple est composé d'une origine, d'une matrice de transformation, d'une description géométrique et d'un ensemble d'attributs graphiques et non-graphiques.

Chaque objet graphique possède une origine unique qui sert à le localiser sur le plan. La description géométrique ou volumétrique des objets se fait relativement à cette origine. Cette origine, qui peut être 2D ou 3D, est déterminée par rapport à l'origine du plan cartésien (0,0).

Une matrice de transformation comprend les valeurs qui permettent de modifier l'apparence d'un objet graphique ou de ses copies sur le dessin, soit par l'angle de rotation, par l'échelle ou par sa position.

La description géométrique est la liste des paramètres qui définiront sa couleur à l'écran, sa plume au traceur, son type de ligne, sa texture, sa couche, son type de lettrage, etc.

Les attributs non-graphiques sont des variables alphanumériques associées à l'objet et servant aux bases de données alphanumériques.

Par exemple, dans AutoCAD, le dessin 2D est composé de cinq types d'objets simples ("entities"), classés en fonction de l'équation mathématique qui le représente. Ceux-ci sont:

- des lignes	"LINE"
- des arcs de cercles	"ARC"
- des cercles et ellipses	"CIRCLE"
- des textes	"TEXT"
- des formes pleines	"SOLID"

3.2.2 L'objet graphique complexe

Un objet graphique complexe est le regroupement d'objet simple dans une nouvelle entité appelé le groupe (ou "BLOCK" dans le logiciel AutoCAD). Un groupe peut être regroupé à nouveau pour constituer un groupe de niveau supérieur. C'est le principe des ensembles.

Si un groupe est associé à un nom, donc à un concept précis et décrivable, il s'appelle alors un symbole graphique. Un symbole peut être à son tour rangé dans une librairie de symboles extérieure au dessin où il peut alors être utilisé par plusieurs dessins. Les types d'objets graphiques complexes un logiciel comme AutoCAD sont:

- des symboles	"INSERT"	composés d'une liste d'objets simples;
- des polylignes	"PLINE"	composées de lignes, d'arcs et de points;
- des dimensions	"DIM"	composées de lignes, de symboles et de textes;
- des textures	"HATCH"	composées de lignes, d'arcs et de symboles.

Des attributs non-graphiques (également appelés "propriétés") accompagnent les symboles graphiques. Un symbole peut posséder jusqu'à 255 attributs. C'est souvent par le biais de ces attributs, contenus dans les symboles graphiques,

qu'il est possible d'exporter de l'information vers les bases de données alphanumériques.

Ceux-ci sont de véritables variables liées à une représentation graphique qui possède une position en x, y et z. Ces coordonnées permettent d'associer les attributs non-graphiques à une zone, et de prendre ainsi la valeur de cette zone.

Les attributs non-graphiques peuvent être de type positionnel, ce qui signifie que chaque symbole placé dans un dessin est associé à un périmètre qu'on nomme "zone".⁴

Les attributs non-graphiques associés aux symboles sont composés:

- d'un nom d'attribut;
- d'un champ d'attribut (numérique ou alphabétique);
- d'un type de l'attribut (géométrique, positionnel ou qualitatif);
- d'un mode d'attribut (visible, invisible, constant ou préétabli).

Ces attributs non-graphiques peuvent être du type qualitatif ou quantitatif, mais peuvent être également du type géométrique, tels que:

- le périmètre;
- la surface;
- le volume et la hauteur d'un périmètre; et
- la surface de murs ou de planchers.

Les attributs peut comprendre un mode de visualisation (visible ou invisible); un mode de valeur de départ, (préétabli ou constant); ou être accompagné d'une question à l'utilisateur pour en vérifier la valeur. Ces modes servent à définir comment se comporteront les attributs non-graphiques au moment où ils seront placés sur le dessin par l'utilisateur.

3.2.3 Les composantes architecturales

Les dessins numériques constituent des bases de données graphiques sur le projet. En plus d'être des dessins de plans, de coupes ou de schémas, ils permettent d'extraire sur celui-ci des informations organisées entre elles selon une relation graphique plutôt qu'alphanumérique comme dans une base de données relationnelles conventionnelle.

Le dessin numérique constitue la base qui contient les composantes architecturales qui définiront le projet. Les composantes architecturales sont des

symboles graphiques (objets complexes) qui sont eux-mêmes un assemblage d'objets graphiques simples.

Chaque symbole graphique placé sur le dessin numérique représente alors un élément d'architecture (portes, murs, planchers, plafonds, ouvertures, etc.), de génie (diffuseurs, prises électriques, luminaires, etc.) ou d'aménagement (meublier, ordinateurs, cloisonnettes, etc.) et possède un code d'identification se rapportant à une codification unique.

Tous les éléments codés sont classés selon trois types de composantes:

- les éléments ponctuels (symboles graphiques);
- les éléments linéaires (murs, conduites, circuits, etc.);
- les éléments planaires (zones, planchers, plafonds, etc.).

Les logiciels de CAO, qui utilisent le concept des composantes architecturales, s'appuient tous sur une base informatique faisant référence aux objets graphiques de la façon décrite ci-dessus. On obtient donc un logiciel de CAO fonctionnant avec des objets graphiques 2D ou 3D, sur lequel vient se greffer un autre logiciel ou un module qui travaille avec le concept des composantes architecturales.

3.2.4 Les couches du dessin numérique

Les couches ("layers") du dessin numérique sont utilisées pour différencier les informations de type différent, comme par exemple les différents types de plans (architecture, électricité, plafond, etc.). Les objets graphiques, ainsi que les composantes architecturales, sont disposés en une série de couches prédéfinies qui agissent alors comme sous-ensembles du dessin numérique.

Lorsque plusieurs personnes ou équipes travaillent sur un même projet, il devient nécessaire de normaliser la convention de ces couches pour que tous les intervenants se retrouvent dans ce système de classement. Ces couches doivent donc être prédéfinies, afin de pouvoir offrir une homogénéité d'un dessin à l'autre, d'un opérateur à l'autre ou d'un projet à l'autre.⁵

Dans un logiciel comme AutoCAD, le système de couches est composé de noms de couches. Il est limité à 65 000 couches, ce qui le rend en pratique sans limite.

Dans d'autres logiciels, le système de couches est soit alphanumérique, soit numérique. S'il est numérique, il est généralement limité à 256 couches.

Chaque couche peut posséder des propriétés particulières qui viendront qualifier ou contraindre son utilisation. Lorsqu'on travaille dans un logiciel de CAO, chacune des couches peut avoir l'une des propriétés suivantes:

- la couche peut être active, ce qui veut dire que le prochain objet graphique sera créé sur cette couche (une seule couche est active à la fois);
- la couche peut être sélectionnable, ce qui veut que les objets qu'elle contient peuvent être sélectionnés pour être édités;
- la couche peut être visible, ce qui implique que les objets de cette couche sont affichés ou tracés, mais ne peuvent être édités;
- la couche peut être en référence, ce qui veut dire qu'elle fait partie d'un autre dessin numérique et qu'elle est visible dans ce dessin pour consultation seulement.

Enfin, pour simplifier l'utilisation, la couche peut également posséder des attributs graphiques qui viendront qualifier l'ensemble des objets graphiques qui la composent. Ces paramètres graphiques sont la couleur des objets, leur plume au traceur et le type de lignes qui qualifient le trait.

3.3 La classification des données

Pour bien comprendre l'effet qu'auront les données sur le nouveau processus de design avec l'ordinateur, il est important de bien connaître les types de données avec lesquelles les logiciels vont travailler tout au long du processus de design du projet.

À toutes les étapes du projet, les logiciels vont utiliser et générer des données sous une forme quelconque. Le format de ces données prend donc une dimension importante, car c'est lui qui détermine si le logiciel de l'étape suivante peut ou ne peut pas utiliser les données accumulées.

Par exemple, le rapport des surfaces permises pour un projet se présente sous la forme de colonnes de chiffres et de caractères. Ces caractères ne "disent" rien au programme de dessin à main levée (de type "MacPaint") qui, lui, s'attend à recevoir des pixels soit noirs, soit blancs.

C'est pourquoi avant même d'être en mesure d'analyser le contenu des données, l'ordinateur doit pouvoir comprendre la forme (le contenant) qu'ont ces données. J'ai donc répertorié quatre grandes familles de données qui regroupent l'ensemble des formes qu'elles peuvent avoir. Ces quatre familles portent le nom de 1D à 4D, car elles sont classées selon les quatre dimensions que voici:

- 1D Les textes alphanumériques;
- 2D Les dessins en deux dimensions;
- 3D Les volumétries en trois dimensions;
- 4D Les animations et les données influencées par le temps.

Ces familles permettent de bien saisir le facteur prédominant qui influence la manipulation de ces données. Ainsi, chacune des familles a sa caractéristique propre qui différencie ses données de celles des autres familles.

De plus, chaque famille a été découpée en sous-familles qui permettent d'établir un dégradé entre la famille précédente et la suivante. Ce clivage en sous-familles permet d'aplanir la différence existant entre les familles, qui rend l'échange des données difficile entre logiciels de type différent.

Pour l'exercice de classification, les familles sont toutes divisées en quatre parties. Ces quatre parties pourraient symboliser des quarts, partant du point de départ de la famille (comme le texte) et allant jusqu'à la famille suivante (dans cet exemple-ci, le dessin).

3.3.1 Le 1D: Les textes

La première famille de données décrite dans cette section est apparue suite à une déduction faite en observant les deux autres familles qui seront décrites après celle-ci: le 2D et le 3D.

En effet, on connaît beaucoup plus le 2D et le 3D. Mais on constate néanmoins que les textes et les chiffres alignés les uns à la suite des autres sont pour ainsi dire prisonniers de la ligne sur lesquels ils sont. Ainsi, la raison pour laquelle ils sont répartis sur plusieurs lignes provient du fait qu'il faut couper cette ligne pour la rentrer sur une page. Si l'on faisait abstraction de cette contrainte, le texte pourrait théoriquement s'étendre sur une seule ligne jusqu'à sa fin.

C'est pourquoi le texte est considéré ici comme se présentant dans un format linéaire et relevant donc de la première dimension. À partir de cette constatation, il est possible de décomposer cette famille en sous-familles, car le texte peut à son tour être divisé en plusieurs sous-groupes, selon son niveau de mise en forme. Les sous-familles sont:

1	Les textes bruts	(documents ASCII);
1 1/4	Les documents "formatés"	(ex.: Word Perfect);
1 2/4	Les chiffriers	(ex.: Lotus 1-2-3);
1 3/4	Les bases de données	(ex.: dBASE).

Plus on avance dans les sous-familles, plus le niveau de structuration augmente. Du texte brut, sans format, on termine avec les bases de données, qui représentent le summum de l'organisation de données de format texte, en passant par deux niveaux: celui de la structuration des textes (le traitement de textes) et celui de la structuration des chiffres (le chiffrier).

3.3.2 Le 2D: Les dessins

La deuxième famille est le 2D, ou la deuxième dimension. Cette famille de dimensions, qui est la plus connue, constitue la base de tout dessin sur un plan. On y trouve le plan, ainsi que toutes les vues orthogonales qui peuvent être représentées dans une vue 2D, comme l'élévation et la coupe.

Pour ce qui est de la représentation 3D, ou en d'autres mots, le moment où le modèle 3D est représenté sur un plan 2D (le tableau), le résultat de cette visualisation est dans le format du 2D. Autant sur papier que sur un écran d'ordinateur, la vue générée est en deux dimensions.

En se basant sur cette constatation et en additionnant les autres types de vues énumérés plus haut, ceci définit l'ensemble des données qui font partie de cette famille.

En partant du plan, chacune des sous-familles de cette famille se rapproche de la prochaine famille, le 3D. Cette gradation permet d'observer un continuum entre les dimensions, ce qui facilitera le transfert entre les données. Les sous-familles sont:

2	Les dessins numérisés	(ex.: MacPaint);
2 1/4	Les dessins vectoriels	(ex.: MacDraw);
2 1/2	Les dessins extrudés	(ex.: AutoCAD);
2 3/4	Les bâtiments extrudés	(ex.: ARRIS).

Le dessin numérique représente l'une des premières étapes de l'entrée des données 2D dans l'ordinateur. Cette entrée des données se fait soit par le dessin à main levée, à l'aide d'un logiciel de dessin par pixels, soit par numérisation optique d'un dessin à l'aide d'un numériseur ("scanner"). Que ce soit par l'un des deux moyens, le résultat donnera un fichier de type matriciel, composé de pixels.

Le dessin vectoriel est composé d'objets graphiques générés à l'écran ou sur le papier par le traçage de vecteurs représentés par des coordonnées sur le plan cartésien. Chaque objet graphique découle d'une équation mathématique et peut donc être décomposé en vecteurs 2D.

Le dessin extrudé est également composé d'objets graphiques, mais ceux-ci possèdent une valeur qui caractérise leur profondeur ou leur hauteur dans la troisième dimension. Grâce à cette caractéristique, et sans être de véritables objets 3D, les objets du dessin extrudé peuvent être disposés dans l'espace cartésien avec une représentation en 3D.

Le dessin de bâtiments extrudés ressemble au précédent, mais au lieu d'être composé d'objets graphiques, il est fait de composantes architecturales qui possèdent chacune leur hauteur ou leur profondeur. Ainsi, le bâtiment est représenté en plan avec des composantes architecturales possédant une représentation en 3D. La porte et le mur se voient donc attribuer une hauteur, tout comme le plancher et le plafond possèdent un niveau.

Avec ces sous-familles, il devient possible de catégoriser les données générées par les divers logiciels. Ainsi, il sera plus facile de transférer des données d'une sous-famille à l'autre.

3.3.3 Le 3D: Les volumes

La famille du 3D, ou de la troisième dimension, est le domaine de la volumétrie et de la visualisation. Grâce aux possibilités de l'infographie, qui permet de créer des modélisations 3D enregistrées sous cette forme, les dessins et vues d'un projet sont maintenant interreliés.

En effet, chaque vue et chaque dessin orthogonal est généré à partir du modèle 3D. L'original n'est pas le dessin, mais bien le modèle 3D. Il suffit de changer le modèle et toutes les vues qui en découlent seront modifiées.

Tandis que dans le mode de dessin traditionnel, chaque vue 3D (comme une perspective ou une axonométrie) était une dérivée du dessin de base, qui pouvait être un plan ou une élévation. Si ce dessin de base était modifié, la vue ne l'était pas automatiquement, comme dans le cas de la modélisation 3D.

Cependant, avec la construction de maquettes, il est possible d'obtenir une interaction directe entre la modification du projet et sa visualisation. L'infographie apporte donc un jumelage entre les avantages de la maquette et le maillage des dessins.

Dans la famille du 3D, quatre sous-familles permettent de dégrader le passage du 2D à la prochaine famille. Ces quatre familles tiennent compte de la complexité de la structure même de la construction des éléments 3D. Ces sous-familles sont:

3	Les points et les lignes	(ex.: TRID, Univ. Laval);
3 1/4	Les surfaces polygonales	(ex.: TD-MODEL, UQAM);
3 1/2	Les rendus et textures	(ex.: TOPAZ, Targa);
3 3/4	Les surfaces gauches	(ex.: Alias).

La première sous-famille est la plus simple expression du 3D. Il s'agit d'une liste de points en coordonnées x , y et z , lesquelles sont associés à une liste de pointeurs qui constituent le lien entre deux points. On obtient donc une série de points en 3D reliés entre eux par une série de lignes. Cette technique ne permet pas de reconstituer des surfaces, ce qui implique qu'il est impossible de recréer des vues en faces cachées, mais seulement des vues en broches ("wire-frame").

La deuxième sous-famille est la plus connue à l'heure actuelle. Il s'agit des surfaces 3D, ou de la description polygonale. Dans ce mode, chaque objet est décomposé en polygones, qui le sont à leur tour en lignes et en points. Cette sous-famille permet la génération de vues en faces cachées et le calcul d'ombres propres et projetées.

La troisième représente une évolution directe à partir de la précédente, car elle ajoute à la description polygonale la possibilité de texturer et de définir des rendus pour chacune des surfaces. Cette sous-famille permet la génération de vues réalistes, incorporant des finis comme la transparence et la réflexion.

Enfin, la quatrième sous-famille est celle de l'extrapolation des surfaces ("patch"). Ce système permet de générer des surfaces gauches qui seraient extrêmement difficiles à reproduire avec la description polygonale. Les surfaces gauches sont donc synthétisées grâce à des équations mathématiques du type de la spline ou de la courbe bézier, qui permettent de représenter des courbes extrêmement complexes avec un minimum de points.

3.3.4 Le 4D: Le temps

Avec cette quatrième famille, on aborde un aspect de l'espace-temps qui continue de fasciner la science. D'après le dictionnaire Larousse, la quatrième dimension est celle du temps tel que qualifié par la théorie de la relativité

Ainsi, le temps serait la quatrième dimension, ce qui implique que les objets, définis selon trois dimensions spatiales, auraient également une position dans la quatrième dimension, celle du temps.

L'animation

La dimension du temps permet ainsi à la modélisation 3D d'évoluer vers de nouvelles possibilités, celle de l'animation et du mouvement cinétique. Avec cette nouvelle dimension, le concepteur peut donc présenter son projet avec sa vision cinétique de celui-ci. Il pourra amener le spectateur à l'intérieur ou autour de son projet, afin de lui permettre de l'apprécier avec les impressions mêmes qu'il a voulu lui transmettre.

Afin de passer de la dimension du temps à celle de la simulation, quatre sous-familles permettent de catégoriser les données se rapportant au facteur temps.

Ces sous-familles sont:

4	Les vues cinétiques	(ex.: ARRIS);
4 1/4	Les animations 3D	(ex.: ALIAS);
4 1/2	L'animation interactive	(ex.: vidéo-disques);
4 3/4	La réalité virtuelle	(ex.: VIRTUS).

La première des sous-familles obéit au principe des vues cinétiques, qui consiste à générer des vues successives du modèle 3D du projet, afin de recréer un véritable diaporama illustrant une présentation cinétique du projet. Sans comporter les quinze (ou trente) images par seconde d'une animation⁶, cette façon de présenter les projets est réalisable avec la majorité des logiciels de modélisation 3D conçus pour l'architecture. Elle permet à un concepteur de présenter la vision cinétique de son projet.

La deuxième sous-famille, l'animation, est la plus connue de la dimension du temps. C'est par ce moyen que l'infographie 3D s'est fait le plus reconnaître.

L'animation par ordinateur consiste d'une part à modéliser un décor et des personnages, et d'autre part à animer les personnages et les accessoires, pendant que la caméra se déplace à travers les décors. Le résultat produit tient alors plus du film que de l'architecture.

Avec l'expérimentation des nouveaux outils informatiques est apparue la troisième sous-famille, l'interactivité. Celle-ci consiste à prévoir plusieurs scénarios permettant à l'utilisateur de choisir le film qu'il désire. L'infographie se prête bien à cette approche car elle permet de calculer facilement des assemblages de vues différents. La seule difficulté réside dans le temps de calcul des vues, car la modélisation reste la même.

Pour pouvoir emmagasiner les vues de tous ces scénarios, il faut un support pouvant contenir une telle quantité d'informations. On a alors recours à une nouvelle méthode d'enregistrement optique, soit le disque laser, qui existe en deux formats d'usage courant: le vidéo-disque interactif, pour les images provenant d'une source vidéo, et le CD-ROM pour les données exclusivement numériques.

Enfin, la dernière sous-famille de la famille du temps correspond au plus récent développement de la modélisation 3D: la réalité virtuelle. En un mot, la réalité virtuelle consiste à recréer ou à concevoir de nouveaux espaces ou situations en les modélisant en 3D. Au lieu de générer des vues à l'avance, comme c'était le cas dans les autres sous-familles, il s'agit plutôt de laisser l'utilisateur décider quelles vues il veut visualiser.

La réalité virtuelle exige un support technologique beaucoup plus grand, car l'ordinateur doit recalculer les vues en "temps réel" (c'est-à-dire au fur et à mesure qu'elles sont demandées, d'une façon instantanée). De plus, pour réaliser l'interface entre l'utilisateur et l'ordinateur, il faut avoir recours à de nouveaux périphériques, comme le gant muni de senseurs (voir section 2.2.3); tandis que pour reproduire la vision du monde imaginaire dans lequel il se trouve, on utilisera un casque équipé de deux mini-moniteurs stéréoscopiques qui traduisent le modèle 3D visualisé en vision tridimensionnelle (voir section 2.1.4).

La simulation

Comme dernière sous-famille de cette progression de la catégorisation des données à travers les différentes dimensions, osons la cinquième dimension, poétiquement associée à l'irréel. Dans le cas présent, elle représente plutôt la dimension de la simulation. En effet, il est facile d'établir un lien entre l'irréel et la simulation.

Cette dimension peut traiter des données impliquant des résultats influencés par les effets de la simulation (ex. le vieillissement des bâtiments, le développement d'une rue commerciale ou le déplacement de piétons dans un hall d'entrée). Ainsi, toutes ces données ont un point commun: chacun des résultats obtenus n'est pas plus valable que l'autre, car c'est la moyenne des résultats de tous les cas testés qui indique la direction vers laquelle il faut orienter les conclusions. L'élément clé est donc le processus par lequel on obtient les résultats ainsi que les paramètres qui ont été définis pour les obtenir.

Étant donné la nature moins conventionnelle de cette dimension, nous nous contenterons d'en établir la définition générique et pragmatique sans en définir les sous-familles. L'absence de dimension située au-dessus de celle-ci pour catégoriser d'autres types de données rend également moins nécessaire d'y discerner des échelons facilitant la transition.

Pour résumer toute la progression de la catégorisation des données à travers les dimensions, de la première dimension, celle du texte, jusqu'à la cinquième, celle de la simulation, on pourra consulter le tableau de l'annexe A, qui comporte l'énumération des dimensions avec chacune de leurs sous-familles.

3.4 Les générations de systèmes CAO

La micro-informatique a tellement évolué durant la décennie 80 qu'elle a rattrapé et même dépassé les ordinateurs traditionnels des années 70. Les logiciels de CAO ont pu à leur tour surmonter leur handicap et évoluer de leur côté.

C'est ainsi que la CAO en est maintenant rendue à sa troisième génération (ou mutation) et que nous sommes à la veille de voir apparaître la quatrième génération. La première étant celle des générateurs graphiques; la seconde, celle des objets graphiques; la troisième, celle des composantes architecturales; et la quatrième, celle du projet.

3.4.1 La première génération

La première génération de la CAO provenait des macro-ordinateurs et consistait en des générateurs de formes graphiques produisant des séries d'instructions binaires pour permettre à l'interface entre l'ordinateur et l'écran (ou carte graphique) de dessiner des formes géométriques sur l'écran à partir de coordonnées cartésiennes.

Cette génération demandait à l'utilisateur de créer des programmes qui devaient alors s'exécuter pour générer le dessin. Donc, chaque fois que l'utilisateur voulait voir son dessin à l'écran, il devait exécuter le programme contenant les commandes graphiques. Ce type de logiciel ne comportait pas d'interface avec l'utilisateur, mais s'opérait plutôt avec des commandes alpha-numériques tapées au clavier et emmagasinées dans l'ordinateur sous forme de série d'instructions graphiques (ou programme).

3.4.2 La deuxième génération

La deuxième génération de logiciels CAO est apparue à la suite d'études psychologiques sur la façon de communiquer avec l'humain. Elle reflétait très bien la nouvelle philosophie de la nouvelle interface entre l'homme et la machine: la convivialité ("user-friendliness").⁷

La deuxième génération a fait un pas de plus en créant des programmes capables d'organiser les données. L'utilisateur se servait désormais d'un logiciel pour générer des formes à l'aide de fonctions offertes dans un menu ou dans une palette. Ces formes allaient s'appeler les objets graphiques. C'est à cette génération qu'appartiennent AutoCAD et MacDraw.

Ces programmes structurent les données dans un fichier qui peut alors être mis en mémoire, chargé, imprimé ou affiché à l'écran à volonté. Les fonctions graphiques sont désormais reliées à des équations mathématiques, telles que la ligne, le cercle, l'ellipse, le polygone, la spline, etc. Ces équations mathématiques sont à la base des objets graphiques. Ainsi, chaque type d'objet graphique différent correspond à une équation mathématique précise.

3.4.3 La troisième génération

La troisième génération a la même forme que la seconde, sauf que les données produites par l'utilisateur ne servent pas à représenter des formes mathématiques ni des objets graphiques, mais des composantes architecturales. Au lieu de considérer des lignes et des arcs, l'utilisateur travaille plutôt avec des murs, des portes, des planchers, des plafonds, des meubles, des prises, etc., tant en deux dimensions (2D) qu'en trois dimensions (3D). C'est donc le programme qui gère la correspondance entre les composantes et leur décomposition en objets graphiques.

Cette génération a eu l'avantage de se dissocier des générations précédentes, pour lesquelles le dessin architectural n'était qu'une série d'équations mathématiques. Elle était également prometteuse en ceci qu'elle brisait la lignée des logiciels ayant l'objet graphique pour élément de base.

Par contre, elle ne convient qu'à des cas très précis de la pratique de l'architecture et ne tient pas du tout compte du processus de design en général, mais plutôt du type de résultats que produit le logiciel, tels que le 2D, le 3D ou les données alpha-numériques.

3.4.4 La quatrième génération

La quatrième génération se doit d'aller plus loin. L'élément de base ne serait plus les données d'un projet, mais le projet lui-même, dont les données prendraient alors différentes formes selon l'étape où il serait rendu. À chaque changement d'étape, le programme se chargerait de transformer les données générées par l'étape précédente.

Ainsi, la quatrième génération aurait le projet comme base de données et tout graviterait autour de lui. Avec la multitude de programmes de CAO qui se sont développés depuis dix ans, il deviendra possible de travailler avec un programme de CAO gérant tous les autres programmes et les ordonnant dans la séquence de la réalisation du projet. Les données générées par ces multiples modules seraient transposées d'une étape à l'autre.

Le processus de design sera donc revalorisé, et c'est lui qui déterminera la façon dont on utilisera les modules, qui généreront des résultats sous la forme ou le type les plus utiles au projet. Les logiciels cesseront d'être des éditeurs d'objets graphiques et seront plutôt des outils continus de design qui suivront l'architecte et son projet tout au long de la conception et de l'exécution des dessins.

Depuis la D.A.O. provenant de l'avionnerie jusqu'à la C.A.O actuelle, les logiciels ont subi maintes transformations sans jamais remettre en question leur propre fonctionnement. Mis à part la troisième génération qui a remplacé l'objet graphique par des composantes architecturales, les logiciels représentent en quelque sorte les équerres et les compas électroniques qui permettent aux dessinateurs de reproduire des formes géométriques.

Cette constatation amène deux conclusions:

- En passant de l'instrument de dessin aux mathématiques et à la géométrie descriptive, on a poussé encore plus loin la synthétisation du dessin jusqu'à en perdre même l'interférence positive que pouvait apporter le contact physique du crayon sur la feuille.

- En se limitant aux instruments de dessin synthétiques, on a escamoté toute la partie du dessin à main levée qui constitue une part importante du processus de design.

C'est pourquoi il était important de décrire tous les éléments et composantes de la CAO actuelle pour nous permettre de faire ressortir les bons et les mauvais côtés avant de les réassembler dans un nouvel ensemble qui s'harmoniserait avec le processus de design. La CAO prendrait alors sa place en tant qu'outil de l'architecte et teindrait le projet de par son utilisation.

Comme il a été cité au début de cette thèse, il est temps de montrer à l'ordinateur comment fonctionne un architecte.

Notes:

- 1 On peut nommer deux exemples de ce type de méga-systèmes de cette époque, soit le système CalCOMP et le système InterGRAPH, tous deux américains et vendus avec les logiciels intégrés à l'ordinateur (systèmes fermés).
- 2 Ce genre de programmes nécessite en effet des éléments descriptifs très précis de la part du client pour générer des solutions uniques. Autrement, toutes les itérations (ou alternatives) seront toujours identiques, la solution étant basée sur un calcul mathématique d'optimisation.
- 3 Il suffit de penser à des mésaventures comme le LISA d'Apple, ou plus récemment l'ordinateur NeXT.
- 4 Le concept de zone commence à prendre de plus en plus d'importance dans le domaine de la CAO appliquée à la gestion du bâtiment. On en trouve des applications dans les logiciels AutoGER avec AutoCAD, ARRIS de Sigma Design et IGS de CalComp.
- 5 Il existe un grand débat de fond sur le type de normalisation qui pourrait exister sur le plan national et même international. L'auteur fait partie d'un comité informatique qui travaille sur ce dossier et qui participera à une enquête internationale pour la création d'une norme mondiale.
- 6 En infographie, ainsi qu'en vidéo, la fréquence de régénérescence de l'image s'effectue au rythme de 60 demi-écrans (une ligne sur deux) par seconde, ou 30 écrans par seconde en raison des 60 cycles. L'animation infographique peut donc se faire au rythme de 30 images par seconde, ou 15 si chaque image est répétée deux fois, ou 10 pour trois répétitions.
- 7 Voir à cet égard le recueil de recherches sur le sujet intitulé *The Art of Human Interface*, par Mme Brenda Laurel, publié par Addison-Wesley, É.U..

4 LA NOUVELLE CAO

Ce quatrième chapitre de la thèse consiste en la description du déroulement du projet à travers un processus de design continu. Il s'agit ici de bien marquer l'interconnexion qui existe entre les étapes de manière à démontrer la possibilité d'utiliser l'ordinateur en tant qu'outil utile à la conception.

D'un autre côté, si l'on souhaite éviter que l'ordinateur devienne un boulet pour le concepteur, il est important que le centre des données soit le projet et non le dessin, comme c'est le cas à l'heure actuelle. Le dessin ne représente qu'une partie du processus et ne suffit pas à accumuler toutes les différentes formes de données provenant des étapes du projet. Il s'ensuit que l'utilisation de l'ordinateur ne donne qu'une vision morcelée de l'information résultant d'un manque de souplesse de l'outil.

Pour que l'opinion que se fait la profession au sujet de l'informatique change, il faut que l'informatique elle-même évolue. Pour donner le point de départ à cette évolution, il faut effectuer des changements à la base même du projet effectué avec l'ordinateur: les données.

Cette partie touche donc les grandes étapes du processus de réalisation d'un projet et de la vie d'un bâtiment, en replaçant le rôle de l'ordinateur dans ce nouveau contexte.

4.1 La programmation architecturale

Afin que les données produites par l'une des étapes informatisées du processus de design d'un projet d'architecture puissent servir à l'étape subséquente, il est essentiel de compléter à chaque fois les maillons manquants dans la chaîne. Sinon, les données produites devront être transférées à un autre mode de travail.

Après les avoir traitées dans ce nouveau mode de travail (comme sur une table à dessin ou sur un papier à esquisses), où elles serviront à réaliser une étape non informatisée, il faudra les convertir de nouveau pour passer à la prochaine étape (qui pourrait de nouveau s'effectuer grâce à l'ordinateur). Ces deux transpositions viennent alourdir le processus, ce qui rend actuellement la CAO inefficace et déficitaire. En effet, comme il faut interpréter les données à chaque changement de mode de travail (à la main ou à l'ordinateur), leur qualité et leur précision en sont automatiquement altérées.

La programmation architecturale étant une étape de calculs et de planification non-graphique où l'ordinateur est utilisé depuis longtemps, il est dommage de constater qu'une partie de l'effort produit ne sert à rien et n'est pas branché sur les autres étapes, car on ne peut pas utiliser ces données directement, celles-ci ayant été transformées par l'étape précédente.

Si le concepteur pouvait disposer tout au long de son processus de conception des données provenant de la programmation, il pourrait valider son design, même s'il travaille à main levée. S'il modifie son projet, les données seront alors éditées pour l'étape suivante. Ce qui produira des données mises à jour de l'étape de la programmation architecturale, accompagnées des volumétries produites par l'étape de l'esquisse préliminaire.

4.1.1 Les outils informatisés de la programmation architecturale

Certains outils informatisés ont été inventés il y a plus de dix ans, mais n'ont jamais servi car l'étape pour lesquelles ils avaient été prévus, l'esquisse préliminaire, n'a jamais été informatisée. C'est le cas du dimensionnement

automatique d'un espace, ou de l'interrelation entre les espaces assistée par l'ordinateur.

Néanmoins, pour avoir beaucoup travaillé avec les deux systèmes, notamment comme testeur pour les compagnies qui les fabriquaient, je tiens à exprimer mes réserves quant à l'utilisation absolue de ces systèmes en général. Les résultats obtenus par ces systèmes ne devraient jamais être utilisés tels quels, mais devraient toujours servir à un concepteur qui jugera de leur pertinence.

Toute ma thèse repose sur l'utilisation de l'ordinateur par un concepteur assisté par la rapidité que met l'ordinateur à effectuer des calculs difficiles à réaliser par un être humain normal. Il ne faut pas que tout le processus de design soit corrompu par une utilisation aveugle de l'ordinateur à une étape cruciale du projet.

4.1.2 Dimensionnement automatique d'un rectangle

En lui donnant le nombre de pieds carrés d'une fonction (département ou local) et la proportion initiale d'un rectangle (ou son facteur de cohésion), l'ordinateur dessine un rectangle. Chaque fois que l'on déplace un des côtés du rectangle, l'ordinateur remet le rectangle à l'échelle en fonction du nombre de côtés que l'on désire fixes ou mobiles.

Cet outil de design s'avère aussi pratique pour l'architecte qui l'a essayé que la calculatrice l'est pour le comptable. Mais cet outil se trouve dans des logiciels servant au dessin d'exécution, et non dans des logiciels d'esquisses. Il se trouve donc à la mauvaise étape, au moment où le design est déjà terminé.

Les surfaces, qui proviennent de l'étape déjà développée de la programmation architecturale, devraient normalement être transmises à l'étape suivante: l'esquisse préliminaire. Mais cette étape, qui n'est pas encore informatisée, s'effectue actuellement à la main. On constate donc que c'est l'outil développé pour travailler avec les données de la programmation qui se retrouve informatisé, tandis que le travail lui-même est fait à la main.

Lorsque le concepteur revient à l'ordinateur, l'esquisse est déjà complétée et l'outil ne pourra servir qu'à valider les surfaces au lieu d'être utilisé de façon interactive pendant la conception. C'est comme si l'on se servait d'une

calculatrice pour vérifier des colonnes d'additions déjà faites à la main. L'outil, qui est redondant, n'est donc pas utilisé.

4.1.3 Interrelation interactive entre les espaces

Le calcul des interrelations entre les espaces, un autre outil développé pour la post-programmation, se trouve malheureusement isolé entre la conception effectuée en dehors de l'ordinateur et la programmation assistée par ordinateur.

À partir du moment où l'on place deux espaces et plus sur un plan, il faut les situer les uns par rapport aux autres en fonction de leurs interrelations, recueillies au cours de la programmation. Ces interrelations, multiples, peuvent avoir des valeurs différentes allant du positif (le plus près possible les uns des autres) au négatif (le plus loin possible).

Après un certain nombre d'unités à placer, ayant chacune un certain nombre de relations entre elles, il devient quasiment impossible pour un être humain de se rappeler de chacune des contraintes à respecter. L'ordinateur, par contre, le fait très bien. À chaque pas, il peut recalculer l'ensemble des relations esquissées et les comparer aux contraintes exigées.

Ce calcul peut se présenter sous la forme d'une évaluation où "0" serait l'idéal à obtenir (ce qui est impossible). On obtient alors un pointage d'insatisfaction des contraintes où le plus le pointage est haut, moins les contraintes ont été respectées. Ce pointage est obtenu en additionnant la somme des relations exprimées et en la multipliant par la distance entre les centres de masse des unités, amplifiés par le coefficient de proximité demandé (positif ou négatif).

La proximité se calcule en deux séquences: d'abord la répartition des unités sur les différents niveaux du projet (blocage vertical); ensuite, sur chaque niveau, la répartition des différentes unités sur le plan (blocage horizontal). La proximité entre deux niveaux est alors calculée en fonction de la distance parcourue entre les unités et du moyen de communiquer d'un niveau à l'autre, de la distance entre les niveaux (s'il y a lieu), et enfin de l'endroit où l'on arrive sur le niveau (localisé quelque part sur un plan) de l'autre unité.

L'entrée des relations s'effectue au moyen d'une matrice d'interrelations qui donne la surface de chaque unité, ainsi que les relations de ces unités avec les autres.

Cette étape, qui suit la programmation architecturale et qui précède l'esquisse préliminaire, constitue en quelque sorte une esquisse en soi. Elle se présente actuellement sous une forme tellement informatisée qu'elle ne s'adresse pas du tout aux personnes qui pourraient s'en servir. En effet, il est difficile pour un concepteur travaillant avec son crayon à la main de l'installer temporairement sur un support informatisé aussi rigide, bien que cela serait très utile aux concepteurs. L'outil est donc à l'heure actuelle mal adapté à l'utilisateur potentiel, donc mal ciblé.

Si l'on superpose ce système informatisé de relations avec le système d'esquisse assistée par ordinateur décrit dans cette thèse, on pourra permettre aux concepteurs de projets de se faire assister par l'ordinateur, qui validera au fur et à mesure les espaces avec les données obtenues à l'étape de la programmation, puis approuvées par le client.

4.1.4 Calcul automatisé des espaces

Enfin, en combinant les deux outils décrits ci-dessus et en leur ajoutant un système-expert pour l'analyse des résultats, on obtient un outil qui calcule automatiquement les espaces en fonction des superficies et des interrelations demandées. À l'heure actuelle, on connaît deux concepts d'algorithmes donnant ce résultat: le système de calcul des distances, qui repose sur la méthode cartésienne (méthode par calcul); et le système d'organigramme itératif qui repose sur la méthode empirique (méthode par essai et erreur).

Méthode du calcul des distances

La méthode par le calcul des distances est basée sur le coût de déplacement associé à chaque relation entre les espaces à agencer. Ainsi, pour établir si la position d'un espace est la bonne par rapport à une autre, le système calcule le coût du déplacement qu'aura à faire un employé ou un occupant pour parcourir la distance entre les deux centres de masse des espaces.

Afin d'être en mesure de tester toutes les combinaisons, le système a besoin de décomposer en sous-systèmes l'ensemble à aménager. Les deux sous-systèmes utilisés permettent de dégager deux éléments, soit les contenants et le contenu. Le premier sous-système consiste en la description des espaces, tandis que l'autre sous-système est la description des activités de l'organisme qui occupera les espaces. C'est en associant les activités aux espaces qu'on obtient le projet.

Le sous-système des espaces se divise donc en différents niveaux, allant du plus global au plus particulier. Ces divisions sont:

- la ville;
- le complexe immobilier;
- les bâtiments;
- les étages;
- les zones (circulation, mécanique, espaces occupables);
- les locaux; et
- les postes de travail.

L'autre sous-système qui représente les activités est lui aussi divisé en parties.

Ces divisions sont:

- la compagnie ou l'organisme;
- la présidence ou le ministère;
- les vice-présidents ou les directeurs généraux;
- les directeurs;
- les chefs de services;
- les chefs de sections;
- les positions.

Pour procéder à l'analyse des espaces à aménager sur les étages, il est nécessaire de diviser les zones en modules qui représenteront le plus petit dénominateur commun, c'est-à-dire la plus petite surface attribuable et aménageable. Ce module constitue en général une surface de vingt-cinq pieds carrés (5' x 5'), ce qui correspond à une trame de plafond d'un immeuble moderne et à un multiple d'un poste de travail moyen (100 et 150 pi.ca.).

Il faut comprendre que pour un système comme celui-ci, qui analyse le coût de la distance entre les espaces, plus il y a de modules à comparer les uns les autres et plus le calcul sera exponentiel. Ainsi, le temps de calcul est généralement long et les résultats souvent imparfaits. De plus, ce type de système ne se corrige pas. Si l'utilisateur ne corrige pas lui-même les paramètres qu'il a donnés au système, celui-ci calculera toujours le même résultat.

Système d'organigramme itératif

Le système d'organigramme itératif consiste en une application fonctionnant de façon empirique qui consiste à créer automatiquement des organigrammes en fonction de la dimension des composantes à interrelier et des relations à respecter.

Le principe de ce genre de système réside dans le point de départ du calcul. Le système procède à une métaphore qui lui permet de débiter le calcul par une explosion à partir d'un point précis qui se situe dans les airs. Toutes les composantes se séparent les les unes des autres en tombant vers une surface plane. Pendant leur chute, les composantes grossissent pour prendre leur taille respective ou surface nominative. De plus, en grossissant, les composantes s'attirent et se repoussent en fonction de la contrainte de proximité exigée.

À un moment donné, toutes les composantes frappent le plan en même temps et créent des cercles sur le plan de référence, comme des taches d'encre qui éclaboussent une feuille blanche. Chaque composante provoque un cercle correspondant à sa surface et localisé par rapport à son point de chute.

À partir du résultat obtenu, le système lui donne un score et recommence l'exercice en tentant d'optimiser la solution tout en gardant la même explosion de départ. Ces itérations sont répétées jusqu'à ce que le score du résultat corresponde avec celui que l'utilisateur a commandé, ce qui peut nécessiter des milliers de tentatives. Une fois le bon résultat obtenu, le système recommence avec une nouvelle explosion de départ, qui conduira alors à une autre hypothèse de départ et donc à un résultat final complètement différent.

Ce type de système est très différent du précédent, car il opère avec un paramètre de hasard. Dans ce cas-ci, l'explosion est en effet simulée par un algorithme produisant de façon aléatoire des directions et des forces par lesquelles seront affectées les composantes durant leur chute. Tout le reste du processus est cependant tout à fait mathématique.

Ce système offre l'avantage de procéder par une méthode empirique et de fournir au concepteur plusieurs solutions qu'il pourra alors comparer afin de choisir la meilleure option pour la présente situation.

4.2 Les esquisses préliminaires

Le chaînon manquant de la chaîne du design avec l'informatique est sans nul doute la conception même du projet sur l'ordinateur. C'est à l'étape de l'esquisse préliminaire que ce manque se fait le plus sentir. C'est là où le concepteur, même le plus converti à l'infographie, sera tenté d'utiliser son crayon et son papier sketch plutôt que de se servir de son ordinateur.

Le concepteur n'est pas à blâmer, car ce n'est pas de sa faute si l'ordinateur n'est pas adapté à cette tâche. Mais, comme il a été décrit auparavant, il est maintenant possible d'assembler un poste de travail de conception répondant aux exigences techniques de ce nouveau secteur de l'infographie.

Cette section couvre ainsi le "la façon dont..." se fera l'une des phases de la conception qu'est l'esquisse préliminaire. Prenant pour acquis que la technologie est capable de supporter cette thèse, il s'agit de prévoir les types de logiciels et d'interfaces qui pourront servir de véhicules à l'aspiration du concepteur: concevoir son projet.

4.2.1 Créer un nouveau poste de travail

Depuis le début de l'informatique, le poste de travail a subi des modifications importantes comme l'abolition des cartes perforées ("key punch"), mais depuis l'apparition des écrans et des claviers, il ne s'est pas vraiment produit de nouvelle façon de travailler qui aurait révolutionné l'ordinateur tel que nous le connaissons présentement.

On développe actuellement de nouveaux interfaces-usagers qui vont changer les méthodes de communication "homme-machine". Ceux-ci, qui se présentent surtout sous forme de logiciels (applications, systèmes d'exploitation, etc.), demandent une refonte complète de la physionomie du poste de travail pour prendre réellement leur envol.

Il a été relativement facile pour les êtres humains de passer de la dactylo au clavier d'ordinateur et de la feuille de papier à l'écran d'ordinateur, car le clavier avait été conçu pour la manipulation des touches par les doigts, ce qui en a fait un outil théoriquement adapté¹. Tandis que la lecture d'un écran d'ordinateur

par un être humain s'apparente à celle d'une feuille de papier, surtout depuis l'apparition des systèmes "WYSIWYG" ("What You See Is What You Get"), ou en d'autres mots: "Vous obtiendrez ce que vous voyez!"

Cependant, le passage de la table à dessin à un écran d'ordinateur (et à son clavier) représente une évolution contre nature pour un concepteur qui a passé toute sa vie sur une table. En tant que formateur, puis professeur dans ce domaine, j'ai pu remarquer plus d'une fois la résistance des nouveaux utilisateurs à faire le saut, surtout de la part de ceux qui avaient déjà une carrière derrière eux².

Chose certaine, il faut une réévaluation du poste de travail informatique tel qu'il a été proposé jusqu'à maintenant aux concepteurs, si l'on veut qu'il soit acceptable pour réaliser la conception d'un projet.

Offrir une transposition de la table à dessin à l'écran et au clavier sans autres modifications, voilà qui est surtout dû à un compromis technologique causé par le manque d'innovations technologiques appliquées au domaine de la conception dans le passé. Mais il serait néfaste de faire durer cette mésadaptation ainsi que le malaise qu'éprouvent les architectes et les concepteurs à travailler avec cet outil.

Il s'agit plutôt de se diriger vers de nouvelles innovations permettant de modifier les méthodes d'utilisation de l'ordinateur et qui sortent présentement sur le marché. Ainsi, ces innovations vont permettre de faire évoluer la CAO avant que cette dernière ne s'installe dans un confort facile d'où il sera difficile de la faire bouger.

Du côté des logiciels, l'évolution se passe plutôt bien; on voit chaque année apparaître de nouveaux concepts qui permettent d'envisager des changements importants. Mais l'évolution de la quincaillerie ne se produit pas aussi rapidement, car elle dépend de facteurs économiques qui n'ont rien à voir avec la vitesse à laquelle se font les découvertes technologiques.

En effet, l'industrie du logiciel ne pourra pas se développer d'une façon constante si la plate-forme technologique sur laquelle elle évolue change trop rapidement. L'industrie de l'informatique doit vérifier la rentabilité de

l'évolution de la plate-forme avant d'inviter les fabricants de logiciels à la modifier.

En ce moment, l'industrie de l'informatique s'efforce de réduire la taille des ordinateurs pour permettre la création de nouveaux produits plus performants. En ramenant les ordinateurs à la taille d'un cartable et même d'un agenda, les fabricants d'ordinateurs vont devoir procéder à des changements importants. Car c'est cette miniaturisation et cette volonté de se surpasser technologiquement qui fera que les fabricants auront à revoir la conception même des ordinateurs actuels.

Avec la réduction de la taille des ordinateurs, un nouveau problème apparaît déjà. En effet, les pièces les plus encombrantes d'un ordinateur sont présentement le clavier et l'écran. Et l'un des problèmes que pose la réduction du clavier est justement l'aspect ergonomique de celui-ci. Si on le réduit davantage, les doigts ne pourront plus taper sur les touches de façon adéquate, sans accrocher d'autres touches. D'un autre côté, si on diminue la taille des écrans, les caractères deviendront illisibles, ou il n'y aura pas assez d'images ou de lignes d'affichage à la fois.

C'est pourquoi dans le domaine des ordinateurs portables et "ultra-légers", l'évolution passe par une modification majeure de l'interface écran-clavier. Les interrogations et les recherches de l'outil utopique soulevées par cette problématique permettront peut-être de faire évoluer l'ordinateur dans la direction de la création et du concepteur.

Ainsi, il est concevable de prétendre que pour réduire la surface minimale nécessaire à l'utilisateur pour qu'il puisse se servir de l'ordinateur, il faudra fusionner la partie clavier et la partie écran pour n'en faire qu'une seule. Cette surface unique permettra d'écrire et de dessiner directement sur l'image reproduite par l'ordinateur. Comme sur une feuille de papier.

Les premières recherches dans ce sens ont été effectuées pour l'ordinateur "GO", du nom de la compagnie qui va probablement le sortir la première. L'ordinateur n'est pas encore sur le marché, mais beaucoup d'articles ont été écrits sur le sujet dans des revues américaines d'informatique de pointe.

Récemment, la compagnie Sony a sorti le sien et Apple a annoncé qu'elle fera la commercialisation de celui de la compagnie Sharp.

Il semble évident que d'ici à 1994, tous les fabricants de micros-ordinateurs auront sorti leur écran-tablette sur le marché. C'est au moment où la question économique et de rentabilité auront été conciliées que l'on pourra se préoccuper de celle de la conception informatisée utilisant ces nouveaux outils. En effet, il est beaucoup plus réaliste de créer de nouveaux programmes sur une plateforme déjà sur le marché que de tenter de faire créer une technologie pour faire fonctionner un programme.

4.2.2 Capter l'information

Le but premier de cette nouvelle innovation consiste à combiner deux astuces informatiques: un système d'opération de type Macintosh, avec des fenêtres et une souris, et la possibilité de travailler avec un crayon sur une surface plate.

Grâce à ce nouveau périphérique, qui se rapproche de la façon humaine de fonctionner, l'ordinateur captera le mode de communication de l'être humain (écriture, geste, esquisse, etc.) pour saisir l'information. L'utilisateur pourra écrire sur son écran-tablette les informations qu'il voudra conserver ou pointer sur les cases de dialogue que lui suggérera le système.

Mais avec le développement de cet ordinateur, un deuxième enjeu s'est rapidement greffé au premier: la possibilité d'écrire sur la tablette et que l'ordinateur reconnaisse par lui-même ce que l'on écrit. En d'autres termes, le système reconnaîtrait notre écriture et la transposerait en caractères ASCII dans le logiciel approprié. Grâce à ce concept, il serait possible d'éliminer complètement le clavier devenu utile.

Il est évident que certaines personnes qui éprouvaient une appréhension à utiliser un ordinateur à cause de l'interface qui était imposée, s'en serviront davantage s'il suffit d'écrire à la main sur une tablette avec un crayon pour que l'ordinateur traduise leur écriture dans le langage informatique approprié. D'autre part, il n'y aurait qu'un pas à franchir pour transformer cet outil déjà voué à un franc succès en outil de dessin. Par le biais du support informatique,

le concepteur dessinera directement sur la tablette qui lui servira également d'écran.

Les deux formats auxquels on pourrait penser pour cette tablette, car l'industrie du papier s'y conforme depuis longtemps, sont le format 8 1/2" x 11" (format lettre) et le format 11" x 17" (format A3). Le format lettre est beaucoup plus pratique pour l'application du portable, surtout parce qu'il se glisse partout, tandis que l'autre format correspond exactement à ce qu'il faut pour effectuer des esquisses.

En effet, la dimension du format 11" x 17" permet le libre mouvement du bras sur une rotation de presque 45°, ce qui est suffisant pour pouvoir effectuer un dessin à main levée sans contrainte du cadre. D'ailleurs, en essayant différents cahiers de dessin, comme les cahiers de type "Aquabee", on peut constater que ce format constitue le meilleur compromis entre l'encombrement et le manque de surface.

De toute façon, l'ordinateur affichera une page virtuelle, c'est-à-dire qu'elle pourra être de grandeur quasi infinie; ce n'est que le champ de vision qui mesurera 11" x 17". L'utilisateur pourra déplacer son dessin sur le côté à volonté pour se procurer une surface libre, comme il le fait déjà avec les logiciels d'infographie que l'on retrouve sur le marché (MacPaint, MacDraw ou AutoCAD).

4.2.3 Gérer le dessin à main levée

Une fois que le support informatique aura été développé, il faudra passer à l'étape méthodologique: comment va-t-on se servir de ce nouvel outil de conception?

Pour débiter notre analyse sur ces méthodes, nous établirons les hypothèses de départ suivantes: il existe un ordinateur de type nouveau, tel que décrit dans la section précédente, et son format est de 11" x 17".

L'ordinateur fonctionnera avec un logiciel de dessin matriciel, du type de MacPaint, qui permettra de réaliser des dessins à main levée. Grâce à ce programme, à cette tablette-ordinateur et à un crayon électronique, l'utilisateur-concepteur pourra dessiner ses esquisses directement sur sa tablette.

L'ordinateur emmagasinera ainsi toutes les esquisses en les datant et en les codant, et pourra ainsi les rappeler, les superposer et les interpoler à volonté

Cette tablette-ordinateur pourra sauvegarder les esquisses dans des fichiers différents. Le programme pourra rappeler les croquis, les combiner et réaliser toutes les opérations que l'ordinateur peut faire. Car il peut aisément effectuer des opérations mathématiques comme la combinaison (+), la soustraction (-) et la comparaison (et, ou, XOR, etc.), ce qui permettra au concepteur de manipuler ses esquisses avec de nouveaux outils et possibilités.

Chacun des croquis sera identifié avec des mots clés correspondant à une codification personnelle de l'utilisateur, qui lui permettra de retrouver ses esquisses à travers le tas de dessins qu'il a produit. Déjà, si un tel périphérique s'occupait de cette tâche, cela représenterait un pas de géant dans le domaine de l'esquisse assistée par ordinateur.

Un autre aspect de l'esquisse est le fait que celle-ci n'est pas de facto une vue orthogonale, c'est-à-dire être un plan, une élévation, une coupe ou une axonométrie. Le plus souvent, il s'agit d'une perspective plus ou moins à l'échelle. Donc, il existe plusieurs sortes d'esquisses pouvant être dessinées, soit de type volumétrique, soit de type conceptuel (plans, coupes, élévations, etc.), soit d'un autre type.

La représentation de l'esquisse est tout à fait arbitraire par rapport aux axes cartésiens et sa référence dans l'espace se fait en fonction de la représentation qu'en a le concepteur dans son esprit. La transposition de l'esquisse en vecteurs permettra la création de coordonnées, qui pourront être affectées à une vue 3D.

Un autre facteur à considérer est le fait que le concepteur dessine la plupart du temps une esquisse dans une forme solide, c'est-à-dire que la volumétrie est représentée en forme pleine, où les faces d'avant-plan cachent celles de l'arrière-plan. Cette vérité paraît évidente, mais pour l'ordinateur, c'est dans l'autre sens que se passe le processus. C'est ainsi que les vecteurs 3D sont entrés en fils de fer (points et lignes) et que le programme calcule les faces cachées en fonction de la vue demandée par l'utilisateur.

Dans le cas des esquisses, c'est le concepteur qui entrera directement le résultat final. C'est pourquoi il faudra demander à l'ordinateur de trouver le point de

départ, ce qui veut dire qu'il devra trouver le point de vue par lequel l'esquisse a été dessinée ainsi que les coordonnées visibles et invisibles.

4.2.4 Vectoriser l'esquisse préliminaire

Une deuxième étape importante dans ce processus consiste, une fois l'esquisse obtenue, à transformer celle-ci, qui se présente sous une forme matricielle (bitmap), en une forme vectorielle.

La forme matricielle et la forme vectorielle présentent en effet des différences fondamentales. La forme matricielle est l'équivalent d'une feuille quadrillée sur laquelle l'ordinateur noircirait les cases à mesure que l'on trace un dessin. Tandis que la forme vectorielle est la représentation mathématique du dessin. Chaque extrémité d'une ligne ou d'un arc de cercle est inscrite dans une liste reproduite sur l'écran chaque fois que l'on veut voir le dessin.

Le dessin vectoriel est mathématiquement et géométriquement éditable, tandis que le dessin matriciel ne peut s'éditer qu'avec la méthode du collage et de la retouche. C'est pourquoi l'ordinateur doit absolument avoir recours à la forme vectorielle pour pouvoir travailler. Cela se produit un peu comme les codes ASCII par rapport à l'écriture.

Ce qui est difficile, ce n'est pas de passer du mode vectoriel au mode matriciel, mais le contraire, car pour l'ordinateur, afficher le dessin à l'écran (qui est en fait une matrice), c'est déjà transformer le dessin vectoriel en matriciel. Mais cela pose beaucoup plus de problèmes de réaliser le contraire. Les points du dessin matriciel n'ont pas de liens entre eux, sauf d'être juxtaposés ou non. Ainsi, cela relève de la haute voltige de vouloir interpréter leur position et de recréer des objets avec des coordonnées précises.

Il existe actuellement deux techniques permettant de vectoriser des dessins matriciels. La première méthode consiste à rechercher la frontière entre les points blancs et les points noirs et à tracer une ligne de vecteurs sur cette frontière. Cette méthode, quoique économique, manque de précision, car elle effectue une traduction littérale sans reconnaissance des formes.

La deuxième méthode est beaucoup plus laborieuse, car l'ordinateur doit tenter de reconnaître, à travers le magma de points, des formes géométriques

précises, pour tenter de localiser les coordonnées géométriques des objets graphiques. Cette façon de procéder est exponentielle, car plus il y a de points, plus l'ordinateur doit comparer chaque point avec les autres pour recomposer une forme ou un vecteur. La puissance de l'ordinateur doit donc être proportionnelle à l'effort demandé.

Un autre avantage que possède la forme vectorielle sur la forme matricielle est le volume de mémoire nécessaire pour emmagasiner les dessins. Ainsi, un dessin matriciel, qu'il soit plein ou vide, prend à peu près la même quantité de mémoire, car chaque point, qu'il soit blanc ou noir, est enregistré³.

Du côté du système vectoriel, seules les coordonnées avec leurs liens et leurs attributs sont conservées dans le fichier du dessin. La conservation des esquisses sous forme vectorielle permettra donc de garder plus d'esquisses dans un même espace de mémoire.

Il faut que les formes soit vectorisées pour qu'elles puissent servir aux autres étapes de la conception assistée et que l'ordinateur ait la compréhension du dessin. Sans les coordonnées vectorielles, l'image produite par les points de la matrice (les pixels) n'est reconnaissable que dans le cerveau du concepteur. L'ordinateur n'y voit aucune logique et ne peut donc pas procéder à l'édition. Il s'agit pour lui d'un dessin abstrait.

Grâce à la saisie des données vectorielles par l'ordinateur, la connaissance du projet sera alors traduite en formes éditables. C'est pourquoi il est indispensable que le dessin réalisé à main levée sur la tablette-ordinateur soit transformé en vecteurs.

Un autre avantage de la forme vectorielle sur la forme matricielle, c'est que les dessins sont sauvés à l'échelle. Seule cette méthode possède cette propriété, ce qui la rend indispensable dans le processus de mise en forme du projet, de l'esquisse à l'avant-projet.

Dans un premier temps, le dessin sera vectorisé en deux dimensions (2D) et finalement en 3D (ce que le reste de la thèse couvrira principalement). Ceci dans le but que la connaissance du projet soit transmise par le concepteur à l'ordinateur sous une forme compréhensible par celui-ci.

La représentation d'une esquisse sur le papier représente l'étape qui permet au concepteur de visualiser son idée. C'est la façon qu'il a de garder une trace de celle-ci avant que son concept ne change. Une fois l'esquisse sur le papier, le concepteur a deux choix: garder son esquisse afin que la vision de son projet ne change pas dans son imagination et afin de pouvoir la communiquer à d'autres; ou s'en servir pour éditer son idée en en produisant d'autres par superposition (concept du papier calque).

L'esquisse est donc la représentation de la vision qu'a le concepteur de son projet, mais dépourvue d'échelle et de références spatiales pré-établies. Il faut donc apprivoiser cette esquisse pour lui faire épouser un système de référence compréhensible par l'ordinateur, qui fonctionne avec l'espace cartésien.

C'est cette forme vectorielle qui sera associée à des grilles de travail afin d'obtenir les formes volumétriques.

La suite de la thèse porte donc sur cet interface entre l'esquisse et la représentation 3D du projet. Cette transposition de l'esquisse dans une forme vectorielle 2D et 3D permettra de faire passer l'idée du projet qui a jailli dans l'esprit du concepteur à la table à dessin électronique, sans que celui-ci ait à subir une coupure importante dans son processus de design.

4.3 La formalisation du projet

La formalisation du projet consiste dans le cadre de cette thèse à transférer des esquisses préliminaires vers une forme éditable et compréhensible par l'ordinateur.

Le principal problème à entrevoir à ce stade-ci du processus est la non-compréhension du projet par l'ordinateur, c'est-à-dire le fait que l'ordinateur n'a aucune référence pour interpréter le projet, ce qui se traduit par:

- pas d'échelle juste;
- pas de vue précise;
- pas de facette connue;
- pas de volume défini.

Pour arriver à transférer la compréhension du projet à l'ordinateur, il va falloir établir un langage de communication commun qui soit suffisant pour communiquer le projet à l'ordinateur sans présenter de contrainte pour le concepteur dans son processus de design.

Étant donné que les futurs utilisateurs de cet outil n'ont pas tous la même approche ni la même façon de communiquer, il faudra donc établir plusieurs méthodes pour réaliser ce transfert de connaissances.

Pour commencer l'élaboration des différentes approches qui seront utilisées concurremment pour réussir l'interface entre l'utilisateur et l'ordinateur, je me propose de partir avec le cheminement suivant:

le point → la ligne → la surface.

À cette citation utilisée par l'architecte Tchumi⁴, greffons les éléments suivants, qui nous permettront d'appliquer la théorie des ensembles au processus consistant à faire passer la connaissance du dessin au projet. Ces éléments sont:

la surface → l'objet → l'espace → le projet.

Le fonctionnement de l'interface fera appel à tous ces différents concepts dans le but d'interpréter le projet. Le système tirera parti de tous les indices provenant de ces sous-systèmes, qui sont bien différents, mais interreliés.

Dans cette approche de type empirique, l'utilisateur verra au fur et à mesure l'ordinateur illustrer son projet et pourra ainsi tenter, par la méthode essai-erreur, de lui faire corriger son interprétation grâce aux outils mis à sa disposition. Tout au long de son processus de design, le concepteur pourra donc communiquer son projet à l'ordinateur, sans coupure dans son travail.

Il faut donc imaginer un interface-utilisateur qui puisse permettre au concepteur de dessiner ses esquisses en donnant les indications supplémentaires que demande l'ordinateur, ce qui permettra à celui-ci de montrer au concepteur la vision qu'il a du projet. Le concepteur saura en tout temps ce que l'ordinateur imagine du projet avec les données qu'il possède à son sujet.

Cet interface permettra au concepteur de suivre visuellement l'évolution du transfert de la compréhension de son projet à l'ordinateur. La forme du projet qu'affiche l'ordinateur ressemblera peu à peu à la vision qu'en a réellement le concepteur.

Pour procéder à l'analyse de l'interface, je compte diviser le système en sous-systèmes, ce qui me permettra de définir les avantages et les désavantages de chaque sous-système.

4.3.1 L'interprétation du projet par les points et les lignes

Lorsque les esquisses seront vectorisées par le procédé de la différenciation entre le blanc et le noir, l'ordinateur sera en possession d'une série de vecteurs qui suivent les variations des traits. À partir de ces vecteurs, il sera possible de réaliser une interprétation de manière à extraire tous les changements de directions des traits, ainsi que les intersections entre ceux-ci. Toutes ces brisures et intersections seront alors identifiées sur un plan cartésien et répertoriées comme étant des points.

L'ordinateur pourra donc extraire de l'esquisse vectorisée une liste de points qui servira à interpréter la volumétrie du projet. Cependant, tous ces points ne constitue encore pour l'ordinateur qu'une constellation sur une surface 2D, ce qui ne lui permet pas encore de comprendre le projet. Néanmoins, l'approche par points est déjà plus compréhensible pour l'ordinateur que le système matriciel.

Mais en partant de la perspective, on se rend vite compte qu'une scène 3D, projetée sur un plan 2D vers un observateur (le tableau de projection), produit justement cette agglomération de points sur la surface de tableau (voir le dessin). Bien que ces points ne signifient encore rien pour l'ordinateur, il existe une corrélation à établir entre les points déduits de la vectorisation et ceux qui seraient produits par la visualisation d'un ensemble sur un plan 2D.

Quoique, pour un individu, il soit très facile de visualiser une scène 3D à partir d'un ensemble de points seuls, il est très difficile pour l'ordinateur d'en faire autant. Il va donc falloir que le concepteur, qui est le seul à comprendre le projet, donne un coup de main à l'ordinateur pour que celui-ci puisse lui aussi comprendre le projet.

Comme il a été dit plus haut, c'est par la combinaison de plusieurs sous-systèmes que se fera la compréhension totale du projet. Ainsi, après l'étape des points, on pourra passer à celle des lignes et à celle des surfaces.

Les coordonnées étaient essentielles pour la précision du reste du processus et jusqu'à maintenant, l'ordinateur a été capable de déterminer seul les frontières de l'esquisse et les points de celle-ci, avec les algorithmes appropriés.

Comme deuxième étape, les coordonnées doivent être reliées entre elles pour établir la liaison existant entre les points et calculer ainsi la constitution des vecteurs. Ainsi, par la liaison entre les points trouvés par vectorisation, on établit la relation qui existe entre toutes les coordonnées.

Cette étape est importante, car sans elle il serait très difficile d'interpoler la vue réelle qu'a voulu dessiner le concepteur et ainsi de prévoir la transposition des points et des lignes de l'esquisse dans un espace cartésien en trois dimensions.

Un des gros avantages de cette manière de procéder, c'est-à-dire d'extraire les points de la première vectorisation et de recomposer les vecteurs à partir de ceux-ci, est qu'elle permet de purifier cette vectorisation de tous les vecteurs inutiles provenant des imperfections que présente l'esquisse elle-même. Par cette méthode, il est donc possible d'isoler les coordonnées de l'esquisse et de reprogrammer les lignes qui existent uniquement entre les points nécessaires, plus proches de l'intention véritable du concepteur que du tremblement de sa main.

Bien que les coordonnées aient été extraites et que les vecteurs aient été déduits, l'ordinateur ne connaît pas toujours la référence de la vue ni de l'échelle de l'esquisse d'où proviennent ces éléments. C'est pourquoi il faut travailler dans d'autres sous-systèmes afin d'établir le lien entre la représentation de la vue sur un plan 2D et la véritable volumétrie dans l'espace.

Un des moyens consiste à faire coïncider une grille 3D à l'ensemble des coordonnées trouvées par l'étape précédente. Ainsi, les coordonnées seraient juxtaposées à des grilles de perspectives ajustées de façon interactive par le concepteur. Deux méthodes sont ici envisageables pour manipuler la grille 3D:

La première consiste à partir de la méthode absolue et à créer des grilles dans l'espace cartésien. De là, en manipulant les paramètres des points de fuite (mode perspective) ou de l'élévation et de l'azimut (mode orthogonal) il sera possible de superposer à l'esquisse les grilles 3D.

L'autre méthode consiste à partir de la méthode relative et d'indiquer, en cliquant sur certains points de l'esquisse, les coordonnées utiles pour le calcul des points de fuite du dessin. Ainsi l'ordinateur pourra générer une grille 3D à partir de ces indices, que le concepteur pourra corriger de façon interactive pour la faire coïncider parfaitement à son esquisse.

Les deux méthodes pourront aussi être utilisées alternativement pour permettre de profiter du meilleur des deux. De cette manière, on pourra d'abord établir plusieurs grandes lignes, puis réaliser le réglage fin en utilisant l'autre façon.

Par contre, si la vue est déjà connue de l'utilisateur avant même qu'il commence son esquisse, comme pour une vue en plan ou en élévation, l'utilisateur n'aura qu'à indiquer à l'avance à l'ordinateur le type de vue dans lequel se fera l'esquisse.

Pour travailler, le concepteur aura le choix d'utiliser des grilles pré-calculées ou de faire superposer son esquisse après coup. Chacune des grilles pourra être générées par des algorithmes différents. L'ordinateur sera le meilleur outil possible pour générer des grilles de design.

Ainsi, il pourra superposer des grilles linéaires, des grilles circulaires et des grilles découlant de formules mathématiques comme les algorithmes et les équations du deuxième degré. En fait, une multitude de types de grilles 2D

(linéaires, circulaires, logarithmiques) sera offerte au concepteur pour lui permettre la superposition de l'esquisse.

Lorsque deux grilles se croiseront sur un même plan ou sur deux plans différents, comme une ligne qui croise une autre ligne ou une ligne qui croise un cercle, une coordonnée sera générée. Cette coordonnée n'a donc plus à être connue par une valeur cartésienne (x,y,z) , mais par la façon dont se croisent telle ou telle grille. Voilà une autre façon d'extraire les points de l'esquisse.

Ensuite, les dessins conceptuels seront captés par la superposition de grilles de travail sous forme de couches successives. Une série de coïncidences se produira entre les grilles et l'esquisse à mesure que le concepteur modifie les grilles de façon interactive.

L'intersection entre l'esquisse et les grilles s'appellera le nœud. Un nœud est une coordonnée de la grille qui croise l'esquisse. Les nœuds sont automatiquement déduits de l'esquisse et leur valeur est connue par la déduction des coordonnées par les grilles et l'identification du nœud par l'esquisse.

En combinant les concepts des nœuds à celui des lignes, on pourra alors déplacer l'ensemble des points et des lignes pour les transporter dans un espace 3D tout en conservant leurs relations entre eux et sa signification.

Pour ce qui est de la mémoire, il s'est produit tout au cours du processus d'évolution une réduction considérable de la mémoire utilisée par l'ordinateur. Ainsi, en commençant par la forme matricielle (la plus mémorivore), il s'est produit une réduction par la vectorisation et par la simplification de celle-ci. Ensuite, la juxtaposition de l'esquisse sur la grille a eu pour résultat une réduction du nombre de coordonnées.

Enfin, il reste à définir la détermination de l'échelle relative du plan de travail pour permettre de déterminer les dimensions du projet. Il manque également la position du point de vue afin d'établir la relation tri-dimensionnelle des coordonnées. C'est seulement avec ces autres paramètres que nous pourrions calculer des dimensions.

4.3.2 L'interprétation du projet par les surfaces

Grâce à la vectorisation et à la simplification, il devient possible de passer à un autre niveau d'interprétation qui permettra à l'ordinateur de déduire le projet.

Après qu'on ait récupéré les coordonnées de l'esquisse avec ses segments, c'est-à-dire avec les liens qui relient ces coordonnées entre elles, on obtient une mosaïque de polygones qui représentent des facettes orientées dans un axe quelconque dans l'espace. Si l'esquisse est dessinée d'un point vue cartésien et que l'utilisateur a indiqué l'axe de vision, l'ordinateur n'aura besoin de trop travailler pour retrouver le plan de référence.

La reconnaissance du point de vue est nécessaire lorsque celui-ci n'est pas connu et qu'il résulte d'une approximation. C'est à ce moment qu'il faut redonner la volumétrie au projet pour qu'il puisse resservir au concepteur.

Si par contre, la vue est aléatoire et qu'elle résulte d'une impression du concepteur, c'est l'utilisateur qui devra indiquer à l'ordinateur les faces exactes du projet. Pour signifier les facettes à l'ordinateur, l'utilisateur aura recours à une palette de fonctions. Chaque fonction sera représentée par un pictogramme simple: carré, cercle, triangle, etc.

Lorsque le concepteur choisira un pictogramme représentant une forme géométrique 2D simple, comme le carré, et qu'il cliquera avec son crayon les facettes projetées en 3D qui représentent un carré, il se trouvera à associer des facettes de son esquisse à ce que devrait être cet ensemble de surfaces dans son esprit.

Ainsi, une face d'un cube vue en axonométrie isométrique apparaît comme un losange dans l'esquisse. En indiquant à l'ordinateur qu'un losange est en fait un carré dans l'espace absolu, on lui donne un bon indice sur la position spatiale de la facette en question.

On peut alors identifier les trois facettes visibles du cube. L'ordinateur pourra ainsi réunir ces trois carrés qui flottent dans l'espace et tenter de recomposer le cube dans l'espace en prolongeant les plans 2D. Grâce à l'identification des facettes, en les associant à des formes géométriques 2D simples et connues, on

donne à l'ordinateur des jalons sur lesquels il pourra établir le reste des déductions, soit par reconnaissance automatique, soit par associations

C'est donc par cette transmission de la connaissance du projet vers l'ordinateur que pourra vraiment commencer l'assistance que peut apporter ce dernier au concepteur. Sans cette connaissance, l'ordinateur n'est qu'une feuille de papier qui supporte l'information, dans ce cas-ci l'esquisse. Ce serait comme demander à un photocopieur de faire du traitement de textes.

Ainsi, la connaissance du projet sera réellement acquise par l'ordinateur quand le concepteur pourra reconnaître son projet dans l'image que lui retourne celui-ci.

La transmission de la reconnaissance des facettes vers l'ordinateur est une étape qui permettra également de déduire la volumétrie dans l'espace ainsi que l'angle de vision sous lequel l'esquisse a été réalisée. Ainsi, cette analyse de la vectorisation sous forme de reconnaissance des surfaces permettra à l'ordinateur de déduire le point de vue par laquelle le concepteur a créé l'esquisse.

Comme dans le cas de l'axonométrie ou de la perspective, deux situations peuvent survenir: soit l'esquisse représentait une volumétrie solide comportant des surfaces opaques; soit il s'agissait d'un dessin en fil de fer ("wire frame"), où toutes les surfaces étaient entrecoupées par d'autres segments⁵

Dans le premier cas, la vue est une forme solide, ce qui réduit considérablement le nombre de facettes à indiquer. Grâce à quelques indications, l'ordinateur pourra rapidement déduire la volumétrie visible

Cependant, il lui sera très difficile de tenter d'interpréter le reste du projet, qui est dissimulé par les faces visibles. Il devra donc recouper cette esquisse avec d'autres croquis montrant le même projet sous d'autres angles. Chaque esquisse donnera un volet du projet⁶.

Dans le cas où la vue est en mode fil de fer, il faudra considérer que chaque facette de l'avant-plan est entrecoupée avec celles de l'arrière-plan. Ainsi, sur le plan 2D, il y aura plus d'un polygone pour représenter les facettes 3D. Le concepteur devra donc pointer plus d'un polygone sur le plan pour les associer avec la surface choisie. Par contre, le fait qu'on voit l'ensemble du volume sur le

même croquis (les faces visibles et celles qui devraient être invisibles) toutes les faces du volume pourront alors être communiquées à l'ordinateur avec la même esquisse.

Comme le projet représenté par l'esquisse est composé de plusieurs points de vues et esquisses, il faut qu'il existe une corrélation entre ces esquisses et le projet. Ce sont ces corrélations qui permettent de définir progressivement le projet, qui ne sera pas l'image d'une esquisse, mais l'ensemble des liens existant entre les différentes données sur le projet. C'est ce que nous appellerons la connaissance du projet.

4.3.3 L'interprétation du projet par les volumes

L'autre façon de procéder pour faciliter la compréhension du projet par l'ordinateur et l'identification des facettes de l'esquisse est la reconnaissance des volumes simples composant celle-ci.

Toujours après avoir vectorisé les points et les lignes, il devient possible d'indiquer à l'ordinateur une correspondance avec des volumes simples connus tels que le cube, la sphère, le cône, la pyramide, etc. Ainsi, à partir d'une palette de fonctions, tout comme celle pour les formes géométriques 2D, l'utilisateur pourra pointer le pictogramme d'un volume sur la palette de fonctions, puis, en les cliquant à l'aide de son crayon électrique sur sa tablette-ordinateur, associer des facettes à cette forme géométrique connue.

En indiquant à l'ordinateur que telle ou telle facette appartient à un cube, celui-ci pourra facilement localiser le cube dans l'espace cartésien et calculer l'angle de vision hypothétique de l'esquisse.

Cette méthode résoudra rapidement l'interprétation des faces de l'esquisse et ne laissera à résoudre que la question des facettes appartenant à des formes 3D complexes.

À mesure que l'ordinateur "comprend" un volume 3D ou une surface 2D localisée dans l'espace 3D, il rajoute cet élément dans la liste des objets déjà saisis, puis le fait apparaître dans la vision de l'espace 3D que renvoie l'ordinateur à l'utilisateur pour qu'il puisse apprécier l'évolution de la compréhension de son projet. Dans le cas où l'interprétation de l'objet renvoyée

par l'ordinateur ne correspond pas à la vision que s'en faisait le concepteur, celui-ci pourra interagir avec le programme pour la faire corriger. C'est la méthode essai-erreur.

La combinaison des deux sous-systèmes, les faces 2D et les volumes 3D, permet de déterminer une bonne partie de la volumétrie directement à partir de l'esquisse ou d'une combinaison d'esquisses plutôt que par l'entrée des données mathématiques.

Dans un système conventionnel 3D, il faut tout d'abord noter que les données présentées sous forme matricielle ("bitmap") ne sont pas acceptées, ce qui élimine d'emblée les esquisses à main levée. Il faut alors recréer les formes 2D primitives selon un plan orthogonal bien précis (plan, élévation ou profil) et faire générer les formes 3D par un procédé de transformation 3D comme l'extrusion, la surface de révolution ou une autre méthode complexe. Ensuite, il faut placer ces objets 3D dans l'espace cartésien à l'aide de commandes de translation ("MOVE"), de rotation ("ROTATE") et de mise à l'échelle ("SCALE").

S'il veut continuer avec l'ordinateur à partir de ses esquisses préliminaires, le concepteur doit donc obligatoirement subir une coupure dans son processus de design et effectuer une retranscription pure et simple de son projet dans un nouvel univers.

La méthode décrite ici donne au concepteur le choix d'utiliser l'ordinateur comme support pour ses esquisses, lui offrant ainsi les possibilités de l'ordinateur pour la classification et l'archivage de ses esquisses. Puis, à partir de l'étape où il est rendu, le système lui permettra de transposer ses idées dans une forme 3D, éditable par lui et par l'ordinateur, sans lui demander de recommencer le processus dans un autre mode et sur un autre outil.

En procédant de la forme la plus simple vers celles les plus complexes, le concepteur transmettra à l'ordinateur les informations minimales requises pour que celui-ci puisse déduire le reste du projet. À mesure que les volumes 3D sont isolés de l'ensemble de l'esquisse et qu'ils s'additionnent sur la scène 3D où se trouve la transposition du projet, les volumes et les facettes qui les composent sont indiqués par une texture ("SHADED") sur l'esquisse pour que l'utilisateur prenne connaissance des facettes qui restent encore à isoler.

Tant qu'il reste des facettes non texturées sur l'esquisse vectorisée, cela signifie qu'il reste de l'information non-traitée sur le dessin. C'est le concepteur qui décide du moment où l'esquisse a suffisamment servi.

Les objets 3D qui auront servi de référence pour identifier les facettes de l'esquisse (le cube, la sphère, la pyramide, etc.) seront pré-établis de manière à être choisis facilement par le concepteur. Mais celui-ci pourra également ajouter au système des formes complexes qu'il aura lui-même créées et qu'il aura déjà utilisées, afin de pouvoir assembler une librairie d'objets 3D qui constituera son style d'intervention personnel.

En permettant à l'utilisateur de se servir de formes provenant d'une conception précédente, le système réduira grandement le temps nécessaire pour reconnaître des formes qui peuvent paraître complexes, mais qui sont familières au concepteur.

En utilisant les coordonnées absolues des volumes théoriques et en les comparant à la forme réelle des objets qui leur ont été associés par le concepteur dans l'esquisse, l'ordinateur pourra, à l'aide de l'orientation du projet qu'il aura déduit et de la dimension des segments dans les trois différents axes des facettes repérées, trouver les dimensions réelles des facettes des objets de l'esquisse. En effet, en projetant en 3D le volume théorique avec les mêmes paramètres que ceux de l'esquisse, il est possible de trouver dans les trois axes le facteur d'échelle qui fera coïncider l'objet théorique avec l'objet réel identifié.

Comme l'ordinateur peut projeter les volumes qu'il connaît dans l'axe de vision anticipé, il peut également comparer les facettes des volumes connus générées mathématiquement avec celles obtenues en mesurant l'esquisse. Chaque facette ainsi comparée avec le modèle mathématique engendrera des ajustements de la forme géométrique de base pour obtenir celui illustré par l'esquisse.

En extrapolant sur cette méthode, il sera même possible de faire générer par l'ordinateur des vues 3D autres que celles des esquisses, et que celui-ci aille chercher dans toutes les esquisses rattachées au projet tous les détails dessinés à main levée pour les projeter sur les facettes de la nouvelle vue.

4.3.4 La compréhension de la vue et de l'échelle de travail

Celle-ci est requise dans le processus de la connaissance du projet par l'ordinateur. Sans ces éléments, il sera impossible de recréer des objets 3D dans un espace cartésien pré-défini à partir d'une esquisse 2D représentant une vue quelconque. Les paramètres requis pour déterminer la vue sont:

- l'angle de l'azimut;
- l'angle de l'élévation;
- l'angle du cône de vision;
- l'angle de rotation du plan de tableau;
- le point de l'observateur (x, y, z); et
- le point de visée (x, y, z).

La compréhension de la vue de travail se fera si possible dans un premier temps par la définition qu'en donnera l'utilisateur avant de créer son esquisse. Dans l'un des coins de l'écran-tablette se trouvera une palette de fonctions donnant au concepteur le choix d'indiquer dans la mesure du possible le type de vue avec laquelle il s'apprête à créer l'esquisse. Ainsi, chaque esquisse aura un attribut qualifiant le type de vue, ce qui simplifiera la reconnaissance de la vue de travail.

La compréhension de la vue de travail se fera également par l'interprétation de l'angle de vue en comparaison avec la forme volumétrique ou géométrique que la vue est censée représenter. Lorsque l'utilisateur pointe dans son esquisse un losange qui est censé être en théorie un carré ou un rectangle, l'ordinateur en conclut que celui-ci est projeté dans l'espace. Par sa faculté de calculer et d'extrapoler, l'ordinateur pourra calculer facilement l'angle de vision.

La détermination de l'angle de vision et de la vue de travail pourra s'effectuer en mode relatif, c'est-à-dire que l'utilisateur déterminera la prochaine vue dans laquelle il veut travailler à partir de celle où il a terminé l'autre. Ce qui lui permettra de modifier l'angle des grilles de perspective que l'ordinateur mettra à sa disposition pour dessiner ses croquis. Cette détermination de l'angle de la vue pourra également s'effectuer soit par la méthode conventionnelle, soit par le mode absolu, c'est-à-dire par l'indication des paramètres sur un plan de référence.

Une des façons qu'aura l'utilisateur de vérifier l'état de la compréhension du projet par l'ordinateur sera de consulter en tout temps une fenêtre qui afficherait une vue axonométrique du modèle 3D contenant l'information 3D recueillie sur le projet. L'angle de cette vue serait variable facilement grâce à un mouvement de la main de manière à visualiser le projet dans tous les sens.

Une fois les paramètres de la vue identifiés, il faut également passer à la compréhension de l'échelle de travail, car c'est aussi pendant l'étape de la formalisation qu'il faut mettre l'esquisse à l'échelle.

Pour réaliser cette étape, l'ordinateur doit tout d'abord avoir saisi les formes du projet et les points de vues par lesquels ils ont été dessinées. En infographie, le concept d'échelle ne s'appliquant qu'au mode vectoriel, il faut donc que la vectorisation ait déjà eu lieu.

L'utilisateur peut fournir le dimensionnement à l'ordinateur en établissant des valeurs étalons, ce qui permet à ce dernier de calculer l'échelle du projet et les autres données nécessaires à l'établissement des dimensions des volumes. Grâce à la connaissance du point de vue, l'ordinateur pourra ainsi calculer toutes les autres dimensions en fonction de la distortion de la perspective ou de la vue axonométrique.

D'un autre côté, le dimensionnement pourra provenir également des données telles que les surfaces à respecter, recueillies lors de l'étape de la programmation architecturale. Ces données pourront s'appliquer dans les esquisses de plan aux différentes pièces ou unités administratives identifiées par le concepteur à un des éléments de la base de données des surfaces.

4.4 L'avant-projet

Une fois les étapes précédentes terminés, lorsqu'il y a consensus ou approbation de la part du demandeur du projet sur les fondements de celui-ci, il est temps de passer à l'avant-projet. C'est pendant cette étape que l'on "met au propre" les idées élaborées durant l'esquisse préliminaire et découlant de l'étape de la programmation architecturale. Évidemment, il existe d'autres scénarios, peut-être autant qu'il existe de projets, mais dans la majorité des projets, c'est la marche normale à suivre⁸.

Il est toujours temps, à la fin de cette étape, d'apporter de nouvelles modifications au concept, car tant que le projet n'est pas construit, on doit être en mesure de l'améliorer. Mais l'avant-projet est la synthèse de l'esquisse, où il est possible de chiffrer (estimation des coûts) et d'évaluer l'impact du projet sur son environnement (vérification du zonage, assemblées publiques, approbations aux niveaux supérieurs, etc.).

Beaucoup de projets ne survivent pas à cette étape, tandis que d'autres ont à repasser à travers les étapes précédentes. La conception étant un processus itératif, l'avant-projet constitue une étape charnière.

4.4.1 Les étapes précédentes

Lors de l'étape de l'avant-projet, le projet héritera des données des étapes précédentes. En plus de la volumétrie, le projet comptera déjà une somme importante d'informations, comme:

- les données paramétriques sur les surfaces;
- les proximités exprimées dans les esquisses;
- les matériaux et éléments choisis dans la programmation architecturale;
- etc.

La volumétrie du projet réalisée à l'étape de l'esquisse permet de générer l'ensemble des vues 2D nécessaires pour compléter les documents de l'avant-projet. Les dessins générés à partir des vues 2D extraites des vues 2D (plans, coupes, élévations, axonométries et perspectives) sont "habillés" avec les

éléments graphiques requis pour leur compréhension: les notes, les dimensions, les titres, etc.

L'avant-projet est le moment où se produit une synthèse de l'information accumulée durant les autres étapes de la conception assistée. Auparavant, étant donné que la synthèse s'effectuait au moyen des données produites en dehors de l'ordinateur, le concepteur n'entrait dans l'ordinateur que le fruit de sa synthèse. Il n'avait donc pas à entrer les données ayant servi à synthétiser le projet. Mais maintenant que les données sont générées dans l'ordinateur, l'utilisateur devra interagir avec elles pour produire l'avant-projet.

Il faut donc permettre à l'utilisateur de traiter toute une gamme d'informations de formats différents, comme des dessins ainsi que des données qualitatives et quantitatives. Le système sera une sorte de gare de données où l'utilisateur pourra les consulter, les trier, les organiser et les transformer vers la forme requise pour l'avant-projet.

4.4.2 La station de travail

La station de travail est l'ensemble des composantes informatiques nécessaires pour réaliser une tâche précise. Dans le cas d'un poste graphique, il s'agit de l'ordinateur et de ses périphériques d'entrée, de sortie et de visualisation des données.

Pour ce qui est des périphériques usuels tels que le clavier, je ne pense pas qu'il faudrait le remplacer dans le cadre de cette nouvelle station de travail. L'industrie a mis plus d'un siècle pour produire le clavier servant à écrire les textes et l'humanité a pris le même temps pour s'y habituer; il ne faudrait donc pas modifier les objets figés dans leur évolution technologique, mais plutôt changer ceux qui n'ont pas encore fait leurs preuves et qui peuvent encore être améliorés⁹.

Par contre, ce qu'il faudrait par exemple améliorer, c'est l'utilisation de la souris dans le contexte d'un poste de travail servant à la fois de tablette graphique et d'écran. En effet, avec ce nouveau poste de travail, la souris sera devenue caduque, car elle servait à synthétiser le déplacement d'un curseur sur la surface de l'écran sans toucher directement à celle-ci. Avec ce poste de travail, l'utilisateur

pourra en effet pointer sur la surface à l'aide d'un crayon et se passer de la souris.

Mais, si son utilisation évolue, la souris pourra survivre dans ce nouveau contexte. L'évolution que j'entrevois est la suivante:

Si l'on se réfère au poste de travail traditionnel, le concepteur, lors de l'étape consistant à mettre son esquisse au propre, utilise d'une main son crayon et de l'autre ses équerres et les autres outils dont il dispose (compas, courbes françaises, efface, etc.). Ainsi, l'utilisation d'un poste informatique ne devrait pas handicaper la possibilité d'un humain de se servir de ses deux mains.

C'est pourquoi le concepteur devrait être en mesure d'utiliser les deux mains même s'il se sert d'un poste informatique. À cet effet, le nouveau poste de travail lui permettrait de tenir d'une main le stylo électronique (avec ou sans fil) qui communique à l'écran toutes les sélections des menus et les coups de crayons; et de l'autre la souris pointeuse (qui, dans ce contexte, se nomme en anglais disque ou "puck") qui servirait à "tenir" les outils ou à déplacer les menus et les fenêtres.

Comme la deuxième main de l'utilisateur, la gauche pour les droitiers ou la droite pour les gauchers, est moins habile que celle qui tient le crayon, il ne faudrait pas lui faire tenir un crayon. D'un autre côté, l'une des critiques qui revient le plus souvent envers la souris est justement son manque de précision¹⁰. Ce type d'interface conviendrait donc beaucoup mieux à la deuxième main pour travailler en conjonction avec celle qui dessine.

La particularité de l'écran-tablette réside dans le fait que sa surface est virtuelle, c'est-à-dire que tout ce qui est reproduit à l'écran est irréel sous la surface vitrée: l'utilisateur ne peut pas saisir avec sa main l'image d'un outil qui y est reproduit comme il le ferait avec une équerre sur sa table. Il doit passer par un interface (comme la souris) pour communiquer sa volonté à l'ordinateur, qui la traduit par une action à l'écran.

4.4.3 L'interface-usager

Jusqu'à maintenant, l'informatique a énormément contribué à l'étape de l'avant-projet. Le projet étant jusqu'à maintenant conçu en dehors de l'ordinateur, celui-ci servait presque uniquement à en faire la représentation après-coup, une fois le concept fini. Grâce aux propriétés infographiques de l'ordinateur, le traitement graphique a été grandement amélioré.

Mais ce qui est important d'améliorer pour cette étape, c'est l'interface avec l'utilisateur. Étant donné qu'il faut changer la base des données du projet, il faudra également transformer la façon dont les programmes traitent les données et la manière dont les usagers auront à interagir avec les programmes et les données.

Couplée au nouveau poste de travail décrit précédemment, la tablette-écran offrira des possibilités jusqu'ici inexplorées, comme de pouvoir dessiner sur une table de travail informatisée avec des outils traditionnels tels que l'équerre, le compas ou le rapport d'angles.

Au lieu de sélectionner des fonctions mathématiques, l'utilisateur pourra sélectionner une équerre sur sa palette d'outils; une équerre virtuelle apparaîtra alors au bout du pointeur de sa souris, sous la surface de l'écran. Il pourra ainsi déplacer ou tourner celle-ci de sa deuxième main, comme il l'aurait fait naturellement avec une vraie équerre, grâce à la souris.

Avec sa main dominante, l'utilisateur pointera le début et la fin de la ligne qu'il désire dessiner en utilisant l'extrapolation de la ligne dessinée par l'équerre. En d'autres mots, le concepteur verra se modifier la ligne générée par son équerre de façon interactive, à mesure qu'il la déplacera avec la souris sur la surface de son plan de travail, y compris toutes les intersections possibles que cette ligne pourrait faire avec les autres déjà dessinées.

On peut imaginer un fonctionnement semblable pour tous les autres outils d'un coffre à crayons, de manière à reproduire une méthode de dessin plus proche de celle qui existe depuis des siècles. Ainsi, c'est l'ordinateur qui aura à puiser les données dont il a besoin pour générer mathématiquement les formes à l'écran, et non l'humain qui devra se conformer à cette contrainte, ce qui

rejoint le premier énoncé de cette thèse, qui est de tenter d'enseigner à l'ordinateur comment fonctionne l'être humain.

Pour ce qui est des menus, ceux-ci devraient être présentés sous forme de palettes de fonctions se comportant comme des fenêtres, c'est-à-dire pouvant se déplacer sur la surface du bureau pour être utilisées là où le désire l'utilisateur (chacun ayant ses préférences), à proximité de l'endroit où se trouvent les documents sur lesquels il travaille.

Chacun des sous-menus appelés par l'utilisateur pourrait se détacher du menu d'où il provient et se comporter comme une fenêtre mobile sur le plan de travail. Ainsi, l'utilisateur pourra configurer son espace de travail comme il l'aurait fait avec son propre bureau¹¹.

Le choix des palettes déployées et leur position devront être sauvegardés dans une configuration propre à chaque utilisateur, ce qui permettra aux utilisateurs travaillant en réseau ou sur le même poste de travail de se retrouver rapidement dans un environnement de travail personnalisé sans se sentir dans les affaires des autres (ce qui est présentement le cas du Macintosh, malgré ses qualités).

4.4.4 L'espace de travail

Étant donné que le poste de travail est une surface plane et que les documents à traiter sont de dimensions et de formats différents, le système le plus approprié est le concept des fenêtres comme dans le Macintosh.

Le concept du Mac consiste justement à reproduire la surface d'un bureau où se trouvent pêle-mêle tous les dossiers ouverts d'une personne, il s'agit d'un bureau ("desktop") métaphorique. Le dossier ouvert le plus récemment se trouve sur le dessus, recouvrant ainsi les autres fenêtres ouvertes. Chaque fois que l'on pointe un document situé en-dessous ou que l'on en ouvre un autre, il repasse sur le dessus, prenant ainsi la priorité sur les autres fenêtres ouvertes.

Chacune des fenêtres peut-être agrandie ou réduite et déplacée sur la surface du bureau, qui peut prendre n'importe quelle dimension. Plus elle est grande, plus elle peut contenir de fenêtres ouvertes étalées sur sa surface et visibles en même temps. De plus, le concept des fenêtres permet une surface virtuelle, où la

surface visible du document ouvert est inférieure à la fenêtre ouverte. Le visionnement s'effectue en déplaçant la surface du document dans la surface de l'écran au moyen de flèches et de barres de déplacement ("scrolling bars").

La surface du bureau étant par extrapolation une grande fenêtre contenant toutes les autres, on pourrait alors avoir une surface de bureau virtuelle quasiment infinie (ce qui n'est pas le cas du système du Macintosh à l'heure actuelle).

Notes:

- 1 À ce propos, la disposition des touches sur le clavier de la dactylo aurait volontairement été placée de manière à ralentir le travail des opérateurs(trices), car les appareils de typographie qui y étaient rattachés ne permettaient pas un flux d'information trop rapide. Il est maintenant trop tard pour corriger le tir et il est peut-être plus facile de la remplacer par un autre moyen que de tenter de le changer. D'autres alternatives ont été tentées, comme le clavier "Dvorak", mais celui-ci n'a jamais été standardisé par l'industrie.
- 2 On pourrait concentrer nos efforts sur les nouvelles générations de concepteurs et se dire que lorsqu'il n'y aura plus personne qui saura ce qu'était la table à dessin, on aura réglé la question. Mais de cette manière, on ne profitera pas de la critique des raisons qui poussent les concepteurs à être réfractaires à cet outil, le privant ainsi de moyens de s'améliorer.
- 3 L'informatique a mis au point des techniques de compression des images qui tendent à réduire la portée de cette affirmation. Grâce à l'identification et au codage de séquences de points dans le dessin, il est possible de réduire théoriquement le dessin avec un facteur de 8 pour 1.
- 4 Cette paraphrase est tiré d'un article intitulé *La case vide - La Vilette 1985*, écrit par M. Bernard Tchumi et publié dans la revue *Point de vue - Maintenant l'architecture*, p 73, dans le numéro de mars 1986.
- 5 Il est entendu qu'on ne peut pas prévoir d'avance quel mode d'esquisse le concepteur va utiliser, et c'est souhaitable ainsi. C'est pourquoi il faut prévoir plusieurs scénarios pour laisser au système le plus de flexibilité possible.
- 6 La notion de base de données pour un projet commence à être essentielle à ce stade-ci de la démonstration, car c'est par le biais de cette base de données commune, regroupant toutes les informations sur le projet (analyses diverses, esquisses, données provenant des autres phases du design, etc.), qu'il sera possible d'effectuer des regroupements et des corrélations.
- 7 L'ordinateur n'étant pas intelligent, il ne comprend pas un concept. Il applique tout simplement les notions élémentaires que le programme possède. Cette allusion à la compréhension est donc une métaphore pour permettre à l'humain de se rapprocher de son outil.
- 8 On voit apparaître de plus en plus de nouvelles formes de processus de design, comme le "fast-track" ou le "design build", qui représentent les nouvelles formes de contraintes du marché. Il est donc important de ne pas les perdre de vue pour permettre à notre nouveau processus de design informatisé de s'adapter à toutes les formes de processus.
- 9 Évidemment, le clavier pourrait être remplacé par un interface vocal permettant à l'utilisateur de dicter son texte, mais comme cette technologie n'a pas encore fait ses preuves et que ce principe n'est pas vraiment utile à la conception des projets de design, il n'en n'est pas question dans cette thèse.
- 10 Les usagers qui ont tout d'abord été habitués à la tablette graphique avec crayon qualifient la souris d'outil "grossier": c'est l'équivalent de dessiner à l'aide d'une brique.
- 11 Cette possibilité existe actuellement avec l'écran de la marque Radius sur le Mac. J'ai ainsi eu l'occasion de travailler avec un écran de 19" ayant cette flexibilité; depuis que j'ai changé d'écran, je n'ai jamais retrouvé cette façon de faire qui m'avait fortement impressionné.

CONCLUSION

En conclusion, cette thèse a permis de mettre en relief la situation actuelle en informatique par la description d'une part de l'ordinateur et de ses périphériques, et d'autre part par l'analyse de la CAO actuelle. Ceci dans le but de permettre l'élaboration d'une nouvelle CAO mieux adaptée aux architectes et aux concepteurs afin de leur permettre de concevoir leurs projets par ordinateur.

Pour atteindre cet objectif, il faudra procéder dans un premier temps à l'élaboration d'une station de travail adaptée au design; puis il faudra établir le projet en tant que base informatique en CAO; et par la suite, développer les méthodes ainsi que les logiciels qui permettront de dessiner à main levée avec l'ordinateur et de formaliser le projet dans une forme éditable par celui-ci.

Enfin, en raison des changements amenés par cette informatisation du processus de design, il ne faudra pas négliger une préparation parallèle du concepteur à son nouvel outil et aux implications de son utilisation à long terme.

1° Concevoir une station de travail adaptée au design

Si certains architectes refusent toujours de travailler avec l'ordinateur, c'est que, selon eux, celui-ci est mal adapté à la fonction de la création et que toute tentative de s'en servir malgré tout risquerait de "teinter" leur design au lieu de les aider à concevoir. Cette affirmation s'explique par le fait que, sous sa forme actuelle, l'ordinateur ne tient pas suffisamment compte des contraintes inhérentes à la conception.

En effet, la conception demande une liberté et une souplesse qui ne se reflètent pas dans le poste de travail informatique conventionnel composé d'un écran, d'un clavier et d'une souris. Toute l'approche est donc à revoir, car le simple fait d'avoir à séparer mentalement l'action de dessiner avec la main et de regarder le résultat sur l'écran nuit au processus de design. Cet effort supplémentaire peut sans doute être fourni au moment de l'entrée de données établies au préalable, mais certainement pas au moment de la création du concept, où la spontanéité risque d'être altérée par cette déconcentration.

Il importe avant toute chose de revoir la physionomie du poste de travail en vue de permettre la mise au point d'une nouvelle station graphique capable de favoriser la conception. Cette nouvelle station devra permettre au concepteur de dessiner à main levée et de visionner le résultat de son action instantanément, à même la surface sur laquelle il vient de dessiner.

Afin de faciliter l'adaptation du concepteur à son nouvel outil de travail et de lui permettre d'alterner aisément entre les anciennes et les nouvelles méthodes de dessin, le périphérique de saisie devra être un crayon dessinant sur une surface plate. Enfin, pour permettre la flexibilité (la conception ne se faisant pas toujours assis devant une table à dessin), ce périphérique devra être portable et d'un format facilitant le déplacement du bras sur la page (environ A3 ou 11"x17").

Au moment de terminer cette conclusion, la compagnie Toshiba vient de lancer son ordinateur-tablette sans clavier, qui fonctionne avec l'interface Windows, et Apple annonce son Newton pour septembre 1993. L'apparition de ce genre d'ordinateur semble donc confirmer les hypothèses de cette thèse. Mais, pour les architectes, la partie n'est pas encore gagnée, car si le domaine de la recherche et du développement ("R&D") s'intéresse à ce nouveau type d'ordinateur au point d'y consacrer une partie importante de son énergie, c'est principalement à la bureautique que se dévoue la science et non à la CAO.

C'est pourquoi il faut absolument profiter de ce dynamisme actuel pour intégrer, dans la recherche fondamentale et appliquée, des équipes pluridisciplinaires incluant des architectes et des concepteurs, qui contribueront à trouver dans le domaine de la CAO des débouchés pour les nouvelles découvertes. Sans cet apport de la profession au domaine scientifique, les outils informatiques resteront mal adaptés à la conception, car ils continueront d'être des outils de bureautique transposés à la CAO.

Ainsi, le but à atteindre est la création d'un outil de travail informatique qui rallierait tous les architectes, concepteurs ou non, à travers toutes les étapes d'un projet d'architecture.

2° **Établir le projet comme base informatique en CAO**

Le second grand défi de la nouvelle CAO réside dans la transposition de la structure informatique actuelle vers un ensemble informatique plus favorable à l'interconnexion des données à l'intérieur d'un même projet.

Actuellement, l'informatique classe et archive l'information en fonction du type de données. On trouve ainsi des dessins CAO, des bases de données alphanumériques et des modèles 3D, chacun organisé en fichiers informatiques. Malgré le fait qu'ils appartiennent à des projets différents, les fichiers de chaque catégorie ont plus de similitudes entre eux que les données de types différents ayant trait au même projet.

Afin de permettre l'intégration de l'informatique dans l'ensemble du processus de design, il faudra procéder à une unification des fichiers. Grâce à une restructuration des données du projet dans un nouvel ensemble, il serait alors possible d'unifier toutes les étapes du processus de design de manière à avoir accès, pour chacune d'entre elles, aux données provenant de la précédente.

Déjà, avec l'avènement du Macintosh et de son système de d'exploitation, il s'est produit une intégration des données vers une hyper-structure appelé le "bureau" ("desktop"). C'est cette approche bureautique qui a permis de mettre au point des techniques d'intégration comme le presse-papier ("clipboard") et l'album ("scrapbook"), qui permettent de faire passer des données d'un logiciel à un autre pour les traiter avec plusieurs "outils" différents. Plus récemment, Apple et Microsoft ont mis au point des applications permettant un lien direct entre les données créées à l'aide de logiciels différents, ce qui permet de voir se répercuter automatiquement sur un document les modifications apportées dans un autre.

Mais le plus important reste encore à venir: au moment de terminer cette thèse, Apple a annoncé pour l'automne 1993 un nouveau concept qui modifiera la façon de conserver les données informatiques. Ce nouveau concept consiste en l'utilisation d'un fichier unique, accessible à l'ensemble des applications du Macintosh. Chaque type de données deviendra alors un élément qui "flottera"

sur la page. Lorsque l'utilisateur sélectionnera l'un de ces éléments, l'ordinateur appellera automatiquement l'application ayant servi à le créer.

Cette nouvelle approche, qui se situe exactement dans la même ligne que cette thèse, laisse entrevoir pour la CAO la possibilité d'un environnement similaire, où le projet dans son ensemble constituerait le fichier informatique, comportant divers éléments créés avec plusieurs logiciels différents adaptés à leur nature.

Toutes les étapes du projet profiteraient ainsi des données générées au préalable, au moment où elles sont requises. Elles seraient donc toujours disponibles et visibles pour le concepteur, qui choisirait de les utiliser ou non selon le contexte particulier.

Ici encore, l'occasion est donnée aux architectes de s'impliquer dans la recherche et d'influencer son cours. En prenant part aux recherches, les architectes profiteront des retombées de ce nouvel environnement informatique, mieux approprié à la conception d'un projet. Il est donc important de définir dès maintenant les paramètres du nouvel environnement CAO, qui le différencieront de celui de la bureautique.

3° *Informatiser le dessin à main levée et la formalisation du projet*

C'est seulement lorsque la nouvelle station de travail adaptée à la CAO sera mise au point et que la nouvelle plate-forme informatique permettant une meilleure utilisation des données sera implantée qu'il sera possible de développer de nouvelles approches et de nouvelles méthodes de travail, telles que celles présentées dans cette thèse.

C'est à partir de ces innovations, comme la tablette-écran, que des méthodes de dessin à main levée assisté par ordinateur pourront être élaborées. Ainsi, l'ordinateur permettra à un concepteur d'emmagasiner, de combiner, de reproduire et d'archiver plus facilement des esquisses de toutes sortes. Toutes les esquisses pourront être organisées et datées par l'ordinateur pour servir tout au long du projet.

Grâce à des logiciels comme MacPaint ou MacDraw, qui permettent de dessiner en mode "pixels" ou en mode "vecteurs", il est facile d'extrapoler comment l'ordinateur permettra à un concepteur d'illustrer son projet. Grâce aux méthodes de vectorisation automatique, il est désormais possible de traduire en vecteurs presque en temps réel des formes dessinées à main levée. C'est cette vectorisation qui permettra à l'ordinateur de considérer les formes dessinées à la main comme des éléments éditables et manipulables.

Il reste à permettre à l'ordinateur de transposer ces formes illustrant la représentation du projet en un ensemble cohérent pouvant être édité et manipulé. Cette transposition, décrite dans cette thèse comme l'étape de la formalisation du projet, constitue le troisième défi de la nouvelle CAO.

L'étape de la formalisation constitue actuellement le chaînon manquant du processus de design assisté par ordinateur. Sans le développement de ce lien entre l'esquisse à main levée et la modélisation 3D, tant qu'il faudra procéder à la numérisation du projet (entrée des données point par point), il restera toujours une coupure dans le déroulement de la conception avec la CAO. Cette numérisation systématique brise en effet l'interactivité entre le concepteur et son projet.

La formalisation du projet représente elle aussi une étape cruciale dans le processus, car c'est à ce moment que le concepteur transmet à l'ordinateur la vision qu'il a de son projet. À partir de cette étape, le projet est édité à partir de l'image existant dans l'ordinateur plutôt que dans l'esprit du concepteur. Le projet évoluerait en fonction des données accumulées et de leur édition dans le temps.

Comme il existe autant de méthodes de conception que de concepteurs, le concepteur aura le choix entre plusieurs approches pour transposer le projet à partir des esquisses réalisées sur l'ordinateur durant tout le processus de design. Chaque approche interprétera le projet à sa manière et projettera les résultats sur une maquette 3D visionnable en tout temps par l'utilisateur. Ainsi, toutes les approches se combineront au fur et à mesure de la formalisation des esquisses pour interpréter le projet sous une forme 3D éditable.

Le développement de cette étape nécessitera le support très étroit d'usagers-concepteurs qui seront les seuls à pouvoir guider les informaticiens dans la programmation d'un lien informatique aussi spécialisé. Sans l'apport d'architectes et de concepteurs dans des équipes de recherche, il sera quasiment impossible pour les chercheurs de comprendre la raison d'être de ce lien et son importance pour la nouvelle CAO.

4° Préparer le concepteur aux changements informatiques

Une des conséquences de l'informatisation de la pratique de l'architecture et du design est la transposition de la présence du projet. Que ce soit au niveau de la conception ou à celui de l'exécution, la présence du projet s'est déplacée vers l'ordinateur. Comme l'utilisation de l'ordinateur comporte des risques connus tels que la perte d'informations due aux problèmes électroniques ou la destruction de données causées par la dégénérescence du support d'archivage, il est important de tenir compte de ce facteur.

Du côté du processus de design, le fait d'avoir informatisé l'outil de conception a fait glisser la compréhension du projet de la pensée du concepteur vers la mémoire de l'ordinateur. Le concepteur qui transmettra son projet à l'ordinateur aura par la suite à l'éditer de manière à le faire évoluer. Le projet se retrouvera donc contenu dans l'ordinateur beaucoup plus tôt dans le processus de design qu'auparavant.

De l'autre côté du processus, grâce à l'apparition de nouveaux périphériques de traçage, comme le traceur au jet d'encre, il devient possible au concepteur de se détacher encore plus de la copie-papier. Comme il est désormais plus facile d'imprimer une nouvelle feuille chaque fois qu'une correction est apportée au projet, la notion d'original s'est retrouvée déplacée vers l'ordinateur. Désormais, l'original réside dans l'ordinateur alors que la feuille de papier n'est qu'une copie du projet, que l'on remplace à mesure que celui-ci évolue.

Il est donc important de bien préparer le concepteur à cette nouvelle réalité. Cette notion de déplacement de la présence du projet vers l'ordinateur peut mettre en péril la sécurité du projet lui-même si le concepteur ne prend pas les dispositions adéquates pour sauvegarder ses données.

Depuis plus de trente ans, l'évolution de l'informatique a comporté bien des risques que les informaticiens ont su maîtriser grâce à des procédures strictes et méthodiques. Il ne semble donc pas évident que ces pratiques soient également applicables dans un contexte de création par des utilisateurs plus familiers avec le domaine des arts que de l'informatique. C'est pourquoi, afin d'appuyer cette nouvelle démarche vers la création assistée par ordinateur, il est essentiel que les développeurs de logiciels accompagnent leurs produits de procédures automatiques de protection contre les erreurs, tant humaines qu'informatiques.

Il ne faut pas oublier le contexte dans lequel a été écrit cette thèse et qui est décrit dans l'avant-propos par cette citation: "... ne serait-il pas plus sage d'apprendre l'homme à l'ordinateur, plutôt que d'apprendre l'ordinateur à l'homme?"¹ Dans le cas de la sécurité informatique, surtout dans le domaine des arts et de la création, il est grand temps que l'ordinateur prenne la relève de l'être humain pour permettre au concepteur d'exercer ses talents sans risques inutiles.

Notes:

- ¹ Tirée de la première publicité d'APPLE sur le Macintosh en 1984 et citée en avant-propos de cette thèse.

BIBLIOGRAPHIE

- ARICAD, *Product reference guide designer & topographer*, Aritek Systems inc., États-Unis, 1989.
- ARRIS, *Architectural Drawing with Modeling & Rendering*, Sigma Design, États-Unis, 1983.
- AUBERT, Jean, *Dessin d'architecture*, éd. de La Villette, France, 1992.
- AUTOCAD release 12, *Advanced Tools*, Autodesk Inc., États-Unis, 1992.
- AUTOCAD release 12, *Fundamental Tools*, Autodesk Inc., États-Unis, 1992.
- AUTOVUE for version 12, *User's guide*, Cimmetry Systems Inc., Canada, 1992.
- BENDA, Laurel, *The Art of Human Interface*, Addison-Wesley, États-Unis, 1989.
- CADMOVER, *CAD/CAM file translation program*, Kandu software corporation, États-Unis, 1987.
- CADVANCE, *Technical Reference Guide*, Isicad, États-Unis, 1990.
- CADVANCE, *User Guide*, Isicad, États-Unis, 1990.
- DIAGONAL 4, *Manuel de l'utilisateur*, AVEC Informatique, Paris, 1988.
- PC-DOS, *Disk Operating System, Programming Family*, IBM, États-Unis, 1986.
- FILE MAKER PRO, *Guide de l'utilisateur*, Claris Corporation, États-Unis, 1990.
- GENEST, Lise, *Vocabulaire de l'infographie*, Canada, 1987.
- LOGITECH, *Getting the most from your mouse*, Logitech Corporation, États-Unis, 1990.
- IGS, *Basic Operator Training*, Calcomp, États-Unis, 1985.
- INFORMATIQUE ET ARCHITECTURE, *Les cahiers de la recherche architecturale numéro 23*, éd. Parenthèses, FRANCE, 2ème et 3ème trimestre 1988.
- JANTZEN, Éric, *Traité pratique de perspective*, éd. de La Villette, France, 1985.
- KUSSMAN, Ralf, *PC File Formats & Conversions*, Albacus, États-Unis, 1990.
- MAC ARCHITRION, *Introduction à la CAO, Manuel pédagogique*, Gimeor, France, 1988.

- MAC ARCHITRION, *Guide de référence, Manuel utilisateur*, Gimeor, France, 1988.
- MC CULLOUGH & AL, *The Electronic Design Studio*, Massachusetts Institute of Technology Press, États-Unis, 1990.
- MS-DOS, *User's Guide and Reference*, Microsoft Corporation, États-Unis, 1990.
- MICROSOFT WINDOWS, *Environnement graphique d'exploitation*, Microsoft Corporation, États-Unis, 1990.
- MITCHELL, William J., *The Logic of Architecture*, Massachusetts Institute of Technology Press, États-Unis, 1990.
- PLOT MASTER, *Reference Library*, Calcomp, États-Unis, 1987.
- PRISMA, *Architectural Design Package User's Guide*, IsiCAD, États-Unis, 1987.
- PRISMA, *IsiCAD Design and Drafting System*, IsiCAD, États-Unis, 1989.
- QUINTRAND, Paul, *La CAO en architecture*, éd. Hermès, France, 1985.
- SIRICON, *Guide d'évaluation des logiciels de CAO*, Le centre Siricon, Canada, 1989
- SPACE EDIT, *2D & 3D CAD Program*, Abvent, États-Unis, 1988.
- TOPS, *TOPS for the PC, User's Guide*, Sun Microsystems Corporation, États-Unis, 1987.
- TOPS, *TOPS for the MAC, User's Guide*, Sun Microsystems Corporation, États-Unis, 1987.
- TSCHUMI, Bernard, *La case vide - La Villette 1985*, Point de folie - Maintenant l'architecture, FRANCE, mars 1986.
- VIDEO WORKS, *User's Guide*, Hayden software Company, États-Unis, 1985.
- XENIX, *Operating System User's Guide*, The Santa Cruz Operation, États-Unis, 1987.
- ZENITH DATA SYSTEMS, *User's guide*, Bull Company, États-Unis, 1992.

ANNEXE A

A.1 Les catégories d'ordinateurs

Afin de bien circonscrire l'environnement dans lequel fonctionnera le nouveau poste de travail graphique, il est important de bien connaître les différentes catégories d'ordinateurs. Il existe trois catégories bien identifiées dans le domaine de l'informatique:

- les maxi-ordinateurs ("mainframe");
- les mini-ordinateurs;
- les micro-ordinateurs.

Il est difficile de cataloguer définitivement un ordinateur dans l'une de ces catégories de puissance, car elles évoluent très rapidement. Les innovations en informatique se produisent à une vitesse telle qu'il faudrait continuellement modifier les critères.

Les différentes catégories sont définies et caractérisées par le nombre d'utilisateurs qui peuvent accéder simultanément à l'unité centrale de l'ordinateur. On retrouve au bas de l'échelle le micro-ordinateur, qui ne permet qu'à un seul utilisateur de travailler à la fois; puis le mini-ordinateur, sur lequel deux à dix utilisateurs peuvent travailler en même temps; et en haut de l'échelle, le maxi-ordinateur qui reçoit plus d'une dizaine d'utilisateurs.

Pour ce qui est de la catégorie micro, deux familles se distinguent principalement: la famille du PC ("Personal Computer"), ou IBM compatible, et celle du Macintosh.

Ces deux grandes familles, qui semblent incompatibles par leur configuration technologique, tendent de plus en plus à se rapprocher par leur fonctionnement. Qu'il s'agisse des logiciels ou du système d'exploitation, de l'apparence ou des méthodes d'utilisation, ils tendent vers une interface commune. Le coût de développement sur deux interfaces différents pour les développeurs n'est peut-être pas étranger à ce rapprochement. ¹

Les systèmes d'exploitation

Pour faire fonctionner un ordinateur, il faut un programme permettant d'opérer les *périphériques de mémoire* (disque dur, lecteurs de disquettes, mémoire vive, etc.), les *périphériques d'entrée et de sortie des données* et les différents programmes d'application. Ce programme s'appelle le *système d'exploitation*. Le système d'exploitation est également responsable de l'interface-usager, c'est-à-dire la liaison entre l'utilisateur de l'ordinateur et le microprocesseur de celui-ci

Les *systèmes d'exploitation* (aussi appelés systèmes d'opération) n'ont pas toujours été aussi complexes qu'ils le sont aujourd'hui. C'est par nécessité qu'ils le sont devenus, car on s'est vite rendu compte que la complexité des opérations nécessaires pour effectuer une simple opération, comme lire un fichier sur une disquette, était quasi impossible à réaliser par un simple usager. Il a donc fallu améliorer le programme pour qu'il le fasse à notre place.

Les systèmes d'exploitation peuvent se diviser en trois groupes se rattachant à la catégorie d'ordinateurs (maxi, mini ou micro) auxquels ils sont destinés. La première catégorie, celle des micro, peut se diviser en deux sous-familles: les PC et les Mac. Tous les autres systèmes ressemblent en effet à l'une ou à l'autre de ces sous-familles.

La catégorie micro

Tout particulièrement, le système d'exploitation du Macintosh a représenté une révolution dans le domaine du développement de logiciels. Issu du système développé par la compagnie Xerox et testé sur l'ordinateur LISA, le système d'exploitation du Mac a tellement influencé l'informatique qu'il serait difficile aujourd'hui pour un développeur d'inventer un système qui lui serait compétitif sans lui ressembler.

Le programme du système qui régit les composantes de l'ordinateur n'est sans doute pas bien différent des autres systèmes d'exploitation, mais sa particularité est d'être invisible pour l'utilisateur, qui communique avec l'ordinateur par le biais d'un autre programme, le "Finder", qui transmet au système les commandes

que l'utilisateur désire voir exécuter (comme de copier une disquette ou d'effacer un fichier).

Cet interface fonctionne comme un bouclier protégeant l'utilisateur du langage hermétique de l'ordinateur. L'utilisateur est en contact avec un environnement qui recrée celui d'un pupitre réel (le "Desktop"). À partir de ce bureau, on ouvre des dossiers, on utilise des outils, on déplace des documents et on peut même les jeter à la poubelle. Chacun des dossier s'ouvre en faisant apparaître à l'écran une fenêtre que l'on peut déplacer ou fermer à l'aide de la souris

À l'intérieur des fenêtres, on trouve des icônes représentant des documents, des programmes ou d'autres dossiers. Ceux-ci peuvent être ouverts, manipulés, copiés ou détruits d'un simple geste de la souris

Dans la famille des PC et des IBM compatibles, on trouve le système MS-DOS (MS pour MicroSoft, la compagnie qui l'a créé, et DOS pour "Disk Operating System"). Comme son nom l'indique, "système d'opération du disque", ce système avait simplement été commandé par IBM pour faire fonctionner le lecteur de disquettes. Mais, comme il y avait beaucoup d'autres lacunes à combler, on en est vite venu à le faire s'occuper de tous les autres aspects du micro.

C'est ce changement de vocation qui est à l'origine de tous les problèmes actuels du DOS (pas d'interface-usager, manque de flexibilité, aucune vision d'ensemble, etc.). Néanmoins, le système DOS a le mérite d'être devenu la norme de l'industrie dans le domaine de la micro-informatique sur IBM compatible.

Pour pallier à son manque d'interface valable, la compagnie MicroSoft a mis au point une réplique du système d'exploitation du Macintosh qui porte le nom de "WINDOWS". Bien que ce système ne soit pas parfait, il a permis de rattraper du terrain sur le retard qu'avait accumulé le DOS en matière d'interface-usager

La catégorie mini

Dans la catégorie des mini-ordinateurs, on trouve désormais une seule norme qui tend à devenir universelle, c'est-à-dire qu'il pourrait devenir le seul système d'exploitation des années 90. Il s'agit du système Unix, dont l'originalité réside

dans sa capacité multi-usagers, et du même coup, multi-tâches. Il a été développé par AT&T, par le biais de sa filiale Bell Laboratories.

La qualité première du système Unix est sa fiabilité. Il est composé d'un cœur ("kernel") qui résiste à tous problèmes venant de l'extérieur grâce à sa coquille ("shell"). Cette coquille permet à un programme de s'interrompre brusquement ("crash") sans affecter le cœur. Ainsi, un usager qui interagit avec le système parmi deux cents autres, n'a pas à craindre un pépin provoqué par un autre usager.

Cette protection à trois niveaux permet à un usager de protéger ses propres fichiers, ceux de son groupe de travail ou ceux de l'ensemble du système contre l'écriture, la lecture ou l'exécution d'un programme.

Le système Unix a été développé en langage C, qui a été conçu spécialement pour lui. Grâce à cette combinaison, la popularité du système Unix a entraîné celle du langage C.

Enfin, le système Unix est très performant sur le plan des communications en réseaux. Le protocole EtherNet, spécialement conçu pour lui, est maintenant l'un des principaux systèmes de réseaux sur le marché.

L'interface original du système Unix est plutôt rudimentaire et ressemble à celui du DOS (une ligne de commande à la fois). Mais, comme tous les grands fabricants de mini-ordinateurs l'ont adopté, chacun a développé son propre interface-usager pour l'améliorer. Comme toutes ces compagnies se sont inspirées du Macintosh pour leur interface (les fenêtres, la souris et les icônes), on retrouve désormais sur le marché des mini-ordinateurs possédant des systèmes similaires au Mac, mais opérant sur Unix.

La catégorie maxi

Enfin, dans la catégorie maxi, on trouve autant de systèmes d'exploitation qu'il existe de fabricants. On ne peut pas dire qu'il existe de normes absolues, car chaque compagnie utilise les siennes depuis tellement longtemps qu'il leur serait impossible de changer. Notons le système "VMS" de la compagnie Digital (VAX) et "VM" de la compagnie IBM.

Pour conclure sur le sujet, on peut supposer que deux grands gagnants ressortiront de la course au système d'exploitation commun pour tous les types d'ordinateurs, catégories confondues. Il s'agit du système Unix pour le cœur du système et du système du Finder de Macintosh pour l'interface-usager.² On assistera donc sans doute à la création d'un système d'exploitation basé sur le système Unix, mais qui aura l'apparence du Macintosh, le tout fonctionnant sur un ordinateur qui sera peut-être fabriqué par IBM...

A.2 La description de l'ordinateur

La performance d'un ordinateur est évaluée selon des paramètres de puissance, de vitesse, de puissance de calcul et de capacité de la mémoire vive.

La puissance et la vitesse d'un ordinateur sont les critères principaux de sa qualification. Avant l'avènement de la micro-informatique, ces paramètres s'appliquaient au CPU ("Central Processing Unit") ou *unité centrale de calcul*. Depuis l'avènement de la micro, on évalue surtout le microprocesseur de l'ordinateur, car l'ensemble du CPU y est désormais concentré. Pour bien comprendre l'influence des deux paramètres de puissance et de vitesse sur la performance d'un microprocesseur, on peut le comparer au flot de circulation sur une autoroute.

La puissance

La puissance de l'ordinateur s'évalue par le nombre de *bits* (éléments binaires) que peut traiter à la fois le *microprocesseur*. Cela peut se comparer au nombre de voies que comporte l'autoroute. Les premiers microprocesseurs ont tout d'abord eu quatre bits, puis huit, ce qui correspondait au nombre de bits requis pour afficher un caractère. En effet, la représentation d'un caractère d'un clavier se fait par l'attribution d'un code tiré d'une table que l'on appelle ASCII ("American Standard Code for Information Interchange"). Cette table ASCII codifie l'ensemble des caractères possibles en leur donnant un code entre 1 et 255, ce qui fait 256 possibilités.³

Les microprocesseurs de 8 bits convenaient donc parfaitement au traitement des caractères et de textes. Mais, pour ce qui est du traitement des chiffres, ce type de processeur était peu performant, car il ne peut traiter que les nombres décimaux compris entre 0 et 255. L'ordinateur devait découper les nombres plus élevés en multiples de 256 (ex.: $10\ 345 = 40 * 256 + 105$), puis les traiter séparément, pour ensuite les ré-assembler à la sortie du microprocesseur. Cette manipulation des données ralentissait considérablement la vitesse de calcul.

C'est alors qu'est apparu le microprocesseur à 16 bits, qui permettait de traiter des nombres compris entre 0 et 65 535 (ou entre -32 768 et +32 767). Cette

évolution a permis de doubler "l'autoroute" des données pour ce qui est des calculs mathématiques, mais elle ne permettait pas encore le traitement des données graphiques⁴. On retrouve dans cette catégorie d'ordinateurs l'IBM PC-AT et les Macintosh Plus et SE.

C'est pour répondre à ce besoin qu'ont été conçus les microprocesseurs à 32 bits, qui peuvent traiter des nombres compris entre 0 et 4 milliards (ou $\pm 2\,000\,000\,000$). Dans cette catégorie, on retrouve tous les ordinateurs récents, soit les PC-386 et PC-486, ainsi que la générations des Mac II.

Cette capacité étant assez grande pour convenir à toutes les applications actuelles de l'informatique, il n'y aura donc pas pour l'instant, à mon avis, de développement du côté du 64 bits, du moins pas pour la micro-informatique³. En d'autres mots, l'autoroute est assez grande. L'industrie de la micro-informatique s'est donc attaquée à un autre paramètre, celui de la vitesse.

La vitesse de calcul

La vitesse de calcul d'un micro-processeur est définie par la vitesse de son *horloge interne*. Une horloge interne sert à synchroniser le cycle des calculs par rapport à une mesure fixe. L'unité de calculs est le Méga-Hertz ou le million de cycles par seconde (MHz).

Les premiers micros, comme l'IBM-XT, avaient une vitesse de 4 MHz; les IBM-AT qui leur ont succédé avaient entre 8 et 12 MHz, ensuite vinrent les PC-386 avec 16, 20, 25 et 33 MHz, et enfin les PC-486 actuels, qui ont 25, 33 et 50 MHz. Comme on le voit, on a progressivement augmenté la vitesse maximum de l'autoroute.

La puissance de calcul

Parallèlement à l'augmentation de la vitesse des microprocesseurs, un autre paramètre est venu augmenter la performance des ordinateurs. Il s'agit des *MIPS* ("Millions Instructions Per Second") ou la *puissance de calcul*. Si l'on revient à l'analogie de l'autoroute, après avoir augmenté le nombre de voies et la vitesse permise, c'est comme si l'on permettait la circulation des camions au lieu des voitures pour augmenter la quantité de marchandise transportée à l'heure.

En plus des MIPS, qui qualifient les instructions en nombres entiers, on retrouve les Méga-Flops qui qualifient les calculs avec des nombres réels (point flottant). La recherche sur l'augmentation des MIPS a amené l'industrie à modifier du tout au tout la configuration interne des microprocesseurs, ce qui a mené à l'émergence d'une nouvelle technologie qui, selon toutes les analyses, est en passe de transformer les futures générations d'ordinateurs. Cette technologie, qui se nomme RISC ("Reduced Instructions Set Computer"), permet de traiter des séries plus simples d'instructions à un rythme plus rapide. C'est le principe des trains roulants. Cette technologie a fait bondir le nombre des MIPS des microprocesseurs, qui oscillaient entre 1 et 6 MIPS, à 25, 50 et même 100 MIPS.

Cette nouvelle technologie de microprocesseurs va permettre le développement de nouvelles stations de travail ("Work station") qui seront beaucoup plus performantes et plus adaptées à certains travaux plus complexes, comme ceux de la phase de la conception en architecture.

La mémoire vive

Comme dernier paramètre permettant d'évaluer la performance d'un micro-ordinateur, nous retiendrons sa *mémoire vive*, qui peut être visualisée comme sa table de travail. L'ordinateur prend ses documents dans son disque rigide et les dispose dans sa mémoire vive comme sur une table. Quand il a fini, il les remet dans son disque rigide. Si la table est trop petite, ou, en d'autres termes, s'il n'a pas assez de mémoire vive, il doit, chaque fois que la table est pleine, ranger les documents quelque part sur le disque pour pouvoir en sortir d'autres, puis revenir au précédent et ainsi de suite. Étant donné que l'accès à la mémoire vive se compte en nano-secondes (milliardièmes de secondes) et celui au disque dur en milli-secondes (millièmes de secondes), cela signifie que le fait de passer de l'un à l'autre a sur l'ordinateur un facteur de ralentissement d'un million.

La capacité de mémoire s'évalue en nombre d'octets. Un octet équivaut à huit bits, ce qui représente la capacité nécessaire pour emmagasiner un caractère. Les premiers micro-ordinateurs avaient 4 Ko (Kilo-octets ou 1 024 octets), puis ils sont passés à des capacités de 16, 64, 128 et 512 Ko.

Les micro-ordinateurs actuels ont maintenant des capacités d'un ou deux Mo (Méga-octets ou 1024×1024 octets) comme mémoire de base, mais les logiciels les plus récents demandent de plus en plus l'équivalent de 4 ou même de 8 Mo de mémoire vive. En infographie, le minimum requis pour opérer une station graphique est maintenant de 8 Mo.

ANNEXE B

Tableau synthèse des familles de données

1D	Les textes alphanumériques	
1	Les textes bruts	(documents ASCII);
1 1/4	Les documents "formatés"	(ex.: Word Perfect);
1 1/2	Les chiffriers	(ex.: Lotus 1-2-3);
1 3/4	Les bases de données	(ex.: dBASE).
2D	Les dessins en deux dimensions	
2	Les dessins numérisés	(ex.: MacPaint);
2 1/4	Les dessins vectorisés	(ex.: MacDraw);
2 1/2	Les dessins extrudés	(ex.: AutoCAD);
2 3/4	Les bâtiments extrudés	(ex.: ARRIS).
3D	Les volumétries en trois dimensions	
3	Les points et les lignes	(ex.: TRID, Univ. Laval);
3 1/4	Les surfaces polygonales	(ex.: TD-MODEL, UQAM);
3 1/2	Les rendus et textures	(ex.: 3D Studio);
3 3/4	Les surfaces gauches	(ex.: Alias).
4D	L'animation et les données influencées par le temps	
4	Les vues cinétiques	(ex.: ARRIS);
4 1/4	Les animations 3D	(ex.: ALIAS);
4 1/2	L'animation interactive	(ex.: vidéo-disques);
4 3/4	La réalité virtuelle	(ex.: VIRTUS).

Notes:

- 1 Les compagnies IBM et Apple ont récemment annoncé la fondation d'une nouvelle compagnie qui aura pour mission de développer une plate-forme commune aux deux technologies.
- 2 Il existe déjà un ordinateur fabriqué selon ce concept: il s'agit de l'ordinateur NEXT, conçu par Steve Jobs, le créateur du Macintosh, qui a renouvelé son exploit après son départ de la compagnie Apple.
- 3 Le nombre 256 est rapidement devenu une sorte de nombre d'or en informatique, car il est décomposable en toutes sortes de combinaisons: soit en base 2 (système binaire) $2*2*2*2*2*2*2*2$ ou 2 à la puissance 8, ce qui donne 8 bits; soit en base 4: $4*4*4*4$; soit en base 16 (système hexadécimal) $16*16$. Ce nombre est devenu la référence pour toutes les codifications.
- 4 Un dessin de format A0, qui a une échelle de 1:100, couvre un terrain de 118,9 m. Si celui-ci a une précision de 0,1 mm, il faut une résolution de 1 18 900 points, ce qui est beaucoup plus que 65 535 (ou 2 exposant 16).