



**HAL**  
open science

**Conception architecturale, industrialisation ouverte,  
informatique: le système SIGMA-industrialisation  
ouverte: définition d'un système informatique d'aide à  
la conception de logements par composants  
industrialisés ouverts**

François-Joseph Z'Graggen

► **To cite this version:**

François-Joseph Z'Graggen. Conception architecturale, industrialisation ouverte, informatique: le système SIGMA-industrialisation ouverte: définition d'un système informatique d'aide à la conception de logements par composants industrialisés ouverts. Modélisation et simulation. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), 1981. Français. NNT: . tel-00297300

**HAL Id: tel-00297300**

**<https://theses.hal.science/tel-00297300>**

Submitted on 15 Jul 2008

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# CONCEPTION ARCHITECTURALE INDUSTRIALISATION OUVERTE INFORMATIQUE

THÈSE N° 391 (1981)

Le système SIGMA-Industrialisation Ouverte :

définition d'un système informatique  
d'aide à la conception de logements  
par composants industrialisés ouverts.

*Composition du jury :*

Prof. J. W. HUBER, rapporteur  
Dr B. DAVID, corapporteur  
Prof. H. MATZINGER, corapporteur  
Dr J. MERMET, corapporteur  
Prof. J. PETIGNAT, corapporteur  
Prof. R. VITTONI, corapporteur

par  
François-Joseph Z'GRAGGEN  
architecte EPF-L



"Si la poésie (et l'architecture comme poésie de l'espace Ndlà) est dionysiaque par ses origines, elle est apollinienne dès qu'elle est poésie."

Henri Delacroix



TABLE DES MATIERES



## Introduction

1. Rationalité et conception architecturale
  - 1.1 Introduction
  - 1.2 Aspects épistémologiques de la rationalité
  - 1.3 Emergence de la rationalité
  - 1.4 Les obstacles à la rationalité
2. Industrialisation de la construction
  - 2.1 Le concept de système constructif
  - 2.2 Les systèmes constructifs fermés
  - 2.3 Un système ouvert
3. Avenir de l'industrialisation ouverte
  - 3.1 Contraintes économiques et rôle de l'état
  - 3.2 Les alternatives
  - 3.3 Autres avantages économiques de l'industrialisation
4. Rôle de la CAAO en construction industrialisée
  - 4.1 Les travaux de Carnegie-Mellon (EU)
  - 4.2 Les travaux de Cambridge (GB)
  - 4.3 La CAAO face à l'industrialisation ouverte
5. But de SIGMA-Industrialisation Ouverte
  - 5.1 Choix des composants
  - 5.2 Modélisation architecturale
  - 5.3 Définition du système
  - 5.4 Le langage de description
  - 5.5 Réajustement du programme de déc. 1976
6. La modélisation architecturale
  - 6.1 Introduction
  - 6.2 Les données fonctionnelles
  - 6.3 Les données constructives (composants, caractéristiques, syntaxe)
  - 6.4 Les niveaux
  - 6.5 La manière de travailler
  - 6.6 Les repères
  - 6.7 Images et résultats
  - 6.8 Poste de travail
7. Le système informatique
  - 7.1 Introduction
  - 7.2 Les éléments du système
  - 7.3 BDS (Base de données structurée)
  - 7.4 BDP (Base de données du projet)
  - 7.5 Relations BDP-BDS
  - 7.6 Le système d'exploitation

Conclusions

Lexique

Bibliographies

Annexe 1

Annexe 2

Curriculum vitae

## INTRODUCTION

Ce préambule a trois objectifs :

- expliquer quelle a été notre évolution depuis 1973 dans cette approche de la production systématique de logements ;
- justifier la pérennité de notre démarche face à la modification des préoccupations générales quant au devenir de notre société, leurs répercussions sur l'aménagement de notre cadre de vie et le débat qu'il suscite ;
- situer notre travail par rapport aux deux champs de problèmes que sont la conception assistée par ordinateur et l'industrialisation ouverte de la construction.

En mai 1973, lorsque nous commençons à définir notre travail de spécialité, la problématique était claire : aborder la conception du logement collectif d'un point de vue systématique. Au cours du travail, nous avons rapidement été confrontés à deux nécessités :

- restreindre le champ d'étude,
- trouver des moyens de prendre en compte la variété phénoménale induite par une approche systématique.

Nous nous sommes alors centrés sur la question du plan-masse, tout en indiquant certaines continuations possibles, notamment le raffinement du langage générateur de plans-masses, la production d'une typologie de plans de logements et l'étude de leur réalisation à l'aide de composants industrialisés.

Parallèlement, pour pallier les limites des méthodes

systematiques manuelles dérivées du calcul des probabilités, nous avons commencé à utiliser l'informatique.

Les résultats obtenus dans notre travail de spécialité restaient très élémentaires et nous avons été confrontés à des obstacles techniques concernant surtout le logiciel. L'occasion s'est alors présentée de travailler dans un important laboratoire de mathématiques appliquées et d'informatique, où une équipe d'informaticiens faisait de la conception assistée par ordinateur et s'intéressait notamment à des problèmes de conception architecturale.

Cette collaboration a abouti à la définition du système "SIGMA-archi : Système Interactif Graphique pour Méthodes d'Aide à la conception architecturale", SIGMA-archi est un outil général devant intégrer des produits informatiques orientés vers différents types de problèmes architecturaux.

Aussi, comme constituant du système, avons-nous développé le générateur de plans-masses "AGGLO : Algorithme Générateur de Groupements de Logements" programme informatique gros et sophistiqué qui correspond à l'ultime version de ce que nous avons entrepris dans notre travail de spécialité.

Puis, comme autre constituant du système, reprenant parmi les continuations citées, celle qui nous paraissait avoir le plus d'actualité, ou le plus fort intérêt potentiel, avons-nous défini le sous-système "SIGMA-Industrialisation Ouverte", outil d'aide à la conception architecturale par composants industrialisés ouverts, qui est l'objet de cette thèse.

Entre temps, la scène politique et publique, nationale et internationale, changeait : "crise du pétrole" ou redéploiement capitaliste, renforcement de la tendance monopoliste des multinationales, développement de l'industrie nucléaire,

contradictions entre le rôle des administrations publiques et la liberté individuelle, mouvement écologiste.

Dans les sociétés industrielles, il apparaît une inquiétude à l'égard de l'environnement que l'on perçoit de plus en plus comme constituant de la qualité de la vie. Cette inquiétude entraîne une interrogation plus large sur la valeur de la science, sur les finalités du développement technologique et de la croissance. Au niveau de l'individu, la dépersonnalisation créée par la civilisation industrielle, entraîne souvent une recherche de racines anciennes, dont le succès de tout ce qui est "rétro" fait office de révélateur. Le mouvement écologiste est fortement marqué par cette tendance.

Ce phénomène prend, dans certains milieux, une forme de mode contre l'industrie de pointe et en particulier l'informatique. Dans le domaine concernant les architectes, il en résulte des conflits concernant l'industrialisation ouverte, la conception architecturale assistée par ordinateur (CAAO), et, sur un plan plus large, la créativité architecturale. Mais les modes déforment : elles véhiculent des slogans et des idées parfois à tel point figées ou simplifiées qu'elles en deviennent fausses ou masquent la réalité des problèmes.

Notre environnement est sans doute notre bien le plus précieux. Face aux périls qui le menacent et au vu de la forte imbrication des problèmes, l'aménagement de notre environnement doit être des plus circonstanciés. L'approche de cet aménagement doit être aussi serein que possible et le débat purifié des multiples scories et positions passionnelles qu'engendrent ces modes. Il implique la multidisciplinarité, c'est-à-dire de créer les conditions d'intégration de données issues de domaines très divers (sans approfondir : sociologie, anthropologie, psychologie, écologie, architecture, biologie, physique, chimie, etc...), ce qui passe notamment par une rationalisation de ces données et une formalisation du pro-

cessus de décision dans chacun de ces domaines et dans leur synthèse.

Concernant l'architecture en particulier, avec tous les conflits et crises sur sa définition, son rôle, son statut, parler de formalisation du processus de décision fait toucher un endroit crucial qui a trait au fondement de la créativité : aussi, nous a-t-il paru nécessaire de consacrer le premier chapitre à la créativité, pour montrer que cette rationalisation n'entraîne aucune rupture épistémologique.

Afin de ne pas paraître présumer de la réalité (encore prospective) de cette rationalisation dans la conception architecturale, ou minimiser les difficultés multiples qui se dressent à la conception architecturale assistée par ordinateur, peut-être vaut-il mieux, dans ce préliminaire, situer d'abord les limites de notre contribution, avant de formuler ce que nous avons voulu faire.

L'expérience montre que l'ouverture de l'industrialisation reste une question trapue qui ne peut être l'initiative d'un seul agent.

Il ne s'agissait donc pour nous ni de définir un système constructif ouvert, ni de faire un inventaire intégrateur de systèmes constructifs existants.

Notre objectif a été de montrer qu'un système informatique peut être utile à la conception architecturale par composants industrialisés.

Autrement dit, nous voulons montrer qu'il est possible de formaliser le processus de conception par composants et ces composants eux-mêmes, et que les langages informatiques permettent de décrire le logiciel d'un système constructif, c'est-à-dire les composants et leurs règles de mise en oeuvre.

Pour ce faire, nous avons défini un système rudimentaire : quelques composants.

Même si ce lot de composants est pour l'instant fermé, il ne faut y voir aucune contradiction. Notre mobile étant une formalisation, le formalisme proposé est réutilisable pour un lot beaucoup plus vaste et complet de composants.

1. RATIONALITE ET CONCEPTION ARCHITECTURALE

## 1.1 INTRODUCTION

Parmi les 3 conflits qui peuvent apparaître sur le terrain de cette recherche et que nous avons cités dans l'introduction, le plus fondamental porte sur le concept de créativité.

Ce conflit concerne la nature du processus de conception et peut se schématiser comme l'affrontement de deux positions antagonistes :

- l'une prône le primat absolu de l'intuition avec toute la gratuité que cela implique,
- l'autre prône le primat absolu de la déduction avec toutes les conséquences réductrices que cela implique.

Les concepts de "méthodologie" et de "conception architecturale assistée par ordinateur" (CAAO) exacerbe même ce clivage : certains architectes s'enferment dans une production de formes pour elles-mêmes, dont les justifications ne peuvent être fournies que par un discours a posteriori ; d'autres se plongent dans une utilisation mal comprise d'outils systématiques ou logiques en se déresponsabilisant de tout recul critique et aboutissent à des résultats triviaux, partiels, si ce n'est mauvais.

Il faut en finir avec cette conception qui veut que l'architecture soit un domaine fondamentalement différent des autres disciplines universitaires et des autres productions humaines, comme il faut en finir avec cette idée de la faire passer dans un carcan méthodologique issu des sciences humaines ou des sciences exactes. Comme tout autre domaine, l'architecture a ses spécificités ; mais elle a, avec les autres domaines de la connaissance, au moins une caractéristique commune, qui est liée au mode de fonctionnement de l'intelli-

gence humaine : c'est la complémentarité entre intuition et déduction.

Toute conception comporte une part mystérieuse de créativité et une part de définition-évaluation explicite. Ces deux composantes fonctionnent en étroite imbrication.

A une époque où les programmes d'aménagement et de conception deviennent de plus en plus larges et complexes, parce qu'il est impératif de raisonner en fonction de tout notre environnement, c'est-à-dire des multiples facteurs qui le déterminent, il faut que cesse, dans la conception architecturale, cette confusion-opposition des éléments induits et des éléments déduits.

Poser des questions de méthodes et de rationalité ne tend pas à figer le processus de conception, mais au contraire à enrichir la dialectique intuition-déduction, en en alimentant une des composantes. Lorsque nous disons que les programmes architecturaux deviennent de plus en plus complexes, cela correspond à un type particulier, bien que largement répandu, de programmes architecturaux. Il s'agit, par opposition à l'architecture particulière, de l'architecture socialisée, c'est-à-dire dont les utilisateurs sont nombreux, et qui est soit fondée sur des usages, soit réalisée par des maîtres d'ouvrages qui n'en sont pas eux-mêmes les utilisateurs. Sans vouloir confondre et assimiler l'architecture à l'urbanisme, le mode de conception de cette architecture, en tant que production collective, ou plutôt collectivisée, est assez proche de celui qui caractérise la conception de l'urbanisme et de l'aménagement. Aussi, certains de nos exemples auront-ils trait plutôt à l'urbanisme.

Après quelques généralités épistémologiques, établissant que l'opposition déduction-induction n'est pas fondée, nous voulons montrer comment, dans le processus de conception

architecturale, s'est articulée et s'articule la complémentarité de ces deux concepts.

Le propos peut paraître éloigné de l'industrialisation de la construction et de la conception assistée par ordinateur. Mais celles-ci sont chacune l'application, à l'architecture, de la logique de deux phases marquantes du développement de notre société :

la rationalité industrielle,  
la rationalité cybernétique.

Si ces deux processus connaissent des entraves importantes, peut-être même insurmontables, celles-ci ne sont pour l'essentiel, pas d'ordre logique.

## 1.2 ASPECTS EPISTEMOLOGIQUES DE LA RATIONALITE

L'homme est un être pensant et en tant que tel, son activité, ou plus précisément chacun de ses actes, comporte par définition une part de rationalité. Paradoxalement, ce truisme n'implique pas pour autant que l'on sache ce qu'est l'intelligence.

On distingue dans le cerveau un fonctionnement induit et un fonctionnement déduit.

Le premier est inconscient : il se fonde sur l'instinct, sur l'habitude, sur la mémoire, sur une partie de l'intelligence qui a été intériorisée et passée au niveau de l'inconscient. Ce type de fonctionnement comprend ce que l'on appelle l'intuition, forme de pensée non fractionnée et souvent anticipatrice, qui réunit en un acte unique, une chaîne de raisonnements.

Le deuxième est conscient : il est caractérisé par une forme de pensée constituée de chaînes de raisonnements frac-

tionnés, modifiables et répondant à certaines règles. Si les mathématiques et la logique en représentent les exemples les plus aboutis et presque idéaux, les processus de création artistique et littéraire en représentent d'autres, générés eux-aussi par certaines règles et où sont associés des éléments intuitifs et d'autres conscients.

Plus précisément, on distingue les phénomènes psychiques primaires (perception), secondaire (mémoire), les contenus produits par l'activité mentale et leurs relations.

Le système nerveux paraît conduire les informations séquentiellement, en intégrant dans la même séquence, les données de l'environnement, la mémoire et les produits de l'activité mentale. Ainsi, la solution d'un problème est le choix des critères et informations pertinents, et la recherche de leur séquence combinée. Le déterminant d'une telle séquence est appelé stratégie : c'est là qu'intervient l'aspect intuitif de l'intelligence, qu'il ne faut pas confondre avec l'ordre qui caractérise une séquence, lorsque celle-ci est déterminée. On peut ne rien savoir de ses propres stratégies, et pourtant avoir un fonctionnement mental tout à fait cohérent et ordonné.

Qu'il s'agisse d'un processus artistique ou scientifique, créer ou penser, c'est engendrer, à l'aide d'actions licites répondant à des critères de validation, une suite de situations intermédiaires telles que la dernière permette de passer à la résolution.

Prenons l'exemple d'un architecte qui doit faire le projet d'un petit établissement thermal, remplissant plusieurs fonctions de base à chacune desquelles correspond un sous-ensemble.

Il prend d'abord connaissance du programme architectural

et compte-tenu de la modestie de ce programme, mémorise le volume approximatif et les relations des sous-ensembles. Il va ensuite faire une visite du site ; en fonction de ce qu'il perçoit sur place, et de la topographie (phénomènes psychiques primaires), en fonction de ce qu'il a mémorisé du programme architectural et de son expérience (phénomènes psychiques secondaires), il peut jaillir dans sa tête une idée d'implantation et de volume (stratégie). Cette idée, qui est à la base de ce qu'on appelle "parti architectural", est immédiatement confrontée aux autres contenus du cerveau (mémoire et perception), par un processus de mise en relation (raisonnement et évaluation), et va l'être tout au cours de la genèse du projet avec de plus en plus de raffinement.

### 1.3 SIGNES ET MANIFESTATIONS RATIONNELS DANS L'HISTOIRE DE L'ARCHITECTURE ET DE L'URBANISME

Après avoir abordé le problème de la complémentarité entre intuition et raison, à partir de bases théoriques et psycho-épistémologiques qui ne sont pas propres à l'architecture, nous allons étayer cette thèse par des faits architecturaux. Dans ce but, nous nous référerons à des exemples, soit pratiques, c'est-à-dire construits, soit théoriques, de la place de processus rationnels dans l'aménagement de l'espace.

Sans remonter jusqu'aux origines de l'histoire humaine où les problèmes d'aménagement de l'espace ne correspondaient qu'au problème extrêmement simple de constitution d'un abri, les cas les plus significatifs pour notre propos correspondent à des urbanisations. Ce sont des exemples qui à la fois sont des réponses à des problèmes d'aménagement suffisamment complexes, et qui nous ont laissé des traces.

La forme physique des urbanisations est déterminée par les aspects politiques, économiques et sociaux des groupes humains qui les habitent. Certains historiens de l'architec-

ture et de l'urbanisme montrent ainsi que l'apparition de certaines caractéristiques d'organisation urbaine sont la conséquence de structures sociales existantes. Ainsi, quelque soit sa "culture" et sa localisation, on constate que l'homme néolithique, qui, avec la naissance de l'agriculture et des premières richesses, se stabilise et fonde les premières sociétés, reproduit souvent un schéma spatial basé sur trois foyers (lieu de culte, lieu de commerce, lieu de réunion), et dont l'organisation correspond à certaines règles. L'exemple le plus célèbre, parce qu'on peut l'analyser in vivo, est celui d'un village dogon.

Plus tard, lorsque les sociétés croissent, se développent et que leur organisation se complexifie, les plus avancées entreprennent de grands travaux, dont la conception et la mise en oeuvre nécessitent de l'ordre, des règles, bref, un peu plus de rationalité. Cela correspond à une concentration de richesse et de pouvoir, qui chapote une hiérarchie sociale bien définie.

En 3000 A.C. par exemple, lors de l'érection des pyramides égyptiennes, les pharaons font construire à cette occasion des villes pour y loger les ouvriers et personnes réunis pour ces importants chantiers. Ces villes sont caractérisées par un plan régulier et dense, où la partition spatiale est le reflet de la hiérarchie sociale et où apparaissent les premiers soucis d'hygiène par rapport à la collecte des eaux usées. A la même époque, dans les civilisations de la vallée de l'Indus, les villes sont également construites suivant un plan régulier et dense, comme en témoignent les vestiges de Mohenjo-Daro et Harrapa.

De plus, les maisons à patio montrent une ébauche de typologie, l'hygiène a progressé dans la mesure où les égouts sont souterrains ; enfin, élément de rationalité encore plus manifeste, la largeur des rues est fonction de la hauteur des

maisons ou vice-versa.

On constate donc que plus une société est organisée, plus la maîtrise de son espace est manifeste.

L'histoire de la Grèce antique illustre de manière plus précise encore le lien entre le mode d'organisation de l'environnement et le mode d'organisation sociale qu'il reflète. On peut ainsi lire l'évolution de l'organisation sociale dans l'évolution de l'aménagement spatial.

Au 5<sup>e</sup> siècle (siècle de Périclès), après la redistribution des terres de la noblesse aux paysans, s'instaure une sorte de démocratie élitaire où les décisions sont prises en assemblée et où la gestion est assurée par des magistrats élus.

On passe alors d'un urbanisme assez quelconque à un urbanisme régulier. Ce n'est pas la dimension de bâtiments exceptionnels comme les temples, qui détermine la maille de la grille. Les habitations sont typifiées et de leurs dimensions découle la taille de la maille. Cette dimension est imposée à toutes les surfaces privées par le pouvoir public.

La souplesse de la grille permet d'organiser la cité et de s'adapter à la topographie : quelques rues principales sont planes afin de permettre la circulation des chars, les autres pouvant être en escalier. Les habitations ne peuvent avoir plus de deux étages, ni de fenêtre ouvrant sur la rue, mais quelque soit la position de celle-ci, les chambres sont toujours orientées au sud. Bien que les WC restent portables, les égouts ouverts sont remplacés par des égouts souterrains. Ces exemples montrent bien que, dès l'origine et bien avant que l'architecte s'organise en corporation et s'attribue certains privilèges dans la division des tâches de la construction, il existe une rationalité voire un rationalisme dont procède

l'aménagement de l'espace. Le concept de rationalisme a une connotation de formalisation, et c'est à cet esprit que nous l'utiliserons, face aux exemples de théorisations que nous allons décrire.

Contrairement aux exemples précédents, les essais de théorisation ont surtout porté sur l'architecture particulière, non banale, ce qui n'est évidemment pas étonnant. Cela n'entraîne pas de défaut de cohérence dans le choix de nos exemples, puisqu'après avoir montré l'existence d'éléments rationnels dans des exemples pratiques, nous voulons maintenant montrer que l'on est allé parfois au-delà de la logique sous-jacente dans un travail de conception, en citant quelques théoriciens. La théorisation, comme passage d'une logique sous-jacente à une logique formalisée, fait que l'existence même de ces théories est une démonstration de la rationalité qu'elles recouvrent.

Au Moyen-Age, un ensemble de règles architecturales définies avait pour but d'établir un lien entre le produit de la conception architecturale et son modèle divin. Dieu, ou l'idée de perfection, correspondait à des formes géométriques simples : le triangle, le carré, la pyramide, le cube, le cercle, la sphère.

Cet ensemble de règles, qui n'était pas régi par un système de preuves explicites, définissait des ordres de disposition des formes simples en fonction de rythmes, de nombres, de mesures. Certains auteurs parlent de design prérationnel.

A la Renaissance, époque de démystification, de désacralisation, ces règles étaient basées sur les proportions qui dérivent du corps humain. Les règles déterminant la disposition des formes géométriques ne devaient plus représenter la structure abstraite du modèle divin, mais provoquer des sentiments concrets. Ce fut notamment l'objectif d'Alberti, dont

l'oeuvre en dix volumes réunit et formalisa la somme de connaissances, sciences et techniques nécessaires à produire l'architecture.

Plus tard, Claude Perrault a peut-être été le premier à théoriser le rationalisme dans la conception architecturale. Les bâtiments, en tant que constituant du monde profane, devaient répondre à des "besoins positifs" (besoins de la nature, lois de construction) et à des "objectifs arbitraires" (habitudes, goûts, produits de la société).

Lodoli a encore plus épuré le rationalisme de la conception architecturale en attribuant à l'architecture un objectif prioritaire : la stabilité mécanique et l'efficacité physique du bâtiment face aux lois de la nature.

Ainsi, chaque fois qu'apparaît une nouvelle méthode architectonique, qu'elle soit figurative ou technologique, on essaie de la définir par des éléments et des situations spatiales typiques. La notion de standard, qu'implique l'industrialisation, est donc en fait une constante historique de l'architecture et existe indépendamment et bien avant l'industrialisation. On pourrait même faire l'histoire de la continuité culturelle-technique de l'architecture, que certains prétendent rompue par le saut de l'industrialisation et l'inadaptation qu'ils lui attribuent.

#### 1.4 QUELQUES OBSTACLES AU DEVELOPPEMENT DE LA RATIONALITE DANS LE PROCESSUS DE CONCEPTION

Au-delà des difficultés propres au développement de l'industrialisation dont nous parlons au chapitre 3, nous pouvons, sur le plan culturel, nous demander pourquoi les processus rationnels ont tant de peine à s'imposer dans le processus de conception. Pourquoi, en particulier le fonctionnalisme, a-t-il, dans beaucoup d'exemples, dégénéré dans une sorte de maniérisme ?

Une des réponses réside sans doute dans la confusion sur le rôle de l'art.

De tout temps, par une sorte de profonde angoisse congénitale que l'on explique mal, l'homme s'est donné des mythes. Ces productions mentales correspondent souvent, dans leur forme la plus schématique, à un manichéisme, qui, à partir d'une notion de mal, permet de définir celle du bien.

Les différentes philosophies idéalistes ont théorisé ces concepts pour définir des perfections, des absolus : le "Bien", le "Beau", la "Puissance", l'"Unique", l'"Eternel", etc... Ces concepts sont des êtres abstraits et immuables, existant indépendamment du monde matériel et de toute confrontation avec celui-ci.

Ces absolus avaient, ont toujours, une fonction idéologique, comme substitut aux misères du monde, comme moteur à faire travailler les "braves", selon le schéma "bonheur poursuivi mais inatteignable".

La notion de beauté n'a bien évidemment pas échappé à cette catégorisation et à cette fonction, à travers les arts et en particulier l'architecture.

Dans leur principe, les arts sont des productions reflétant les mœurs, l'idéologie et les moyens techniques des périodes et localisations auxquelles elles correspondent. Mais de tout temps, l'inertie, résultant de cette tendance à promouvoir des absolus, a érigé les innovations formelles et techniques d'une époque en style, en canons de beauté, quelque soit la rationalité même partielle dont procédaient ces innovations. En particulier, la fonction idéologique des éléments formels, en tant que maintien d'un ordre social et des valeurs éthiques qui lui sont attachées, est particulièrement manifeste.

Ainsi, à une innovation ou à un bouleversement techniques, ne correspond pas automatiquement et immédiatement un changement esthétique. Les premiers constructeurs qui ont compris l'intérêt d'utiliser le métal comme élément principal de construction (Labrouste, Baltard, Praxton, Bogardus), ont continué à produire les éléments formels classiques. Plus récemment, certaines industries de maisons préfabriquées se sont mises à produire des villas style "Ile de France" en utilisant des panneaux de béton en guise de pierres de taille et des charpentes en lattes agrafées en guise de poutres.

La révolution industrielle a entraîné une révolution de l'architecture, de ses techniques, de son style, de sa fonction, de sa théorie. Néanmoins, malgré l'apport du matérialisme dialectique contre l'idéalisme, les deux principaux courants théoriques qui sont liés à cet essor industriel et qui ont déterminé l'architecture contemporaine, n'en continuent pas moins à se référer à des concepts idéalistes, des absolus.

On a, d'une part, la ligne de l'architecture organique, qui s'oppose à une conciliation des arts et de la technique, pour satisfaire toutes les pulsions de l'homme, en produisant un environnement construit, régi par l'ordre biologique. La "Nature" est le seul modèle.

D'autre part, la ligne de l'architecture fonctionnaliste, qui a tenté cette conciliation mais en se référant à la "Machine", à la "Technique", à la "Science" et en produisant bientôt ses propres canons de beauté, plutôt que d'intégrer à la pratique architecturale les nouveaux modes d'action et de représentation de l'univers, produits par les nouvelles techniques.

Actuellement, cette partition s'estompe face à la banalisation de l'architecture internationale, dont les grandes

sociétés de construction ont pris le relai, et qui était héritière d'un fonctionnalisme en désuétude ; le phénomène semble acculer la plupart des architectes au reflux vers un esthéticisme relayé tantôt par un discours historiciste, tantôt par un discours humaniste qui prend source dans l'une ou l'autre des sciences sociales.



## 2. L'INDUSTRIALISATION DE LA CONSTRUCTION

## 2.1 LE CONCEPT DE SYSTEME CONSTRUCTIF

Avec le développement formidable des techniques au siècle passé, on a très tôt imaginé que le secteur du bâtiment pourrait, comme les autres productions d'équipements, s'affranchir au moins partiellement des aléas climatiques et partant gagner en productivité, en fiabilité, en sécurité. On a alors commencé à parler de préfabrication, c'est-à-dire de la réalisation de parties d'un bâtiment dans une ambiance contrôlée. L'idée de base était qu'une partie constitutive d'un bâtiment pouvait être produite non pas à l'emplacement même où elle allait servir, mais dans un endroit particulier à partir duquel elle serait transportée pour être mise en place dans sa position définitive au sein du bâtiment. Cet endroit peut être tout proche du chantier, dans le cas par exemple d'une chaîne de production foraine montée sur le même site que le chantier pendant la réalisation de celui-ci, ou au contraire à une certaine distance dans une usine fixe, comme c'est classiquement le cas dans la production industrielle.

Précisons que les notions que nous abordons ici sont relatives, car même dans la construction classique, tout n'est pas réalisé sur le chantier : en particulier, les éléments du second oeuvre sont la plupart du temps préfabriqués : portes, fenêtres, installations. Même certains éléments de base du gros oeuvre comme les briques sont des objets industrialisés.

La préfabrication est donc surtout à comprendre comme un transfert rétroactif, du chantier à l'usine, du temps de travail nécessaire à produire un bâtiment. Ce transfert correspond à une tendance à minimiser la part du temps de travail sur le chantier et à y transporter les éléments constructifs aussi finis que possible, c'est-à-dire dans un état où ils ne nécessitent plus que leur montage et quelques finitions. Dès le moment où l'on pouvait partir le bâtiment en parties réali-

sées classiquement sur le chantier et en parties importantes réalisées en usine, puis montées sur le chantier, il est bientôt apparu le concept de système constructif, puisqu'un système est un ensemble de parties, généré par l'assemblage de celles-ci.

Par "parties importantes", nous entendons des composants repérables dans le bâtiment et remplissant une ou plusieurs fonctions du bâtiment ; c'est par exemple une poutre, un poteau, un panneau, une porte, ce n'est pas bien-sûr, une brique, un clou.

Il convient ici encore d'apporter une nouvelle précision concernant le renouvellement du processus de production de bâtiments par le transfert de tâches du chantier à l'usine. Dans les premiers temps de l'utilisation significative de composants industrialisés dans la construction, ce renouvellement du processus se limitait essentiellement au constructeur, qui cherchait à moderniser ses techniques de réalisation d'un projet conçu classiquement. C'est ce qu'on appelle la rationalisation de la construction. Elle permet le recours à certains composants industrialisés pour autant qu'ils puissent remplacer certaines parties de la construction, conçues comme devant être réalisées traditionnellement, sans modification du projet. Elle porte par ailleurs sur une systématisation des coûts et des tâches qui permet un meilleur contrôle.

Schématiquement, dans cette situation, une fois le travail de conception de l'architecte terminé sous la forme de plans, on étudie la manière d'en simplifier la réalisation, notamment en repérant les éléments voisins ou semblables qui peuvent être produits séparément, donc industriellement. Les contraintes issues de la rationalisation et des techniques industrielles, sont donc subordonnées aux contraintes spatio-fonctionnelles qui ont conduit le travail de l'architecte. On donne le nom de système constructif industrialisé, seulement à

un ensemble de composants définis en eux-mêmes et par leurs règles d'assemblage, en fonction d'un type de bâtiment. Cela implique que l'étude des composants du système est concomitante à celle des détails dimensionnels du type de bâtiment.

En conséquence, on ne donne le nom d'industrialisation que dans les cas où l'on a décidé qu'un bâtiment serait industrialisé avant la conception du projet. Ce renouvellement du processus ne concerne donc plus seulement l'entrepreneur qui réalise, mais également le constructeur industriel et l'architecte. Il doit donc s'instituer une collaboration étroite entre ces 3 partenaires visant à définir un système de référence dimensionnelle, basé sur une unité que l'on appelle module, qui permette de faire la synthèse entre les contraintes fonctionnelles et les contraintes techniques.

On appelle donc système constructif un ensemble de composants de construction permettant de réaliser une part significative des tâches de construction et conçu dans le respect de règles dimensionnelles et d'assemblage entre ces composants.

## 2.2 LES SYSTEMES CONSTRUCTIFS FERMES

Les premiers systèmes constructifs ont essentiellement été des expériences isolées, oeuvre d'un constructeur-concepteur particulièrement inventif, voire génial.

Un tel agent (groupe ou individu) produit, pour un type de construction ou pour son marché, un nombre fini de types de composants constructifs. Chaque type de composants est défini par sa fonction et il y a généralement un nombre limité de types de composants par fonction, voire un seul type, pour des questions de taille de séries. Faute de coordination entre constructeurs quant au module et aux assemblages, il n'est pas possible de remplacer, au sein d'un système constructif, un type de composants produit par un constructeur, par le type

de composant répondant à la même fonction, mais appartenant à un autre système constructif et produit par un autre constructeur. Ce nombre fini de types de composants est donc souvent figé ; on a défini ce genre d'industrialisation de la construction par le terme "industrialisation fermée".

Il s'est fortement développé au lendemain de la seconde guerre mondiale, en particulier dans la période de reconstruction, qui a produit ce que l'on appelle les "grands ensembles", caractérisés notamment par la monotonie et la pauvreté architecturale.

### 2.3 LE SYSTEME OUVERT

Pour dépasser les inconvénients liés à la non-interchangeabilité de composants appartenant à des systèmes constructifs différents, on se mit à étudier des règles communes à plusieurs fabricants, visant à intégrer leurs produits respectifs au sein du même système constructif. C'est ce que l'on appelle l'"industrialisation ouverte".

Un système constructif industrialisé est dit ouvert lorsqu'il est constitué de types de composants produits par des fabricants différents, dont un ou plusieurs types peuvent remplir la même fonction, et dont l'ensemble remplit l'essentiel des fonctions d'un bâtiment.

Là encore, il faut relever la relativité des notions utilisées. On n'a pas d'un côté les systèmes ouverts, et de l'autre côté, les systèmes fermés. Tout système fermé ne l'est pas forcément définitivement ; moyennant des modifications plus ou moins importantes, un système fermé est souvent un tant soit peu ouvrable.

De plus, le mot "système" n'a pas le même sens dans les deux expressions : le passage de systèmes fermés à un système ouvert implique non seulement un changement quantitatif par le

fait que l'on mette ensemble des composants appartenant à des systèmes constructifs en comportant un nombre fini, ce qui au total reste un ensemble fini de composants, mais aussi un changement qualitatif. En effet, adapter plusieurs systèmes fermés les uns aux autres signifie la réduction à un seul système constructif, par le recours à une normalisation. Le paradoxe est que l'on ramène plusieurs systèmes à un seul, tout en augmentant le nombre et la variété des composants. De plus, dès le moment où cette normalisation est définie comme outil d'intégration, elle va rendre extensible le nombre de types de composants du système, qui pourra donc à tout moment être enrichi. Cette caractéristique entraîne depuis quelques années une utilisation régressive du terme de "système ouvert" au profit de celui de "composants ouverts" ou tout simplement "composants". Cette normalisation n'est bien évidemment pas simple ; elle nécessite une concertation qui doit se faire sur 3 plans :

- la structure de la production et du stockage, qui assure la disponibilité des composants aux entrepreneurs ;
- la structure technique qui assure la compatibilité et l'adaptabilité des composants entre eux et leur compatibilité aux exigences climatiques définies par chaque projet ;
- la structure de "planification" qui assure la concordance, essentiellement dimensionnelle entre un projet et le système constructif.

La structure technique implique un outil normatif, appelé par le terme général de "normes", afin d'uniformiser l'appellation des caractéristiques des composants. Il faut en effet que chacun parle le même langage, que ce soit le fabricant qui veut définir un nouveau composant qui soit compatible avec les composants existants, ou l'utilisateur qui cherche un composant répondant à des exigences données.

La plupart des pays industrialisés ont édicté des normes, qui peuvent varier sensiblement d'un pays à l'autre. Dans notre contexte économique, où les échanges commerciaux se font à une échelle internationale, ces normes ne jouent donc que partiellement leur rôle. Une instance des Nations Unies, l'ISO (International Standard Organization), tente cette coordination, avec la lenteur imposée par la difficulté de la tâche.

De toute façon, chaque lot de normes nationales reste relativement rudimentaire dans la mesure où elles définissent essentiellement des caractéristiques élémentaires et des grandeurs physiques, sans arriver pour l'instant à normaliser des combinaisons de caractéristiques pour tendre vers la description de la complexité d'un produit industriel. Il n'y a donc pratiquement pas d'objet normalisé ; on conçoit facilement par conséquent que, compte-tenu de l'organisation du secteur de la construction, cette normalisation des composants constructifs en soit à ses balbutiements. Nous verrons d'autre part au chapitre suivant, les chances qu'a cette voie d'aboutir à une large ouverture de l'industrialisation de la construction.

La structure de planification implique un système de mesures commun basé sur une unité de longueur, que l'on appelle "module". Dans un système de mesure modulaire, le module M est le premier nombre de la série, sa raison et son diviseur commun : il génère par multiplication tous les autres nombres de la série. Le module a trois fonctions :

- il constitue la mesure de base sur laquelle est fondé le projet ;
- il définit les dimensions des composants et groupes typiques de composants ;
- il définit la position des composants dans le système.



### 3. L'AVENIR DE L'INDUSTRIALISATION

### AVERTISSEMENT

Ce chapitre est une analyse qui se fonde sur des prémisses politico-économiques générales étayées en particulier par le cas de la France et les travaux de M. H. Provisor.

Si la situation de notre pays est sans doute fondamentalement peu différente, ces considérations doivent être relativisées par les remarques suivantes :

- le consensus national fait que chaque décision importante de l'Etat n'entraîne pas un âpre débat politique au sein du législatif et à travers les médias ;
  - la taille du pays et le fédéralisme n'imposent que rarement des options dirigistes dans l'industrie ;
- il résulte de ces deux faits que la dualité libéralisme-dirigisme qui est à la base des contradictions traversant l'appareil d'Etat est chez nous particulièrement peu exacerbée.

D'autre part, le coût élevé de la main d'oeuvre, relativement aux matériaux et à la matière première, et ceci même avant le rééquilibrage économique mondial commencé en 1973, renforce la nécessité de rationaliser, en offrant des perspectives d'investissement dans la construction meilleures que dans d'autres pays.

### 3.1 CONTRAINTES ECONOMIQUES ET ROLE DE L'ETAT

Bien que la problématique de l'industrialisation ouverte ne concerne pas exclusivement le logement, un certain penchant philanthropique (sans naïveté et sans ironie) a orienté et oriente notre approche vers ce genre de bâtiment. Ce n'est du reste pas complètement irréaliste au vue de la part que représente le logement dans la production de ce secteur. Ça l'est encore moins lorsque l'on aborde l'examen de la question du logement des classes populaires : piètre qualité générale des

bâtiments récents (exiguïté, équipement minimum, niveau sonore, monotonie), vétusté croissante de logements anciens encore nombreux, déséquilibre entre l'offre et la demande pour ce type de bâtiments.

La lutte visant à asservir la nature et qui singularise l'espèce humaine, se caractérise par un développement d'outils et une rationalisation qui permettent de produire à moindre coût (dans le sens de moindre peine), ou corollairement à meilleure qualité. Le stade le plus récent de ces phénomènes est l'industrialisation, qui, dans tous les secteurs où elle s'est développée, s'est soldée par une économie de main d'oeuvre, la réduction du prix unitaire des produits, la constance de la qualité.

Vouloir améliorer le rapport coût-qualité du logement passe donc par son industrialisation. Malgré les raisons tant économiques que sociales qui justifieraient le passage à l'industrialisation du bâtiment, son développement semble piétiner.

Cela s'explique par le fait qu'on est confronté à des obstacles particuliers, qui sont inhérents au fonctionnement de notre économie d'une part, à la spécificité du logement pour ce qui nous concerne, d'autre part.

En économie de marché, améliorer le rapport coût-qualité répond plus précisément à la nécessité d'accroître le taux de profit. L'industrialisation des autres secteurs de production a eu cette exigence comme mobile. Pourquoi donc ce phénomène, en apparence si logique, ne se produit-il que lentement dans ce secteur, alors même que la part importante qu'il représente dans le PNB d'un pays pourrait lui faire jouer un rôle d'entraînement d'autres secteurs (produits semi-finis et finis) ?

L'industrialisation nécessite des capitaux importants ;

or, la concentration est très peu développée dans ce secteur, qui joue par ailleurs un rôle de soupape dans les cycles d'expansion-récession, rôle utile à l'ensemble de l'économie.

D'autre part, les grands groupes industriels qui auraient la capacité d'investir dans l'industrialisation de la construction ont tendance à pousser leur production dominante à long terme et elles ne diversifient cette production que dans des activités d'opportunité devant rendre rapidement ; l'intérêt, puis le repli, auxquels on a assisté de la part de certains d'entre eux durant les dernières décennies, tend à montrer que l'espérance d'un taux de profit notablement plus élevé que la moyenne, n'existe pas dans le secteur de la construction, pour l'instant du moins.

Concernant la spécificité du logement en tant qu'objet à industrialiser, nous pouvons citer les facteurs suivants :

- sa relation au sol et à la disponibilité de terrains bien situés,
- son prix,
- sa longévité (tenant, jusqu'à nouvel ordre, aux matériaux traditionnels utilisés),
- la sécurité physique exigée (naturellement assurée grâce à l'emploi de matériaux pondéreux),
- son caractère de bien patrimonial par excellence,
- son appartenance aux valeurs symboliques socio-culturelles fortement ancrées dans le passé,
- le nombre et la disparité des agents intervenant dans sa réalisation,
- le cycle exceptionnellement long de la rotation des capitaux engagés,
- une législation et une réglementation issues de pratiques figées et reflétant des équilibres socio-économi-

ques à évolution très lente.

Le problème foncier face à l'industrialisation n'est qu'une facette particulière d'un conflit entre le capital foncier et le capital industriel, puis bancaire, dont les péripéties recouvrent l'histoire du logement social.

Le rôle de l'Etat libéral est de garantir l'ordre économique et social, et en particulier de veiller à un développement de l'économie aussi harmonieux que possible.

Face à ces contradictions, il devrait donc les résorber ; mais il est lui-même confronté à une contradiction entre son assise politique et son rôle de gestionnaire. Les problèmes posés à l'aménagement de l'espace par la propriété foncière sont à aborder avec beaucoup de prudence, en regard du poids électoral de la classe des propriétaires fonciers ou aspirants propriétaires fonciers et surtout du poids idéologique dont est porteur le concept de propriété privée.

D'autre part, les instances de l'Etat qui sont chargées d'intégrer le progrès scientifique et technologique dans le développement de l'économie, et qui pourraient par là débloquent la situation de l'industrialisation du bâtiment, ne peuvent qu'agir sur un long terme. Elles n'ont donc que des moyens financiers modestes et peu de poids, face aux instances de l'Etat qui s'occupent de passation de marché, de fiscalité, de crédit, dont l'impact électoral n'est pas négligeable ; la perspective de celles-ci est donc le court terme.

Concernant l'innovation dans le secteur, Henri Provisor définit notamment le rôle de l'Etat de la manière suivante :

"L'Etat est avant tout l'organe de conservation du système social en place. A ce titre, il s'attache à réduire les tensions qui menacent la stabilité de l'ordre établi.

Par-delà les considérations éthiques qui s'expriment fréquemment dans les déclarations officielles, le souci d'améliorer le cadre et les conditions de vie pour le grand nombre, s'inscrit dans la mission conservatrice de l'Etat. L'action qu'il mène en faveur de l'innovation, tout comme la fonction régulatrice qu'il exerce, viennent en corollaire à son rôle de gardien du système social. Il ne peut pousser à l'innovation que dans les limites de sa mission essentielle. C'est ainsi que, si elle existait, une solution proprement révolutionnaire, impliquant un bouleversement profond des structures professionnelles du bâtiment, n'aurait aucune chance d'être appliquée d'emblée sur une très grande échelle grâce à l'intervention de l'Etat. Des structures participent en effet à l'édifice économique et social au point de ne pouvoir être modifiées que très graduellement, sous peine de répercussions politiques jugées indésirables".

A tous ces obstacles, s'ajoute la mauvaise réputation que s'est acquise l'industrialisation dans le public. Dans la plupart des cas d'industrialisation et en particulier dans le logement, l'amélioration du binôme coût-qualité par augmentation de la productivité, s'est révélée n'être qu'une augmentation du profit soit par alignement sur les prix de la construction traditionnelle à qualité égale, soit par une baisse des prix pour des impératifs commerciaux, mais doublée d'une baisse de qualité proportionnellement plus grande.

Cela signifie peut-être que jamais le gain de productivité acquis par industrialisation n'a été assez important pour permettre une amélioration évidente et généralisée du rapport coût-qualité, qui aurait des effets d'entraînement sur le marché. Compte-tenu de l'état d'esprit du public, il faudrait que l'augmentation de la productivité soit telle qu'elle permette à la fois de concurrencer la construction traditionnelle au point de s'imposer commercialement et de fournir une presta-

tion de qualité si manifeste qu'elle entraînerait l'adhésion du public.

Cette assertion exprime une tendance, conséquence elle-même d'une certaine logique. Cela ne veut bien évidemment pas dire que jamais les prix ne baissent suite à une innovation ou une rationalisation-automation.

En Suisse par exemple, on a constaté avec le développement des systèmes constructifs industrialisés une pression vers le bas des prix de construction dans les opérations d'une certaine importance tout au moins.

### 3.2 LES ALTERNATIVES

Dans cette optique, le problème se formule de la manière suivante : parmi les différents pôles d'industrialisation du bâtiment, lequel permet de prédire ou laisse présager le meilleur gain de productivité ?

Par pôles d'industrialisation, il faut entendre les technologies d'industrialisation du bâtiment qui sont à la fois caractéristiques d'un emploi important de procédés industriels, spécifiques par le choix du matériau et de ces procédés, et qui de plus, ont eu ou sont appelées à un grand essor.

De ce point, nous pouvons citer les pôles suivants :

- la préfabrication lourde,
- la maison tractable,
- les composants.

#### 3.2.1 La préfabrication lourde

Elle s'est beaucoup développée dès le début des années 50, en partie grâce aux économies substantielles réalisées par une rationalisation très poussée. Il semble que l'on soit arrivé à un plafond dans cette rationalisation, sans même parler

des défauts induits d'un point de vue qualitatif par ce mode d'industrialisation, défauts que certains auteurs ne jugent du reste pas inhérents à la préfabrication lourde.

Les spécialistes des pays du COMECON, où de tels procédés ont été poussés très loin, considèrent que la relance de l'augmentation de la productivité ne peut se faire que par l'automation du plus grand nombre de tâches possible, doublée d'une amélioration technologique permettant de diminuer les tolérances et de produire des éléments à surfaces finies.

Un tel développement nécessite un surcroît d'investissement, d'abord concernant la recherche et la mise au point de techniques automatisées de production, puis dans la production des outils de production. Pour des procédés qui en eux-mêmes impliquent déjà une concentration financière et décisionnelle importante, cette nécessité se trouve renforcée. Il en résulte que les obstacles économiques à l'industrialisation dont nous avons parlé plus haut, sont encore alourdis. En effet, la situation de ces pays n'est pas comparable à celle des pays occidentaux : ce qui est possible dans un contexte de forte pénurie, de planification centralisée et d'absence de la logique économique de marché, ne l'est de toute évidence pas dans une économie de type occidental.

### 3.2.2 La maison tractable

C'est un mode d'industrialisation qui s'est développé essentiellement aux Etats-Unis. L'industrialisation est complète dans le sens où l'on produit en usine un objet terminé, complètement équipé et meublé, qu'il suffit ensuite de transporter sur un site et de raccorder aux réseaux divers. Les matériaux de structure et d'enveloppe sont essentiellement le bois, le verre, l'aggloméré, le papier bitumé. Le prix de revient est très bas, mais le vieillissement très rapide. Il en résulte un coût d'utilisation voisin de celui d'un logement en

traditionnel, compte-tenu d'un taux d'amortissement élevé.

L'avenir de ce mode d'industrialisation en Europe se trouve confronté à deux obstacles :

- le problème spatial,
- le problème psychologique.

Ce type de logement est un grand consommateur de terrains et de voiries. Compte-tenu de la réserve de terrains constructibles dans les pays européens, ce qui est possible aux Etats-Unis ne l'est sans doute qu'à une échelle bien moindre dans ces pays.

D'autre part, le caractère patrimonial que revêt le logement dans les pays européens est en contradiction avec le caractère d'objet de consommation à courte durée de vie que comporte la maison tractable. A supposer que ce mode d'industrialisation soit le plus avantageux en terme de productivité, il impliquerait un bouleversement psychologique, dont il n'est pas du tout certain qu'il soit souhaitable, ni même possible.

### 3.2.3 Les composants

Ce mode d'industrialisation ne constitue pour l'instant qu'un pôle prospectif concernant le logement : aucune innovation technologique marquante portant soit sur les matériaux, soit sur les techniques, n'a encore permis d'en baisser le coût d'une manière significative. Il semble admis qu'une forte augmentation de la productivité ne passe pas simplement par la production de grandes séries, mais par le recours à des techniques et des matériaux spécifiquement adaptés à cette échelle.

A cet égard, les obstacles économiques généraux à l'industrialisation, qui sont particulièrement forts dans le cas des systèmes globaux, semblent au contraire réduits dans le

mode d'industrialisation par composants. Lorsqu'un industriel se voue à la production d'un composant spécifique, la masse de capitaux nécessaire est relativement plus faible et à circulation plus rapide que pour la production d'un système global: il en résulte une diversification qui peut créer une dynamique de l'innovation technologique, régie par les lois du marché.

De plus, alors qu'un système global implique plutôt, par les investissements nécessaires, de grosses opérations et/ou une situation de gros producteur dans le secteur, l'industrialisation par composants convient à tout type d'opérations : de la villa conçue et réalisée par un architecte-artisan au nouveau quartier érigé par un grand bureau de planificateurs-constructeurs. A une époque où la conjoncture économique et le ralentissement démographique font décroître la taille des opérations, à une époque où, suite aux "erreurs monumentales" de l'aménagement urbain, on prend conscience de la nécessité d'interventions circonstanciées, cette caractéristique de la construction par composants prend l'allure d'un avantage primordial.

Même si ce bouleversement technologique ne s'est pas encore réalisé, les travaux qui sont faits dans cette direction dans la plupart des pays industrialisés, témoignent de sa virtualité. En particulier, les travaux qui sont faits en Allemagne (R.D.A.), sont présentés en ces termes par le Professeur FRITSCH :

"Les résultats, provenant jusqu'à présent des recherches prévisionnelles dans la construction en RDA, permettent de constater nettement que, grâce aux procédés rationnels et aux technologies modernes, la construction légère et économique conçue à partir d'une base technique et matérielle moderne est le moyen principal pour augmenter la productivité, améliorer la capacité de production et l'efficacité de la construction, pour accélérer la vitesse de construction et pour augmenter l'économie de matériaux".

"La construction légère économique conçue à partir d'une base technique et matérielle moderne, constitue une nouvelle étape de l'industrialisation de la construction".

"Dans la recherche des matériaux de construction de demain, nous ne devons pas oublier que des modifications essentielles, portant sur la technique et les matériaux, interviendront au cours de la prochaine décennie et ultérieurement".

"Il s'agit spécifiquement d'un changement qualitatif de la structure des matériaux par le recours à des matériaux de construction possédant des propriétés complètement nouvelles, de résistances plus élevées et de poids plus réduits. Ce changement se manifeste, par exemple, par la multiplication de l'utilisation des matières plastiques, par les développements de matériaux silicatés avec amélioration des propriétés qui leur sont conférées préalablement, par l'offre d'aciers plus résistants avec des profils laminés à froid à haute efficacité, ainsi que par de nouveaux matériaux de construction fibreux et composites. Dans les vingt années à venir, le développement des matériaux de construction sera influencé par une forte progression de nouveaux matériaux de construction organiques et minéraux et de leurs combinaisons. Les matériaux silicatés prendront à cet égard une place dominante. Jusqu'en 1990, environ 90 % des matériaux de construction utilisés seront des matériaux silicatés. Il s'agira de développer de nouveaux matériaux composites particulièrement par l'utilisation de nouvelles fibres et par celles de verres mis au point à cet effet et caractérisés par des propriétés mécaniques et physiques complètement nouvelles".

La faible concentration de capitaux et de sphères de décisions, si elle peut déboucher sur une grande souplesse d'adaptation des produits à la demande, pose néanmoins le problème de l'adaptabilité des composants entre eux, donc de l'ouverture des systèmes constructifs.

Le problème principal réside dans l'ouverture de la structure. L'exemple des composants d'équipements (tuyauteries, sanitaires, cuisines), où l'ouverture est très développée, celui de l'ouverture plus récente et plus limitée des composants de façades et de cloisonnement, montrent que le problème de l'ouverture est d'autant plus gros que l'on est tributaire de la structure. Il semble donc qu'un pas décisif sera réalisé dans l'ouverture de l'industrialisation lorsqu'on aura maîtrisé les caractéristiques aux limites des composants de structure, c'est-à-dire les joints et assemblages.

Cet objectif devrait être atteint non par une normalisation par décret, très rigide, mais par une normalisation incitative qui, combinant la concertation entre constructeurs et maîtres d'ouvrage aux lois du marché, permette d'ouvrir petit à petit les composants. Les deux exemples que nous présentons maintenant constituent des expériences encourageantes.

#### GRANDE-BRETAGNE (1)

Les systèmes constructifs britanniques, à base de composants interchangeable, ont tous été développés pour s'adapter à une demande relative aux bâtiments publics (écoles, hôpitaux, etc...), à l'exclusion des logements dont la construction est très peu industrialisée et fait appel à des procédés propres aux entreprises.

##### - Les systèmes de constructions scolaires

Le Ministère de l'Education et de la Science (D.E.S.) qui, en Grande-Bretagne, a autorisé sur les constructions scolaires, fixe le minimum de règles pour ces constructions dont la maîtrise d'ouvrage et la conception sont largement déléguées aux autorités locales (communes, comtés, etc...) sous réserve

---

1. Note rédigée par M.D. VIGNON, à la suite de son voyage d'étude au Royaume-Uni, citée par H. PROVVISOR.

qu'elles respectent les prix plafonds par élève.

Ces autorités locales, se sont souvent groupées sur une base régionale, sous l'impulsion du D.E.S. pour former des consortiums dont l'objectif est d'abaisser les coûts des ouvrages réalisés pour leurs membres en assurant une plus grande continuité à une demande élargie et en rendant le processus de construction plus systématique. Les consortiums ont développé soit des systèmes de construction traditionnels en en rationalisant au maximum la mise en oeuvre (A.S.C.), soit des systèmes industrialisés à base de composants (C.L., A.S.P., S.E.A.C., S.C.O.L.A.).

La conception des systèmes, y compris lorsqu'ils sont industrialisés, est le fait de consortiums, c'est-à-dire rappelons-le, de maîtres d'ouvrages qui déterminent un cahier des charges de tous les composants qui leur paraissent nécessaires pour répondre à l'ensemble de leur problèmes techniques, architecturaux, fonctionnels, etc... Ces cahiers des charges, qui pour les systèmes les plus anciens comportaient un descriptif technique complet des composants à fournir, sont rédigés maintenant dans la plupart des cas sous la forme exigentielle (autrement-dit, d'une prescription de performances) avec référence, lorsqu'il en existe, aux normes en vigueur. Sur la base de ces cahiers des charges sont lancées de larges consultations auprès des producteurs de composants qui doivent s'engager sur des performances et sur un prix (sans d'ailleurs qu'il soit garanti un marché ferme par les consortiums). Du fait de la démarche adoptée qui entraîne la pluralité des réponses pour un même composant, les systèmes sont de véritables meccanos, avec interchangeabilité complète des composants à l'intérieur de certaines familles.

#### PAYS SCANDINAVES (1)

De 1960 à 1970, les pays scandinaves connaissent une pé-

riode particulièrement faste en matière de coordination modulaire. Au Danemark, une "loi de construction" promulguée en 1961 stipule que les plans de tous les immeubles locatifs doivent désormais respecter les principes modulaires définis à l'époque. Plusieurs objectifs sont visés : accroissement de la productivité et de la capacité de construction, économie de matériaux, utilisation de l'appareil de production tout au long de l'année, réduction du coût.

Une politique similaire est mise en oeuvre en Suède et en Norvège. Elle inaugure la règle de 3 M dans la construction scandinave.

Nombre de systèmes constructifs à base de composants modulaires voient le jour. Murs refends, éléments de planchers, panneaux de façades lourds et légers, portes et fenêtres, cloisons séparatives, escaliers, blocs sanitaires et cuisine font l'objet d'une production industrielle. L'application de principes modulaires confère à la plupart de ces composants une bonne interchangeabilité d'un producteur à l'autre, et de ce fait, un certain degré d'ouverture aux différents systèmes qui les utilisent. La tendance vers l'ouverture s'affirme d'autant plus nettement que, d'une façon générale, les maîtres d'oeuvre adoptent la coordination modulaire et que celle-ci est introduite dans l'enseignement technique.

Comme partout ailleurs, les solutions appliquées dans les pays scandinaves durant la période 60-70 entraîne une rigidité des plans jugée excessive, voire même inacceptable autour de 1970. A cette date, un vigoureux effort se manifeste visant à conférer au logement et au bâtiment un haut degré d'évolutivi-

---

1 Dans cette partie de l'étude, l'auteur fait de nombreux emprunts à la communication présentée par M. J.E. STAALBY au C.S.T.B. le 2.4.1974 sous le titre "Réalizations et tendances du Danemark et dans les pays scandinaves".

té et de flexibilité. Il se greffe sur un vaste ensemble de recherches théoriques et expérimentales effectuées au cours de la décennie précédente, tant en Europe, qu'au Japon et aux Etats-Unis, par une pléiade d'architectes novateurs.

Le fil conducteur dans la conception est de réaliser cet objectif en distinguant les parties promises à une longue durée de vie et celles appelées à changer plus ou moins vite. Cette différenciation débouche sur des structures de gros-oeuvre durables et aptes à servir à divers usages et sur un aménagement spécifique facile à modifier ou à remplacer.

Au Danemark, trois systèmes répondant à ces caractéristiques ont été développés dans les années 70. Tous trois emploient pour l'aménagement des composants de ce catalogue. Ces derniers comprennent des sous-ensembles (façades, cloisons de distribution, blocs sanitaires et cuisine, électricité, etc...) convenant aux trois, interchangeables d'un producteur à l'autre. L'orientation vers l'industrialisation ouverte s'affirme ainsi nettement.

Au Danemark, le progrès de l'industrialisation ouverte doit beaucoup à un organisme dit "B.P.S." (Système de Planning du Bâtiment) créé en 1972. Cet organisme comprend actuellement une centaine d'adhérents :

- les centres de recherche publics concernant le bâtiment,
- des B.E.T. et des agences d'architectes,
- des ingénieurs-conseils,
- des producteurs,
- les maîtres d'ouvrage du secteur public.

Il a pour objectifs explicites :

- l'extension de l'emploi des systèmes constructifs et des composants industrialisés existants ainsi que des

solutions normalisées

- l'amélioration des règles du jeu relatif à la coordination dimensionnelle et fonctionnelle.
- l'élargissement et la diversification de la gamme des systèmes et composants.

Le B.P.S. partage ses objectifs avec l'Association de producteurs d'éléments de béton (BETONELEMENT-FORENINGEN), qui oeuvre en faveur de la normalisation depuis plusieurs années. L'étroite coopération de ces deux organismes n'est assurément pas étrangère à l'impact des recommandations émanant de B.P.S.

Quels enseignements peut-on tirer des tendances observées en Suède, au Danemark et en Norvège ?

- 1 - On constate que la multiplicité de systèmes constructifs ne fait pas obstacle au développement de composants et sous-ensembles non structurels standardisés. Ce développement exige toutefois que les systèmes industrialisés les plus en vogue sur le marché respectent les mêmes règles en matière de coordination dimensionnelle et d'assemblage. Dans l'état actuel de notre information, reste ouverte la question de savoir si, et dans quelle mesure, la diversification des structures porteuses s'oppose à la production à l'échelle techniquement optimale de l'un ou l'autre composant majeur non structurel et à une substantielle économie d'échelle liée à cet optimum.
- 2 - Le processus d'industrialisation est animé, au premier chef, par un organisme non étatique où les producteurs d'éléments en béton et les maîtres d'ouvrage jouent un rôle décisif quant à l'impact des recommandations qui en émanent. La démarche normative s'y double d'une concertation entre agents ayant une emprise directe sur la production et le marché. Cela permet de concilier la

marche vers un ensemble de systèmes constructifs largement ouverts avec les intérêts immédiats et à terme de ces agents. L'existence de l'organisme considéré apparaît de la sorte comme un facteur déterminant quant à l'aboutissement relativement rapide de l'effort de normalisation à des résultats concrets.

- 3 - L'emploi de composants et sous-ensembles non structurels standardisés tend à égaliser à la fois le coût de la construction et la qualité physique des logements, n'importe le mode de réalisation du gros oeuvre. Ce phénomène tient au fait que, au niveau des prestations assuré et dépendant surtout du second oeuvre, la structure porteuse ne représente plus que 20 à 25 % du coût de la construction.

### 3.3 AUTRES AVANTAGES ECONOMIQUES DE L'INDUSTRIALISATION

Ces avantages portent sur les cinq moments de la vie d'un bâtiment :

- prévision
- conception
- réalisation
- rénovation
- démolition
- exploitation

Lorsque l'on planifie des constructions à réaliser par éléments industrialisés, que l'on en étudie la faisabilité financière, les prévisions sont plus précises puisque les éléments et l'essentiel des tâches sont prédéfinis quant à leur prix.

On est relativement à l'abri des dépassements de devis et autres travaux en régie puisque la valeur ajoutée au moment de la réalisation est moindre, compte tenu de la réduction de durée et la simplification de la mise en oeuvre.

Ce n'est pas une vision de l'esprit lorsque l'on connaît dans la pratique l'importance et la fréquence de tels dépassements financiers, qu'il faut de toute façon payer puisqu'ils correspondent à des travaux réalisés.

Nous développons au chapitre suivant les avantages notamment économiques qu'apporte l'industrialisation durant la conception d'un bâtiment.

Le schéma de la page suivante montre déjà une diminution du travail de l'architecte : conception, adjudication, surveillance.

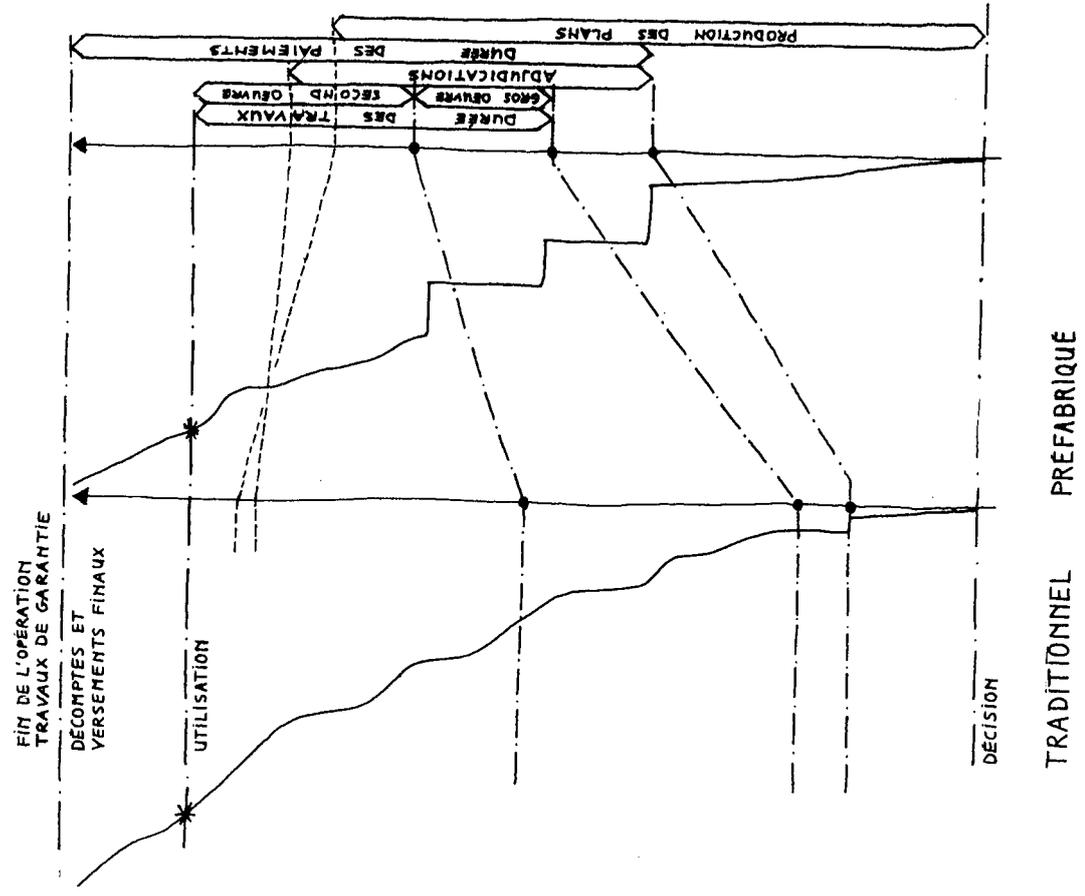
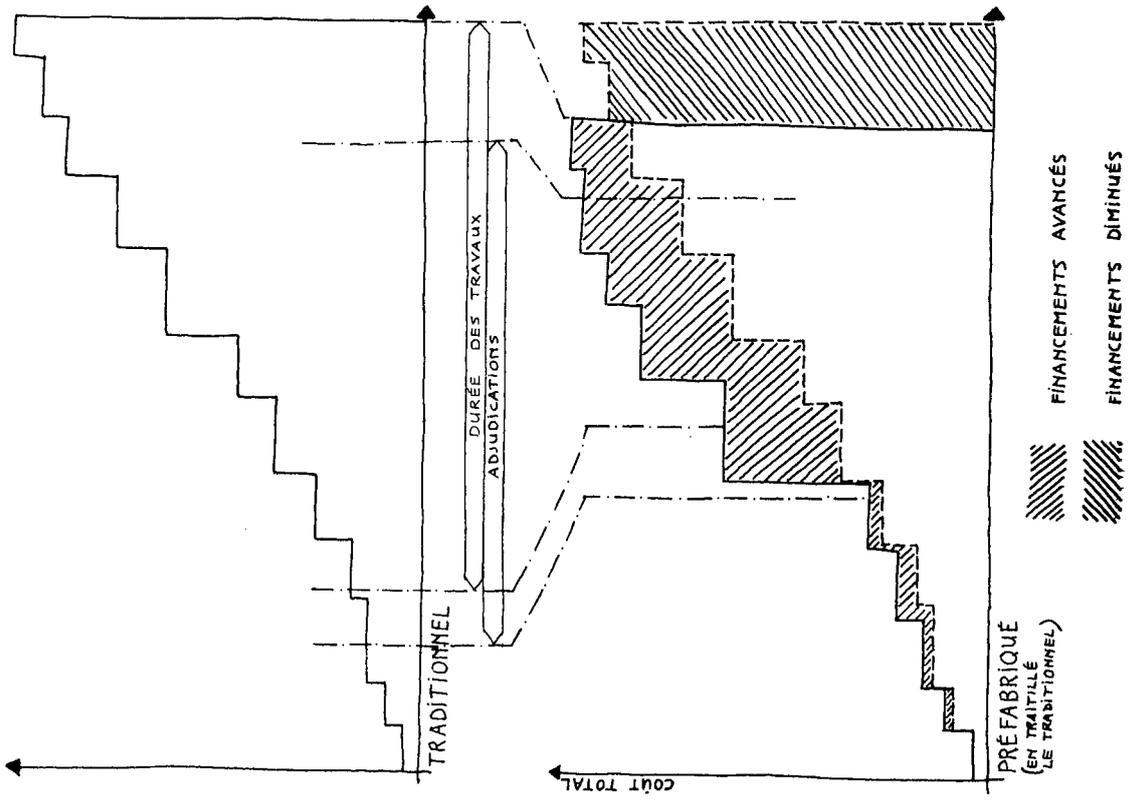
Comme le montrent les deux schémas de la page précédente, concernant le coût de réalisation, la durée des travaux et celle des paiements sont réduites si l'on compare le préfabriqué au traditionnel. Il en résulte une diminution du coût de l'infrastructure de chantier et des intérêts intercalaires, qui compense largement le léger surcoût éventuel du préfabriqué par rapport au traditionnel.

Les différentes parties d'un bâtiment ont un vieillissement différent, suivant leur matériau, leur sollicitation et leur environnement physico-chimique. D'autre part l'affectation d'un bâtiment, partant son organisation interne et son utilisation peuvent varier.

Ces deux conditions font que plusieurs fois dans sa vie un bâtiment peut être rénové. Dans la construction traditionnelle, le coût de la rénovation peut être très cher, il arrive même qu'il dépasse le coût de démolition et de construction neuve.

Dans un bâtiment préfabriqué par contre, les composants étant des sortes d'atomes jouissant d'une relative autonomie structurelle, ils peuvent être remplacés : il en résulte une diminution du coût de rénovation du bâtiment.

Concernant le coût de destruction enfin, cette relative autonomie des composants a pour conséquence de transformer partiellement la démolition en démontage, qui, sans être forcément plus court, ajoute une économie par la récupération des matériaux.



#### 4. ROLE DE LA CAO EN CONSTRUCTION INDUSTRIALISEE

Le processus de conception architecturale comprend une succession de décisions allant schématiquement de l'échelle de l'aménagement du territoire, où a lieu la planification, à l'échelle beaucoup plus grande du détail constructif, où est indiqué le mode de mise en oeuvre des constituants d'un bâtiment.

Dans le mode classique de travail, la conception se fait par stratification : schéma directeur, plan-masse, projet, détail, voire une partition plus fine.

Le concepteur travaillant sur une de ces phases, ne peut faire intervenir simultanément qu'un ensemble de données relativement restreint, pour des questions de capacité de la mémoire humaine notamment. Il en résulte un manque important d'outils de contrôle, qui rend certains choix incertains, voire hasardeux, parce qu'essentiellement basés sur l'intuition, et qui rend tout feed-back difficile à satisfaire, à ordonner, à interpréter. Plus une solution est avancée, plus le concepteur a de la peine à revenir en arrière, même s'il sent un peu confusément qu'une alternative aurait été meilleure.

La complexité croissante des problèmes d'aménagement de l'espace accentue même ces défauts, ce qui suscite des réflexions et des recherches sur la méthodologie de la conception. Chaque strate du processus de conception est alors apparue constituée de phases successives, correspondant à un cheminement d'informations. La solution d'un problème est toujours un choix de critères et d'informations pertinents, et la recherche de leur séquence combinée. Les données explicites ont alors permis le recours à l'informatique en tant qu'assistance à la conception architecturale. La constitution d'une base de données permet en effet de travailler avec une beaucoup plus grande fiabilité sur chacune de ces strates. Les récents progrès faits dans la structuration des bases de données permettent même une meilleure intégration de ces strates, dans la

mesure où le travail de conception à un moment donné, bien que fait à partir d'éléments appartenant à un certain niveau de la base de données, peut être contrôlé ou guidé par des éléments appartenant à d'autres niveaux de la base de données.

Nous avons dit que, dans le mode classique de conception-réalisation, était apparu un problème de gestion des informations lié à la complexité croissante des situations d'aménagement. Or, le nombre d'informations traitées est relativement restreint, comparé aux cas où l'on recourt à l'industrialisation de la construction. En effet, un des principes de l'industrialisation de la construction est d'utiliser des composants prédéfinis, dont les matériaux de constitution sont utilisés aux meilleures de leurs capacités. Cela permet non seulement des choix constructifs plus précis, mais aussi le feed-back où l'on vérifie la cohérence d'une décision par rapport à une décision antérieure, et surtout la cohérence par anticipation en faisant intervenir à un certain moment, les implications de décisions à prendre plus en aval dans le processus de conception. Par exemple, en étudiant l'implantation d'une structure, il faut qu'elle soit compatible non seulement avec la taille et le fonctionnement des locaux (décision antérieure), mais aussi avec les différents composants susceptibles d'être utilisés pour la façade (décision ultérieure), dont aucun n'a encore été choisi.

Par le fait que les composants sont prédéfinis d'une manière détaillée, on conçoit facilement que la masse d'information à prendre en compte soit considérablement plus importante que dans le mode classique de conception-réalisation. Il en résulte que l'emploi de systèmes industrialisés peut tirer un grand avantage du recours à des outils informatiques d'aide à la conception.

Deux voies méritent ici d'être présentées parce qu'elles sont complémentaires, qu'elles se situent à des niveaux très

différents, et qu'elles permettent de situer notre projet. La première de ces voies a abouti à BDS (Building Description System), produit par l'équipe de Charles Eastman, à Carnegie-Mellon University (Pittsburgh, E.U.), la seconde a abouti à Oxsys, produit par ARC (Applied Research of Cambridge) groupe issu de l'Université de Cambridge.

#### 4.1 BUILDING DESCRIPTION SYSTEM

La démarche d'Eastman est une approche globale, basée sur des recherches antérieures concernant l'analyse de la psychologie des concepteurs en train de résoudre un problème. A partir d'un point de vue "creative problem solving approach", il a cherché à établir une structure de résolution de problèmes, en comparant diverses procédures employées face au même problème. Un autre fondement de la démarche d'Eastman est l'affirmation que tout système complexe peut être défini par la description d'un ensemble d'éléments avec leurs positions relatives, d'où on peut tirer toutes les autres relations utiles. A partir de ces deux principes, Eastman définit BDS comme un système devant être lié à une base de données unique qui soit structurée et consistante.

Un tel système doit être utilisable pour la conception de systèmes physiques complexes (bâtiments, bateaux, mécanismes, ...), qui utilisent des dessins, des spécifications, de nombreux documents descriptifs permettant diverses analyses.

Un utilisateur doit pouvoir définir, vérifier, modifier et analyser différentes alternatives de conception et ces opérations doivent pouvoir être exécutées d'une manière naturelle et convenante.

Le système doit comprendre des extensions de haut niveau comme la description détaillée automatique, la sélection de parties, l'analyse et l'évaluation. Il doit permettre l'interaction\* et l'utilisation de gros programmes\* existants. Il peut

être intéressant de créer des interfaces<sup>\*</sup> entre la base de données<sup>\*</sup> intégrée, et des programmes extérieurs d'analyse afin de faciliter la sélection et la réformalisation de nouvelles données.

Il permet de définir, de modifier, de représenter, d'analyser un arrangement d'éléments et d'y détecter des conflits. Il doit servir à la communication, l'analyse, la coordination et la fabrication.

Par opposition aux systèmes qui fonctionnent exclusivement avec des éléments prédéfinis, Eastman a voulu un système de description général, permettant la définition et la modification de tout élément.

Cela impliquait :

- une base de données en temps réel<sup>\*</sup> permettant la description d'environ un demi-million d'éléments,
- la facilité de description et de manipulation de formes arbitrairement complexes,
- la facilité d'associer les caractéristiques aux formes,
- l'accès aux éléments par leur nom, leur caractéristique, leur localisation,
- une mise en oeuvre sur une machine modeste.

Les caractéristiques idéales pour une représentation orientées vers la conception sont :

- représentation de l'espace à 3 dimensions
- un modèle spatial unique, adéquat pour toute échelle,
- intégration des données numériques et graphiques avec une grande part de maintenance automatique.

Les entrées<sup>\*</sup> graphiques sont un objet à 3 dimensions cons-

truit à partir d'un objet à 2 dimensions.

Les sorties<sup>\*</sup> graphiques sont notamment des perspectives avec élimination des lignes cachées, le dessin des ombres et la détection des interférences.

Comme outil d'accès et de constitution de BDS, l'équipe d'Eastman a conçu GLIDE (Graphical Language for Interactive Design).

C'est un langage de haut niveau<sup>\*</sup>, destiné à rendre aussi aisées que possible les opérations sur le système.

L'unité d'information dans GLIDE est un élément, entité cohérente, telle qu'un composant constructif, un espace, une surface, etc...

Chaque élément est défini par ses attributs (forme, localisation, relations, etc...) ; il existe dans un catalogue, ou est créé par l'utilisateur. N'étant pas particulièrement orienté vers l'utilisation en conditions réelles de composants constructifs industrialisés, Building Description System est par contre d'un grand intérêt d'un point de vue informatique pour notre projet. En particulier, un grand accent a été mis sur :

- la structuration des données,
- la consistance des données,
- la description d'objets physiques.

#### 4.2 OXSYS

Le système informatique OxsyS avait dès le départ, de tout autres objectifs. Face à une pénurie importante d'équipements hospitaliers et dans le but d'y pallier par une importante augmentation de la productivité, les pouvoirs publics du

comté d'Oxford, en Grande-Bretagne, ont eu l'idée d'automatiser certaines tâches de conception normalement réalisées par des architectes.

La tâche était relativement simple, dans la mesure où le problème était très bien défini. En effet, on avait à disposition un système constructif industrialisé que l'on allait utiliser aussi souvent que nécessaire.

Ce système constructif est basé sur une grille modulaire dont la coordination a été très poussée. La position, la taille et les conditions d'assemblages des composants étaient donc bien définis, ce qui a grandement facilité la description informatique du système constructif.

Le but du système informatique est de gérer la conception des bâtiments réalisés par le système constructif Oxford, depuis l'esquisse jusqu'aux plans de réalisation.

Ces informations se répartissent en deux parties : CODEX et PROJECT FILE.

CODEX contient les informations sur les composants disponibles. Il se divise lui-même en MASTER CODEX, qui contient l'ensemble des composants du système Oxford et leurs caractéristiques ; et en PROJECT CODEX, qui contient la partie des informations de MASTER CODEX, dont on a besoin dans un projet particulier, plus d'autres informations qui ne sont pas dans le MASTER, par exemple des composants spéciaux.

PROJECT FILE définit la localisation des composants du projet que l'on est en train de concevoir. Ils sont repérés par le code de CODEX et ordonnés hiérarchiquement en fonction d'un part des locaux du projet et d'autre part de leur fonction (structure, façade, plancher, ...)

Le système comporte des programmes de dessin, de listage, d'évaluation, dont les données sont définies dans une source commune, qui est l'image du bâtiment à un moment donné. C'est donc un système intégré qui peut fournir à tout moment des renseignements de tout ordre. Son fonctionnement est régi par un système d'exploitation (OXSYS-0)<sup>\*</sup>, dont les caractéristiques sont les suivantes :

- il gère l'espace-mémoire en y transférant les programmes et données nécessaires à un moment donné ;
- il repère les données dans CODEX et PROJECT FILE ;
- il gère le langage de commande : prise en compte de ce que l'utilisateur frappe sur la console et sorties graphiques ;
- il fournit les fonctions géométriques pour manipuler les composants en tenant compte de leur adjacence.

Le placement d'un composant peut se faire de trois manières :

- directement par l'utilisateur ;
- automatiquement, lorsqu'une configuration typifiée de composants doit être complétée par une série de composants semblables ;
- dans le cas de la structure où aucun composant n'est prédéfini, le système définit les poutres nécessaires et leur placement, à partir de la position des piliers et de la direction de la portée des planchers.

Depuis cette première version, le système a été développé en fonction de l'objectif de le rendre moins dépendant d'une part du système constructif Oxford, et d'autre part, du matériel informatique.

On a donc défini trois niveaux complémentaires mais indépendants, dans le système :

- DDS (Detail Design System), qui contient ce qui est propre à un système constructif donné ;
- BDS (Basic Design System), qui comprend les tâches typiques de conception architecturale comme la description d'un bâtiment et d'un composant, dessin, listage ;
- BOS (Basic Operating System), qui contient le système d'exploitation et qui est fonction du matériel informatique.

#### 4.3 LA CAO FACE A L'INDUSTRIALISATION OUVERTE

Le système Oxford est un système constructif industrialisé fermé. Les développements récents réalisés par les auteurs d'Oxsys tendent à étendre les avantages de leur système à d'autres systèmes constructifs industrialisés fermés. Le succès d'Oxsys montre l'intérêt de la CAO dans l'utilisation de systèmes constructifs industrialisés fermés, du double point de vue de la fiabilité et de l'économie (réduction du temps d'études et de réalisation du bâtiment).

Ce succès est lié à une bonne gestion des informations, dont procède la conception d'un bâtiment, rendue possible par le recours à des outils de traitement de l'information.

Dès le moment où l'on conçoit une amélioration des prestations attendues d'un bâtiment par une augmentation de la diversité des composants auxquels on a recours pour le réaliser, autrement-dit, dès le moment où l'on se place dans une perspective d'ouverture de l'industrialisation de la construction, le nombre des informations à gérer croît d'une manière phénoménale.

Le but de notre projet est de montrer que des outils d'aide à la conception en économie ouverte, sont possibles, malgré l'augmentation de la difficulté.



5. BUT DE SIGMA-INDUSTRIALISATION OUVERTE.

Le sous-système "SIGMA-Industrialisation Ouverte" est un outil d'aide à la conception architecturale, qui fait partie d'un ensemble plus vaste d'outils du même genre : SIGMA (Système Interactif\* Graphique pour Méthodes d'Aide à la conception).

Son but est d'aider l'utilisateur, en l'occurrence un architecte concevant un bâtiment, à choisir la manière dont on va réaliser ce bâtiment en utilisant des composants constructifs industrialisés, produits par différents fabricants.

Il est plus particulièrement orienté vers la conception de logements collectifs, à cause de la part importante que représente ce type de bâtiments dans le secteur de la construction.

Deux caractéristiques dans la définition du projet sont fondamentales :

- le recours à des composants constructifs industrialisés,
- l'origine diverse de ces composants.

Voilà plus d'un siècle que l'on parle d'industrialisation de la construction, mais elle s'est relativement peu développée. Ce phénomène est lié à des causes économiques : importance des investissements nécessaires ; des causes structurelles, qui sont à la fois causes et conséquences des premières : rôle de soupape de l'économie du bâtiment comme secteur à capital fixe relativement faible ; des causes particulières qui tiennent à la spécificité du logement : cf. chap. 3.

De plus, l'industrialisation du bâtiment, en tant que rationalisation d'une production conçue à grande échelle, se trouve actuellement un peu en porte-à-faux par rapport à la

conjoncture de l'emploi (chômage) et de récession économique (ralentissement de la croissance, restauration de constructions existantes). Néanmoins, la part importante que représente le bâtiment dans l'activité économique et la nécessité, notamment au niveau de l'habitat social, de répondre au manque actuel et aux nouveaux besoins issus de la croissance démographique et du vieillissement du patrimoine édilitaire, nous permet de penser que l'industrialisation du bâtiment reste prioritaire, à moyen terme et au-delà tout au moins.

Il résulte en particulier des causes économiques que le secteur de la construction est caractérisé par une atomisation des entreprises et des pôles de décision. C'est notamment pour cette raison que, dans la mesure où l'industrialisation de la construction s'est développée, ce fut d'une manière très localisée, dans le cadre d'une entreprise ou d'un groupe restreint d'entreprises. Les conséquences en sont un appauvrissement fonctionnel et formel des produits architecturaux, correspondant à une baisse de qualité et qui, dans l'habitat social, se manifeste par une variété restreinte de types d'appartements et une monotonie des bâtiments.

D'où l'importance d'envisager l'industrialisation de la construction comme production diversifiée de composants répondant à l'ensemble des fonctions d'un bâtiment.

Elaborer un système informatique d'aide à la conception architecturale par composants industrialisés ouverts signifie avant toute chose un système informatique extensible.

Nous avons vu qu'on pouvait caractériser un système industrialisé ouvert par une grande diversité de composants constructifs fournis par des constructeurs différents.

Mais, dans une définition plus nuancée, nous pouvons dire que l'élément fondamental de l'industrialisation ouverte est

qu'elle implique une évolution, une dynamique.

L'avantage de l'industrialisation ouverte serait fortement réduit si l'on définissait à un moment donné un système ouvert, c'est-à-dire diversifié et d'origine diverse, par un nombre fini de composants. On serait tôt ou tard confronté aux limites inhérentes aux caractéristiques des composants du système constructif, et il faudrait bientôt concevoir un nouveau système constructif ouvert, séparé et peut-être même incompatible avec le premier. On se retrouverait alors dans une situation de coexistence de plusieurs systèmes constructifs, situation voisine de celle qui existe avec les systèmes fermés. Même si, par des questions de différence d'échelle, on n'assistait pas à la prolifération que l'on a vue avec les systèmes fermés, on se retrouverait face à des incompatibilités de composants, face à l'obstacle que l'on veut justement dépasser.

Il est sans doute téméraire d'imaginer dans le futur un seul système constructif ouvert intégrant tous les composants du bâtiment, il est même peu réaliste d'intégrer exhaustivement tous les composants existants à un moment donné, à la fois à cause du nombre de composants et des aménagements de détail que la plupart doivent subir pour être vraiment compatibles, à supposer qu'une règle modulaire commune ait été admise. On pourrait imaginer une option dirigiste qui, à l'aide d'un outil normatif très précis et très développé, impose l'ouverture de l'industrialisation. C'est vraisemblablement plus efficace et plus dans l'esprit de l'ouverture de partir dans l'autre sens, en considérant l'ouverture comme un processus évolutif qui, à partir d'un nombre restreint de composants, croît par adaptation à d'autres composants et par adjonction de nouveaux composants (cf chap. 3).

Ce caractère évolutif qui s'exprime par l'extensibilité du système constructif, à laquelle répond l'extensibilité du

Le système informatique est l'idée maîtresse du présent projet. C'est pourquoi nous nous sommes surtout attachés à définir des manières de faire, à modéliser des tâches, des données, des résultats. Cela signifie essentiellement les quatre parties que nous décrivons maintenant, que nous allons reprendre pour deux d'entre elles dans un chapitre suivant :

- choix des composants
- modélisation architecturale
- le système informatique
- le langage de description.

### 5.1 LE CHOIX DES COMPOSANTS

Comme nous l'avons dit ci-dessus, il était inutile de prétendre réunir dès le départ un lot exhaustif de composants constructifs. Mais il était stérile d'en rester à la manipulation de concepts et il était impératif de converger vers la réalité des composants comme objets physiques. Il fallait définir un lot significatif de composants qui constitue le noyau de base du système ouvert et qui nous permette de concrétiser et de vérifier la modélisation des informations dans les phases suivantes : modélisation architecturale, système informatique, langage de description.

Dans ce but, nous avons entrepris une recherche de systèmes constructifs convenants, par une investigation bibliographique.

Les systèmes constructifs peuvent être classés par catégories types, en fonction d'un principe qui détermine la fonction et la forme des principaux composants. Ces catégories sont les suivantes :

- systèmes de panneaux lourds
- systèmes de panneaux légers
- systèmes d'ossature lourds
- systèmes d'ossature légers

- systèmes alvéolaires lourds
- systèmes alvéolaires légers.

Dans notre recherche de systèmes pouvant alimenter la base de données de "SIGMA-Industrialisation Ouverte", nos critères de choix ont été les suivants :

- tout système doit s'appliquer au logement ou au moins pouvoir s'appliquer,
- tout système doit permettre de réaliser au moins trois étages, minimum déterminé par l'ambiance urbaine de "SIGMA-Logement",
- tout système doit permettre une souplesse formelle, exigence déterminée par la forme des bâtiments et des logements produits par "SIGMA-Logement",
- tout système doit être facilement ouvrable : cela implique d'avoir plutôt de petits composants fonctionnellement et matériellement très différenciés ; en conséquence, nous avons surtout choisi des systèmes d'ossature et (avec circonspection), quelques systèmes de panneaux ; et nous avons exclu les systèmes alvéolaires.

Parmi une soixantaine de systèmes répertoriés par Testa et Schmid (Constructions Modulaires, éd. Artémis Zurich), nous en avons choisi 28 qui remplissaient les critères ci-dessus. Nous avons essayé d'en contacter chaque fabricant pour obtenir de la documentation. Nous les présentons dans l'annexe 1 sous forme de tableau de caractéristiques principales.

L'appel à la documentation n'a reçu que peu de réponses. De surcroît, aucune de ces réponses n'était vraiment satisfaisante : d'une part, parce que les documents reçus étaient trop orientés vers le commercial, avec illustrations vantant les avantages du système, et très peu d'informations techniques ;

mais d'autre part, et surtout, ces documents furent une éclatante démonstration du peu de réalité pratique actuelle du concept d'industrialisation ouverte, sous réserve que le répertoire de Testa et Schmid n'ait pas trop vieilli ; cela ne fait que renforcer la nécessité d'une concertation entre concepteurs, concepteurs de systèmes et fabricants, et en particulier, corollaire à cette concertation et à l'intégration des produits dans un ensemble plus vaste, l'intérêt du développement d'outils d'aide à la conception par composants ouverts comme "SIGMA-Industrialisation Ouverte".

Aussi, partant toujours de notre première recherche documentaire où l'on avait découvert le système IGONDA, avons-nous développé un système dont l'ossature s'inspire largement d'IGONDA et dont nous avons défini les sous-systèmes : dallage, cloisons, façades. Dans le chapitre VI, nous présentons les composants. Pour la question des équipements, nous avons choisi un principe de batterie intégrée d'équipements.

Restent les sous-systèmes "escaliers-ascenseurs" et "faux-plafonds".

Le premier est une famille de composants un peu à part, dans la mesure où son intégration au système est plus simple et moins contrainte ; nous l'avons donc, pour l'instant du moins, tenu à l'écart. Le second est un sous-système dont l'existence n'est pas nécessaire et même rare dans le logement, vu le peu de fluides qu'on y trouve (comparé à un bâtiment administratif ou de laboratoires) et qui de plus, représente un surcoût important.

## 5.2 LA MODELISATION ARCHITECTURALE

Un produit architectural est décrit par des plans, auxquels peuvent être jointes des listes de spécifications. C'est donc un ensemble d'informations. Décrire le processus de con-

ception de ce produit architectural revient à décrire la constitution de cet ensemble d'informations, comment il se constitue, s'enrichit, évolue jusqu'à la description finale.

Toutes les informations que celle-ci contient n'interviennent évidemment pas en même temps : elles sont hiérarchisées et échelonnées dans le temps. Nous appelons modélisation architecturale le choix et la description des paliers marquant l'évolution de cet ensemble d'informations et des actes qui engendrent cette évolution.

### 5.3 LE SYSTEME INFORMATIQUE

C'est l'organisation informatique du flux d'informations décrit ci-dessus. Il comprend les informations propres au problème que le concepteur est en train de résoudre (base de données du projet) ; les informations générales, en l'occurrence la description du système constructif industrialisé ouvert (base de données structurées) ; le système d'exploitation qui gère le transfert d'informations entre les deux bases de données, et les messages de et à l'utilisateur.

### 5.4 LE LANGAGE DE DESCRIPTION

C'est l'élément de transmission des données au système informatique. Lorsque, par ce que nous appelons modélisation architecturale, chaque type de données a été formalisé, il s'agit de transformer ce premier formalisme en un formalisme transmissible à la machine. Cette partie se trouve finalement intégrée au chapitre VII.

### 5.5 REAJUSTEMENT DU PROGRAMME DE DEC. 1976

Au début du projet, nous avons fait un programme de travail en 12 phases.

#### Phase 1

Etude de la manière d'utiliser le système informatique :

il s'agit de définir sous quelle forme (par exemple schéma de plan) l'utilisateur va organiser ses données pour répondre à son problème qui est : comment construire.

### Phase 2

Recherche de nouveaux composants : il s'agit d'enrichir constamment le système constructif de base en l'"ouvrant" sur des composants existants sur le marché.

### Phase 3

Étude de la manière de décrire le bâtiment : il s'agit de définir les différentes descriptions qui serviront de support à la modélisation du bâtiment en fonction, d'une part des dimensions de l'espace (une dimension : la projection d'une façade ; deux dimensions : un plan ; trois dimensions : plusieurs étages pris ensemble), d'autre part, des échelles auxquelles l'utilisateur va travailler.

### Phase 4

Définition des composants : il s'agit de définir l'ensemble des caractéristiques significatives d'un constituant et d'organiser celles-ci en fonction des échelles où elles interviennent.

### Phase 5

Définition des niveaux de la base de données : il s'agit de définir la manière de structurer la base de données afin qu'elle puisse contenir les composants.

### Phase 6

Définition de la syntaxe : il s'agit de définir la manière de décrire une organisation spatiale constituée par des composants constructifs (\*).

### Phase 7

Syntaxe des sous-systèmes : il s'agit de constituer la syntaxe de chaque sous-système à chaque échelle de travail.

### Phase 8

Syntaxe des interconnexions de sous-systèmes : il s'agit de constituer la syntaxe qui fasse la synthèse du système constructif en mettant en relation la syntaxe de chaque sous-système.

### Phase 9

Définition du langage de description : il s'agit de définir la manière de remplir la base de données par les composants et leurs caractéristiques propres d'une part, par les caractéristiques de relation exprimées sous la forme des diverses syntaxes d'autre part.

### Phase 10

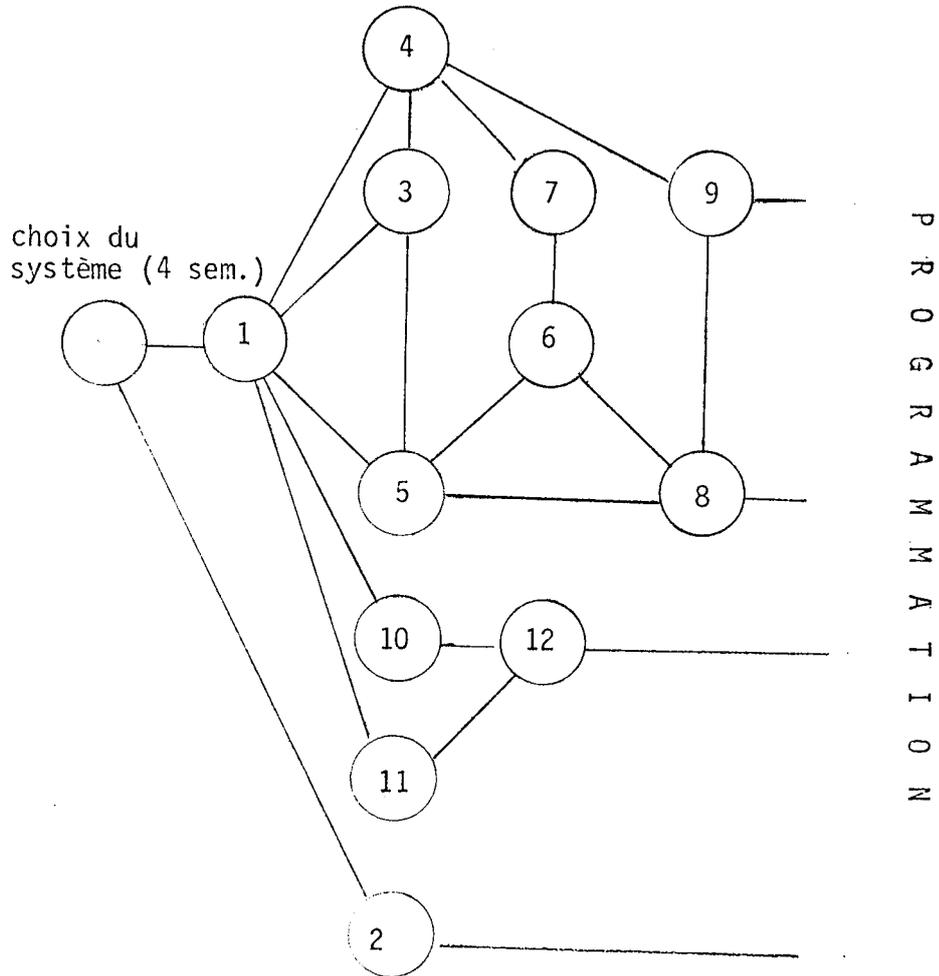
Typologie des opérations : il s'agit de définir les opérations auxquelles l'utilisateur a constamment recours durant le travail de conception et qui s'exprimeront sous la forme de fonctions de contrôle.

### Phase 11

Définition des opérations-type : il s'agit de définir les opérations élémentaires à partir desquelles par composition l'utilisateur définit des opérations propres à un cas particulier.

### Phase 12

Définition du langage d'exploitation : il s'agit de définir le mode d'accès aux composants de la base de données et aux opérations-type, et la manière de se donner des opérations propres à un problème particulier.



Ce programme correspondait aux idées que nous avons du problème à ce moment là. Cette partition ne se retrouve pas sous la même forme dans le présent rapport, qui porte sur la définition d'un prototype.

La nouvelle partition s'explique par les raisons suivantes :

- fin 1976, il s'agissait de définir et d'ordonnancer des tâches de recherche, alors que maintenant nous replaçons le projet dans le contexte du secteur de la construction pour que sa compréhension soit plus générale ;

- nous avons sous-estimé la nécessité de bien définir les données et résultats architecturaux en nous axant surtout sur le traitement des données constructives ; les éléments

liés à ces dernières restent, mais ils se trouvent doublés et liés à ce qu'il a fallu définir en plus concernant les données et résultats architecturaux.

- l'examen de certaines de ces données a nécessité parfois une redéfinition de leur nature et une modification de la classification prévue.



## 6.1 INTRODUCTION

Le processus de conception architecturale peut être formalisé en une succession de phases qui marquent le passage d'une échelle petite à une échelle toujours plus grande. Néanmoins, il n'est pas rigoureusement linéaire dans la mesure où une contrainte qui conditionne une décision intervenant à une grande échelle peut avoir des implications sur des décisions prises ou à prendre à des échelles plus petites. Ceci est particulièrement vrai dans la conception de bâtiments réalisés à l'aide de composants industrialisés : ceux-ci ont été conçus et en particulier dimensionnés en fonction des bâtiments dans lesquels ils allaient servir, et dès le moment où ils existent, ils déterminent la modulation des bâtiments à concevoir. Ainsi, le système "SIGMA-Industrialisation Ouverte", qui est une aide à la conception dans les phases aval du processus, a-t-il partiellement influencé, à travers la dimension des composants répertoriés, la modulation précise des appartements sur lesquels il s'applique.

Le système ne se limite pas à la conception de bâtiments de logement, mais la question du logement et de son industrialisation étant à notre avis prioritaire, les composants du prototype ont été choisis en fonction de leur utilisation dans la réalisation de bâtiments de logement.

Le système "SIGMA-Industrialisation Ouverte" fonctionne avec deux classes de données :

- les données architecturales (ou spatio-fonctionnelles), ou ce à partir de quoi on va travailler,
- les données constructives, ou ce avec quoi on va travailler.

Dans le développement du prototype, les premières sont représentées par des plans schématiques d'appartements. Ceux-ci peuvent être des résultats du système "SIGMA-Logement",

autre projet de recherche développé à l'IMAG pour l'aide à la conception d'appartements, de groupements d'appartements et de plans-masses de groupements de logement. A cause de la complémentarité et de la coordination de fait qui a existé entre les 2 projets, nous commencerons par présenter le principe de "SIGMA-Logement" et surtout les résultats qu'on en utilise. La deuxième classe de données est le répertoire de composants constructifs dans lequel le concepteur puise pour habiller l'appartement sur lequel il travaille.

## 6.2 LES DONNEES FONCTIONNELLES

Le système "SIGMA-Logement" est un système informatique d'aide à la conception architecturale qui recouvre l'ensemble des tâches de conception spatio-fonctionnelles d'ensembles de logement.

Il comprend les 4 outils suivants :

- définition des appartements,
- formalisation des appartements,
- assemblage des appartements générant des tranches de bâtiments,
- assemblage des tranches de bâtiment générant des plans-masses.

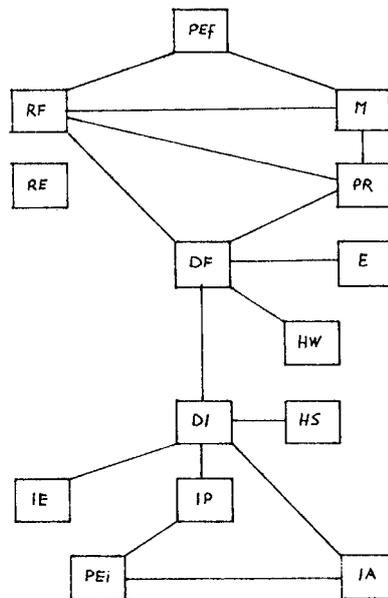
### 6.2.1 Outil 1

Il permet la définition des exigences requises de chaque appartement, à travers une série de questions sur laquelle peut intervenir un éventuel utilisateur.

Ces exigences sont exprimées d'une part en termes d'activités, d'autre part en termes de conditions d'ambiance nécessaires à chacune des activités. Lorsque deux activités sont compatibles en fonction de leurs conditions d'ambiance, elles définissent un "espace fonctionnel".

Deux espaces fonctionnels sont donc, par définition, incompatibles et séparés d'une certaine manière, qui dépend du type de relation qu'ils ont entre eux et de l'intensité de cette relation.

Le résultat prend la forme d'un graphe<sup>\*</sup> dont les sommets représentent des espaces fonctionnels et dont les branches caractérisent les relations entre ces espaces fonctionnels. Dès le moment où ces relations sont définies, on connaît aussi ce qu'elles empêchent ou celles qui n'existent pas, et par conséquent, le type de séparation entre ces espaces fonctionnels. On a donc défini notamment et partiellement la nature et les caractéristiques des composants constructifs de séparation.



On constate dans l'exemple, qu'entre IP (Isolement-Parents), et IE (Isolement-Enfants) d'une part, entre IE et IA (Isolement-Adolescents) d'autre part, on n'a aucune relation, en particulier aucune relation-phonique, ou une bonne isola-

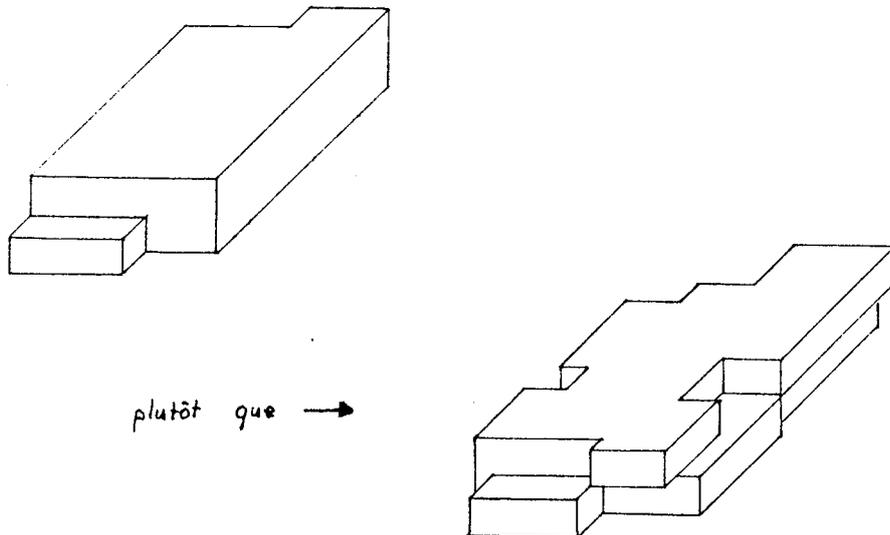
tion phonique. Si ces espaces fonctionnels sont contigus, il faut prendre une mesure constructive, comme nous allons le montrer dans le plan.

L'utilisateur de "SIGMA-Industrialisation Ouverte" travaille à partir du schéma de plan, mais il doit pouvoir se référer à ce graphe pour pouvoir guider ou préciser ses choix constructifs.

### 6.2.2 Outil 2

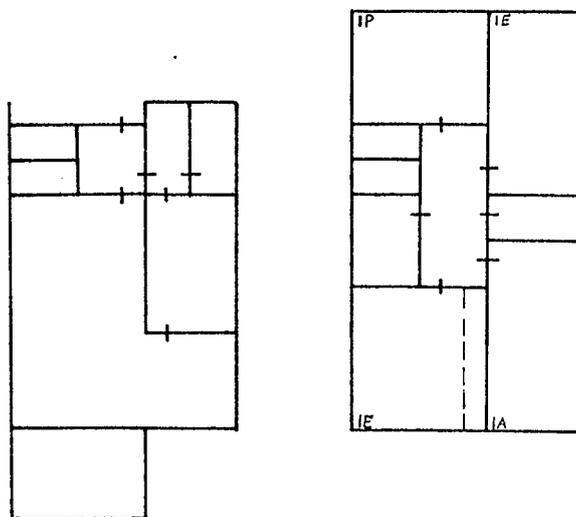
Les relations entre espaces fonctionnels et les surfaces qu'ils requièrent, déterminent leur position relative et la forme générale de l'appartement.

Dans la perspective de la réalisation par composants industrialisés, il s'agit de modulariser les dimensions des espaces fonctionnels. Cette coordination dimensionnelle assure une homogénéisation de la forme, au sens où on obtient une forme constituée par la réunion d'un nombre relativement restreint ( $< 10$ ) de parallélépipèdes rectangle de volume relativement grand (plusieurs  $m^3$ ) plutôt qu'un agglomérat de petits parallélépipèdes rectangles.



L'application des contraintes dimensionnelles fixées par les trames des systèmes constructifs disponibles fait de cette forme générale homogénéisée une forme précise, mais non détaillée, qui fournit un schéma de plan d'appartement.

Le schéma de plan est la définition dimensionnelle du contenu d'un étage d'une tranche de bâtiment. L'utilisateur de "SIGMA-Industrialisation Ouverte" va spécifier la position des éléments de structure et la nature des séparations, c'est-à-dire les façades et cloisons.



Par exemple, la séparation entre IE et IP d'une part, IE et IA d'autre part, doit assurer une certaine isolation phonique, ce qui peut être résolu soit par une cloison simple (entre IP et IE), soit par une cloison-placard (entre IE et IA), dont on connaît pour chacune le coefficient d'isolation phonique.

### 6.2.3 Outil 3

C'est un allocateur spatial<sup>\*</sup> fonctionnant à 3 dimensions,

qui doit assembler sur plusieurs étages les parallélépipèdes représentant les appartements. Il produit un répertoire de tranches de bâtiment.

La tranche de bâtiment est l'unité constructive avec laquelle travaille l'utilisateur de "SIGMA-Industrialisation Ouverte", c'est-à-dire l'entité qui, du point de vue statique, de résistance des matériaux et éventuellement de la dilatation, doit être autonome.

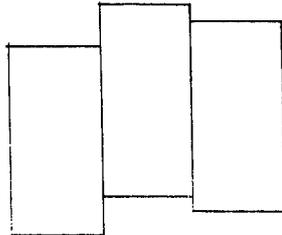
Momentanément, il travaille sur le plan d'un appartement ou d'un étage (il peut y avoir plusieurs appartements ou parties d'appartements sur le même étage), mais il se réfère à l'ensemble qu'est la tranche de bâtiment. Chaque appartement est localisé par rapport à cet ensemble et conditionné par son environnement dans cet ensemble : position des façades et des circulations d'accès aux appartements, contenu des étages supérieur et inférieur.

L'utilisateur doit donc avoir en mémoire les décisions contraignantes qu'il a prises aux étages précédents. "En mémoire" signifie ici, sans plus de précision, soit dans sa propre mémoire, soit dans la mémoire du système informatique. Par exemple, nous verrons qu'il est souhaitable, lorsque l'on choisit la structure de l'étage x, de laisser apparaître sur l'écran cathodique\*, par des repères ou sous forme de filigrane, la structure choisie pour l'étage x-1.

#### 6.2.4 Outil 4

C'est un allocateur spatial qui génère la ou les configurations de plan-masse remplissant une liste d'exigences définies au préalable (densité, proximité, contiguïté, ensoleillement, morphologie, variété, etc...), à l'exclusion du très grand nombre de manières théoriques possibles de disposer des bâtiments de logement sur un site.

Les conditions du plan-masse se situent d'une manière générale trop en amont dans le processus de conception pour qu'elles aient des implications constructives. Néanmoins, dans la conception d'une tranche de bâtiment, la contiguïté de cette tranche avec une ou deux autres tranches, déterminent la nature des murs parallèles à l'axe des refends, qui peuvent être soit en pignon, soit mitoyens.



L'utilisateur doit donc connaître l'environnement de la tranche dont il étudie la conception constructive.

### 6.3 LES DONNEES CONSTRUCTIVES

Un composant est à la fois un objet physique et un élément d'un ensemble. Il doit donc être défini d'une part comme objet en 3 dimensions, et ayant certaines qualités, ce que nous appelons ses caractéristiques propres (CP), d'autre part par rapport aux autres éléments de l'ensemble, ce que nous appelons ses caractéristiques de relation (CR). Il doit également être défini dans l'espace, ce que nous examinons dans les rubriques "Repères" et "Images".

Son caractère atomique fait qu'on ne dépasse pas un certain niveau de détail dans sa définition. Ainsi, on ne parlera bien évidemment pas de la structure de la matière des matériaux, domaine du physicien, ni même de la constitution par parties du composant telles que pièces, vis, charnières, domaine du fabricant du composant. On se limite à ce qui intéresse l'architecte lorsqu'il conçoit la réalisation d'un bâtiment, en vérifiant parfois des problèmes de montage des composants entre eux.

La conception architecturale se fait par passages d'échelles petites à des échelles de plus en plus grandes, par

augmentation et précision des informations traitées. A chaque échelle, l'architecte synthétise l'information qu'il traite sous la forme d'un modèle graphique. Le passage d'une échelle à une autre plus grande, implique une nouvelle modélisation fournissant un modèle plus précis et plus proche de la réalité. Dans la phase particulière de conception qu'est la conception de la réalisation, nous avons isolé les trois échelles, correspondant à des niveaux de travail, suivantes :

- le niveau d'avant projet
- le niveau de projet
- le niveau de finition et vérification.

### 6.3.1 Les caractéristiques propres

Ce sont des informations descriptives qui définissent le composant en tant qu'objet physique isolé. Elles comprennent deux types de données : les caractéristiques géométriques d'une part, l'ensemble des autres caractéristiques propres d'autre part. Cette partition peut paraître arbitraire ; compte-tenu de l'importance que représente la définition dimensionnelle des éléments de construction en tant qu'objets concrets définis en trois dimensions et de l'importance qu'a pris le dessin en tant que modélisation privilégiée dans la conception architecturale, il est bien évidemment nécessaire de mettre à part les caractéristiques géométriques.

Tout composant est un polyèdre quelconque. Il doit donc être défini par ses sommets et par ses arêtes. Ses sommets sont définis par rapport à un repère orthornomé, dont l'unité correspond à une échelle déterminée et peut s'exprimer en valeur modulaire, en centimètres, en millimètres.

Ses arêtes sont définies par ses faces. Chaque sommet étant numéroté, une face est donc considérée comme une ligne polygonale définie par une série de sommets donnés par leur numéro.

Les autres caractéristiques propres définissent la fonction, la nature et le contexte de production du composant. Elles servent soit de critères de choix, soit de critères de vérification pour un composant pressenti ou momentanément choisi.

Nous pouvons en dresser la liste non exhaustive suivante :

- fonction
- matériau
- nombre d'étages
- résistance mécanique (ou charge admissible)
- coût approximatif (ou au mètre carré)
- coefficient d'isolation thermique
- coefficient d'isolation phonique
- coefficient d'absorption acoustique
- coefficient de dilatation
- coût de fabrication
- coût de transport
- coût de financement
- coût du montage
- coût de la finition (fournitures)
- coût précis fini
- tenue au feu
- déformation mécanique
- traitement
- vieillissement
- pente
- couleur finie
- délai de livraison
- fabricant
- etc...

L'ordre de cette liste est approximativement celui représentant le rôle d'intervention courant des critères. Il

n'a pas d'influence sur la faculté d'accès à un composant par chacune de ses caractéristiques comme doit le permettre la base de données des composants. De plus, ces critères ne sont pas tous pertinents pour chaque composant : par exemple, que signifierait le coefficient d'absorption acoustique d'une poutre ?

### 6.3.2 Les caractéristiques de relation

Ce sont des informations qui indiquent quel composant peut être assemblé à un composant donné et comment il peut l'être. Ce composant peut évidemment être lui-même : par exemple, une façade peut être réalisée par une succession de panneaux semblables. Par assemblage, nous n'entendons pas simplement et extensivement les zones de contact entre composants adjacents, mais les points de contact qui sont structurellement nécessaires, les liaisons entre composants, ou géométriquement nécessaires, définissant la position relative de deux composants qui se touchent.

Un bâtiment est en principe une enveloppe fermée ; cela signifie que tout composant de l'enveloppe ou y participant aura une partie extérieure et une autre intérieure ; la limite de ces deux parties est une surface continue non plane qui constitue la zone de contact de ce composant avec d'autres composants. Nous avons défini les composants comme étant des parallélépipèdes composés. La zone de contact entre deux composants est donc une portion de plan qui se définit par 3 points.

L'assemblage d'un composant avec un autre s'exprime donc par la translation d'une portion de face du premier composant, qui est une zone de contact définie par 3 points, sur une portion de face du 2ème composant, définie elle aussi par 3 points correspondants.

Dans la pratique, on a une orientation conventionnelle qui a été reprise dans la base de données, où les composants sont définis par rapport à un plan horizontal ou suivant leur orientation dans le bâtiment. Les 3 points de la zone de contact peuvent donc être remplacés par un seul de ces points et une rotation autour d'un axe vertical.

Ainsi, les caractéristiques de relation, qui représentent des assemblages possibles, sont-elles de la forme :

le point j du composant y va sur le point i du composant x après que y ait subi une rotation de x degrés.

Dans notre prototype, comme nous travaillons pour l'instant avec une géométrie rectangulaire, x est un multiple de 90 degrés.

### 6.3.3 La syntaxe

Au début de notre recherche, nous avons appelé "syntaxe" une formalisation exprimant l'assemblage de deux ou plusieurs composants. Il est apparu ensuite que les conditions d'assemblage d'un composant devraient être attachées à ce composant directement ; il est en effet limitatif, tant du point de vue constructif que du point de vue informatique, donc contraire à notre souci d'ouverture, de figer un composant dans quelques combinaisons typifiées.

Nous avons alors élargi le concept de syntaxe à des conditions liées à chaque composant et utilisé le terme de "caractéristiques de relation". Il en est résulté un risque d'ambiguïté que nous levons maintenant. La syntaxe apparaît donc comme un cas particulier de caractéristiques de relation.

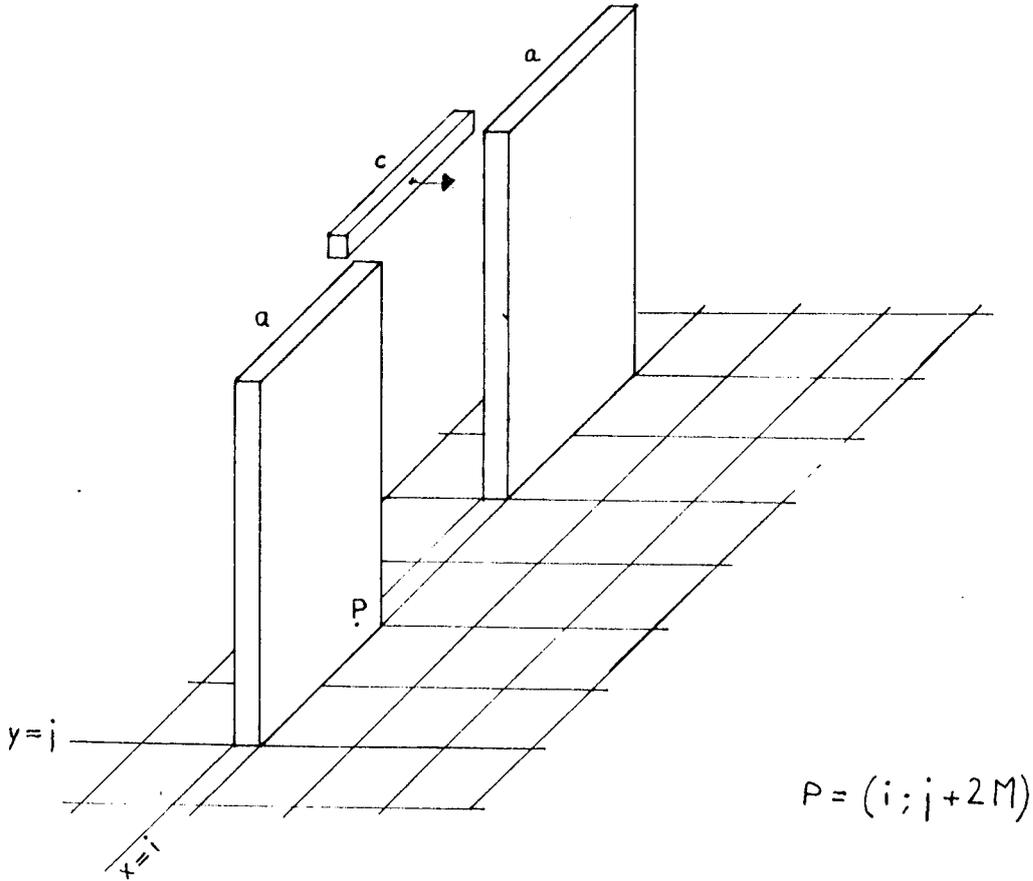
La syntaxe est la spécification d'une alternative d'assemblage parmi celles qui sont possibles entre deux ou plusieurs composants. Elle exprime donc un assemblage de

composants par une série de noms et de points. La série de noms est composée du nom de chaque composant. La série de points est composée du nom de chaque point de liaison. La syntaxe se compose de règles syntaxiques qui ont soit une fonction de contrôle, soit une fonction de remplissage automatique.

Une règle syntaxique est une règle conditionnelle de la forme : si on a un composant x en un point, et un composant y en un autre point défini par rapport au premier, alors il y a le composant z en un point également défini par rapport au premier point.

En conséquence de ce que nous avons dit plus haut, et compte-tenu des fonctions de la syntaxe et du nombre réduit de composants du prototype, nous n'avons pas développé systématiquement la syntaxe du prototype. Nous nous bornerons donc à un exemple illustrant le principe :

si on a un composant "a" en  $(x=i ; y=j)$   
et un composant "a" en  $(x=i ; y=j+4M)$  } alors on a un composant "c" en  
 $(x=i ; y=j+2M)$



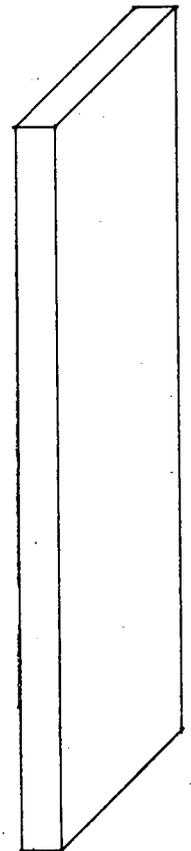
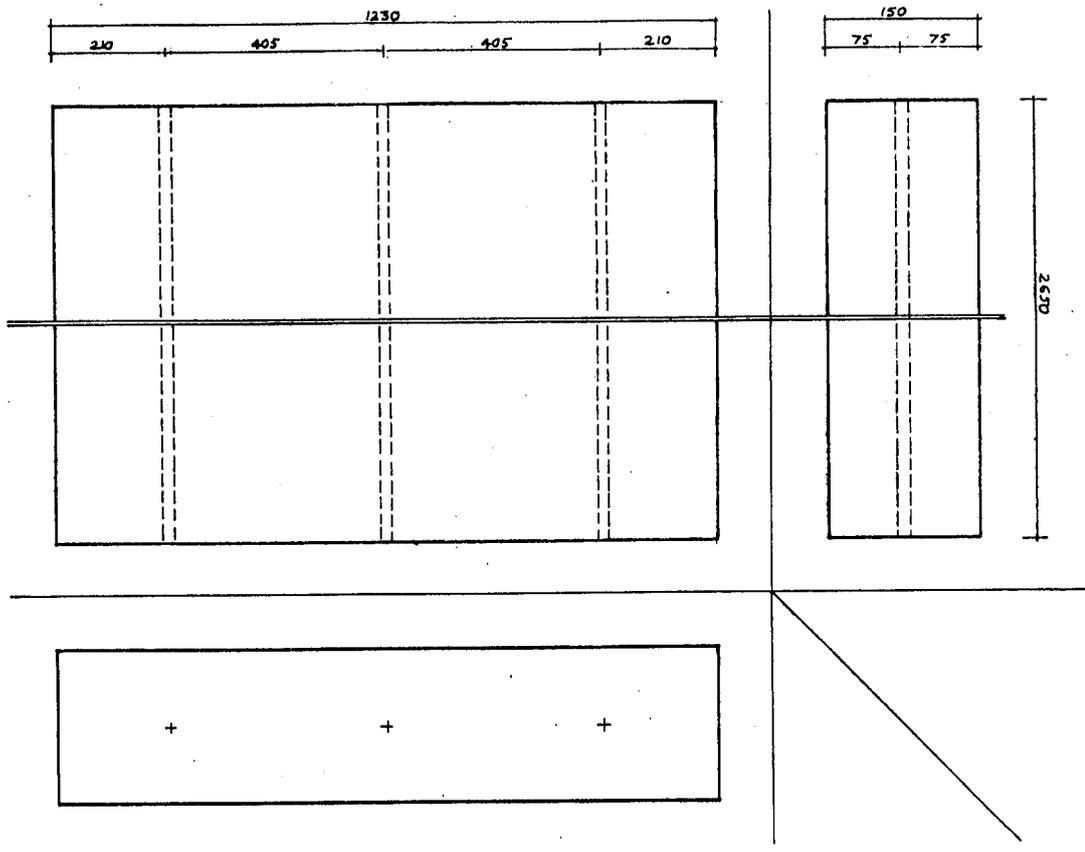
#### 6.3.4 Les composants

Dans les pages qui suivent, nous présentons les composants du prototype tels que nous les avons définis.

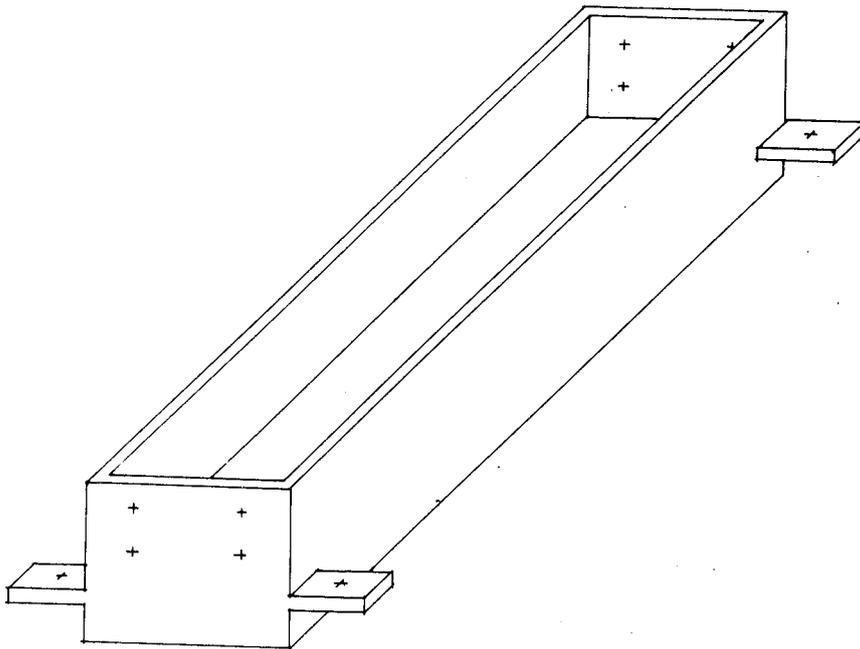
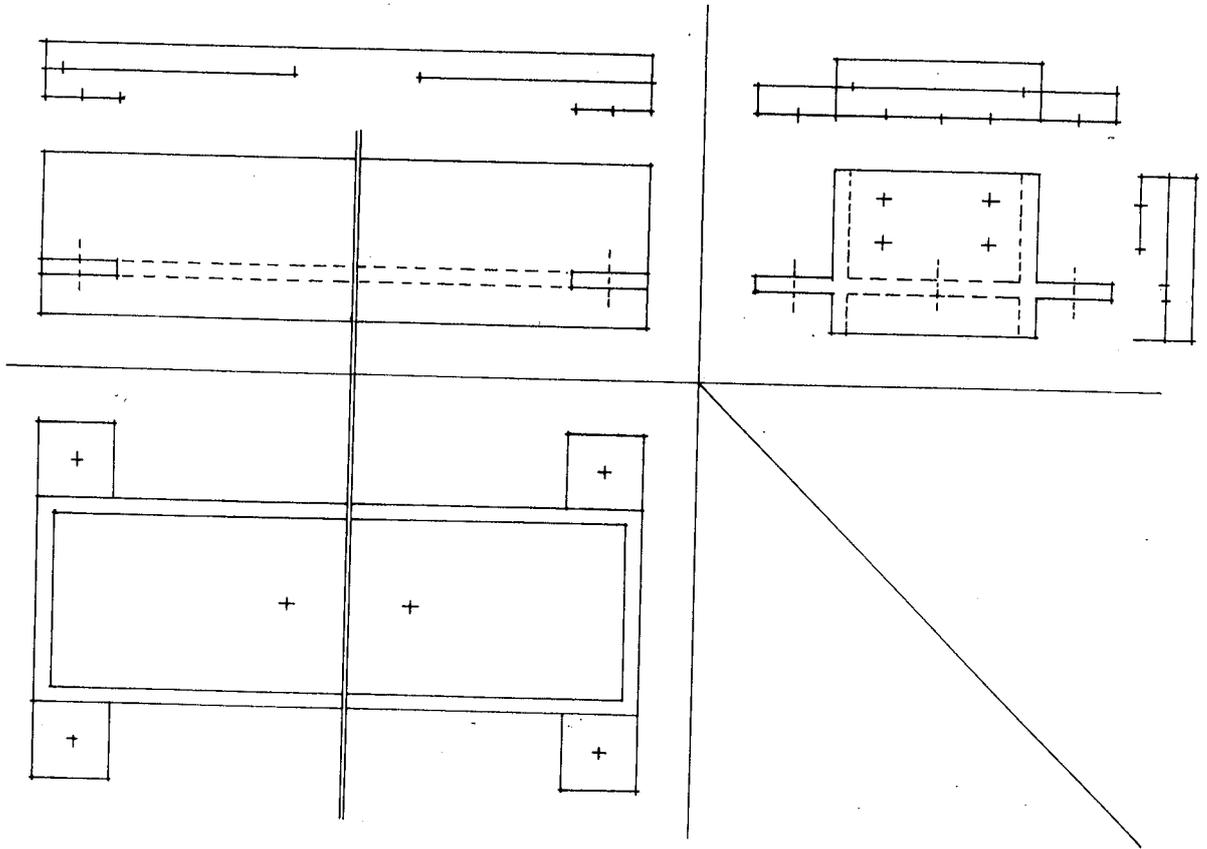
Dans cette définition, le sous-système ossature est composé d'un refend a, d'un élément d'assemblage b, de deux parties secondaires c et d, de deux parties primaires e et f.

Le sous-système façade est composé d'un panneau porte-fenêtre a, d'un panneau fenêtre b, d'un panneau imposte c, d'un panneau plein d, des montants e, f, g et h. Le sous-système cloison (panneau placoplâtre et panneau porte) n'appor-

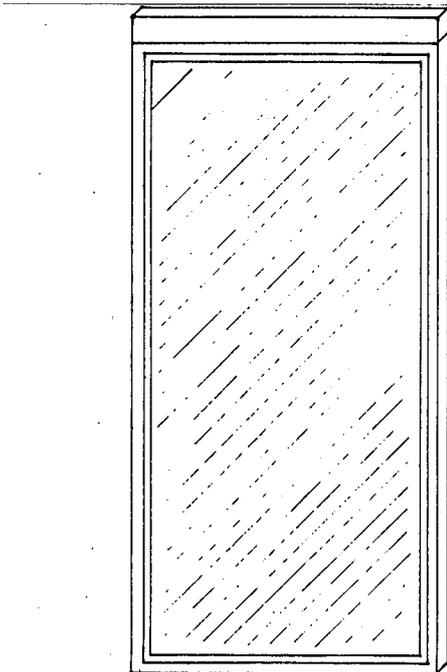
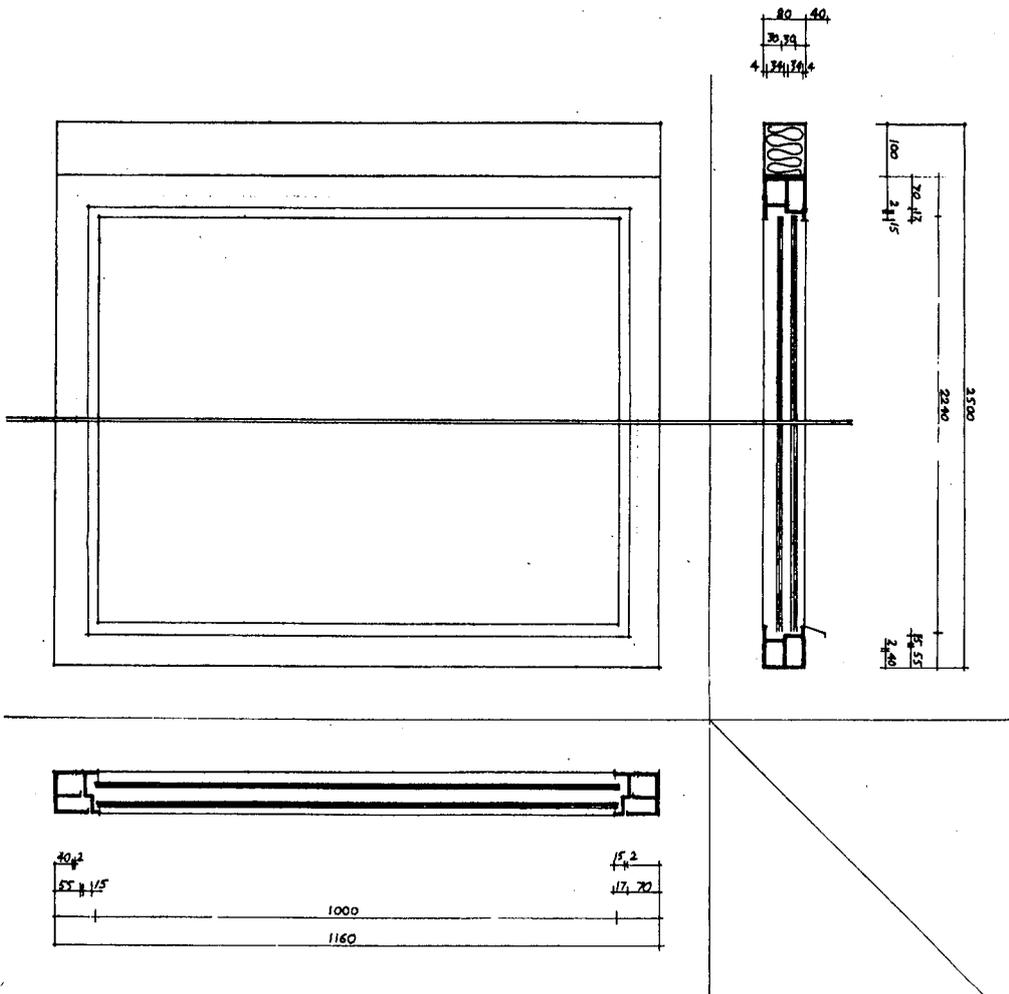
tant rien à notre principe de description à cause de la simplicité des composants, est laissé de côté, de même que les autres sous-systèmes, pour les raisons que nous donnons au chapitre 5.



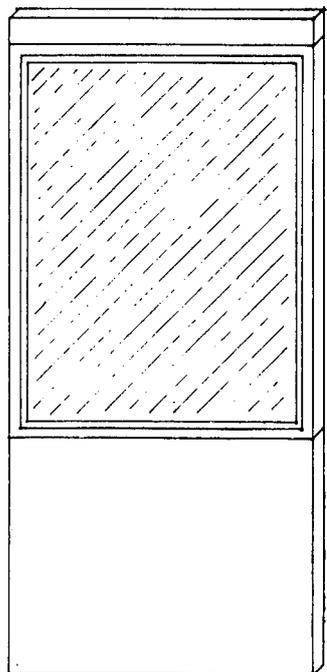
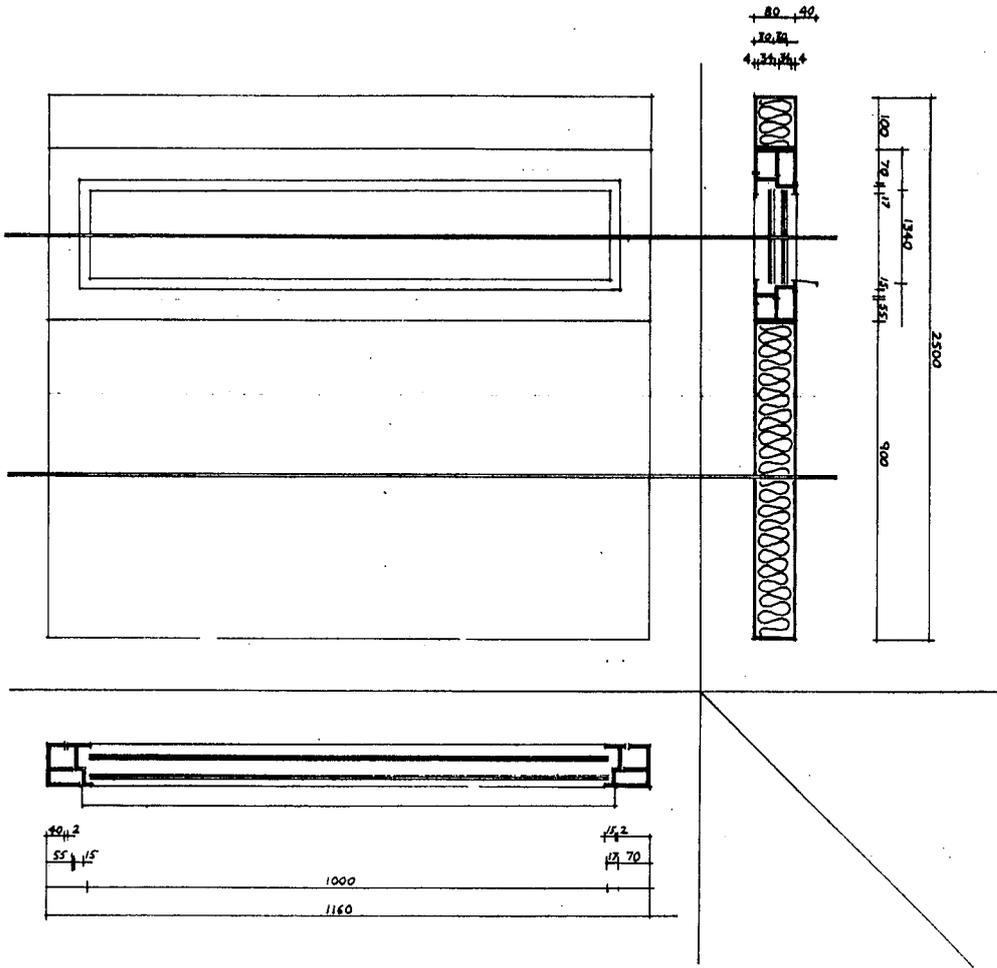
Sous-syst. ossature  
 référend a  
 éch. 1:20 et 1:40



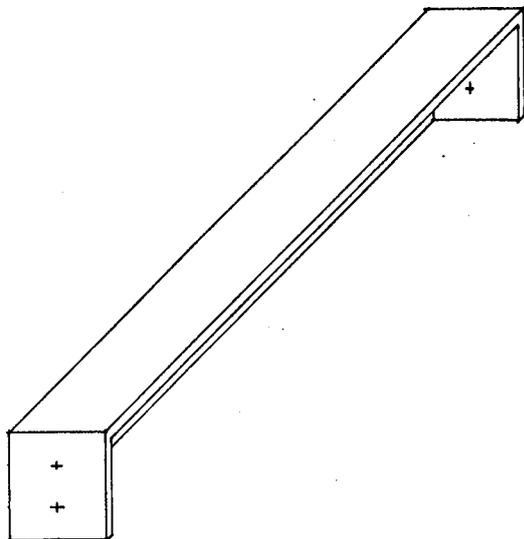
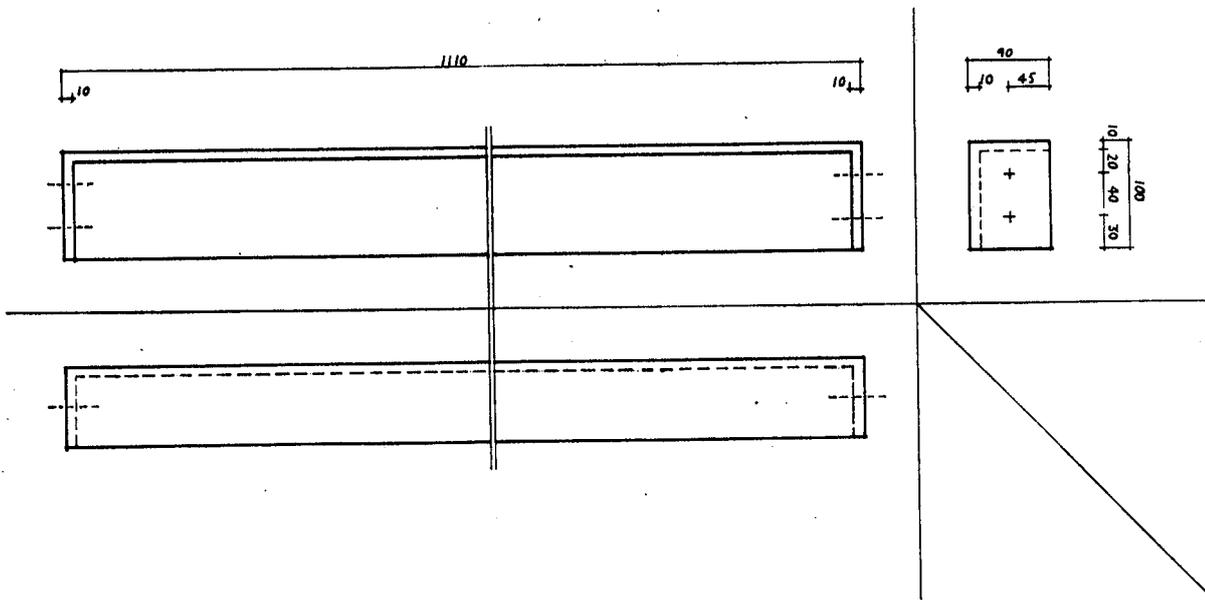
Sous-syst. ossature  
assemblage b  
éch.1:10



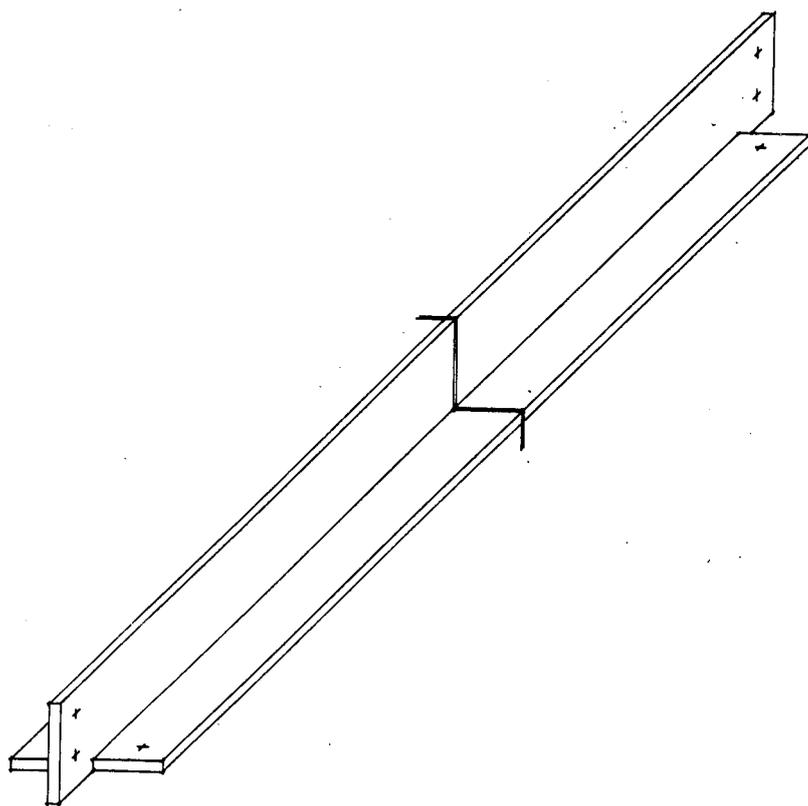
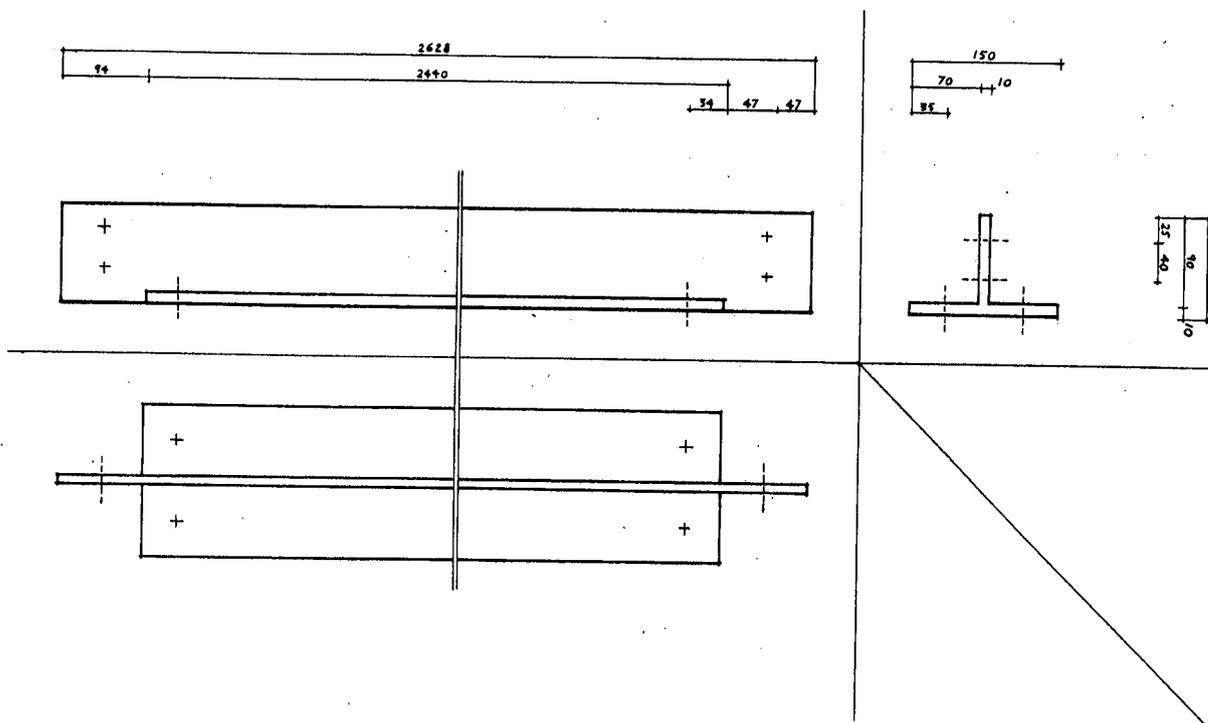
Sous-syst. façade  
panneau porte-fen, a  
éch. 1:20 et 1:40



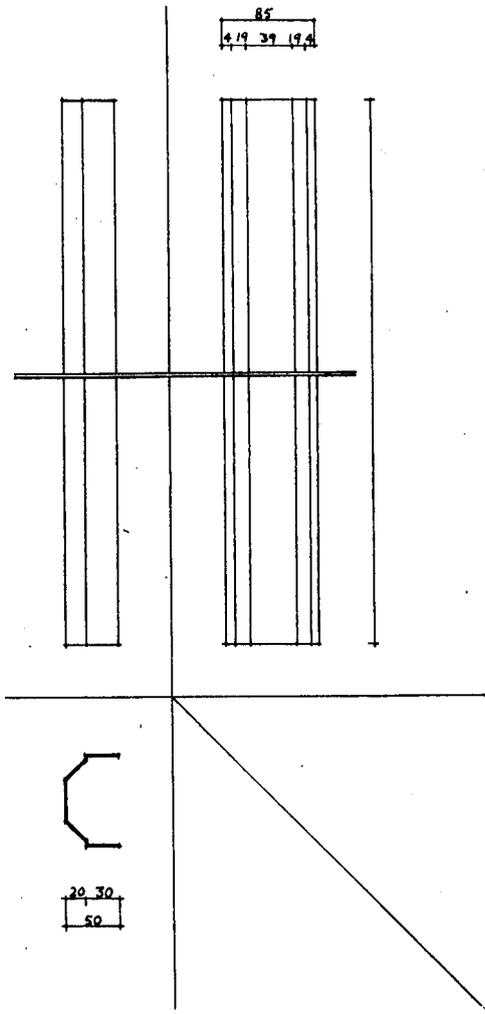
Sous-syst. façade  
panneau fenêtre b  
éch. 1:20 et 1:40



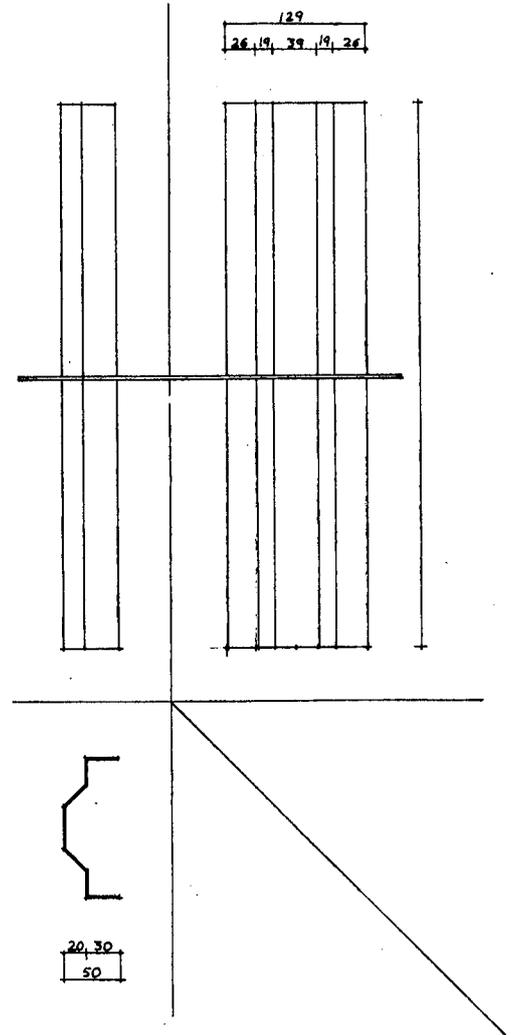
Sous-syst. ossature  
 poutre sec. c  
 éch. 1:10



Sous-syst. ossature  
 poutre prim. e  
 éch. 1:10

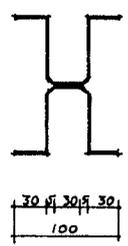
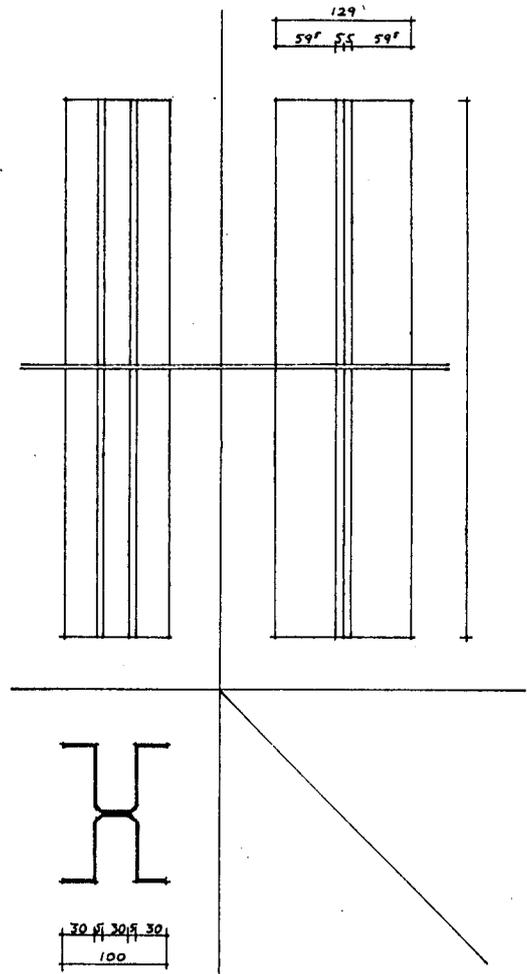
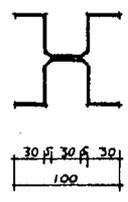
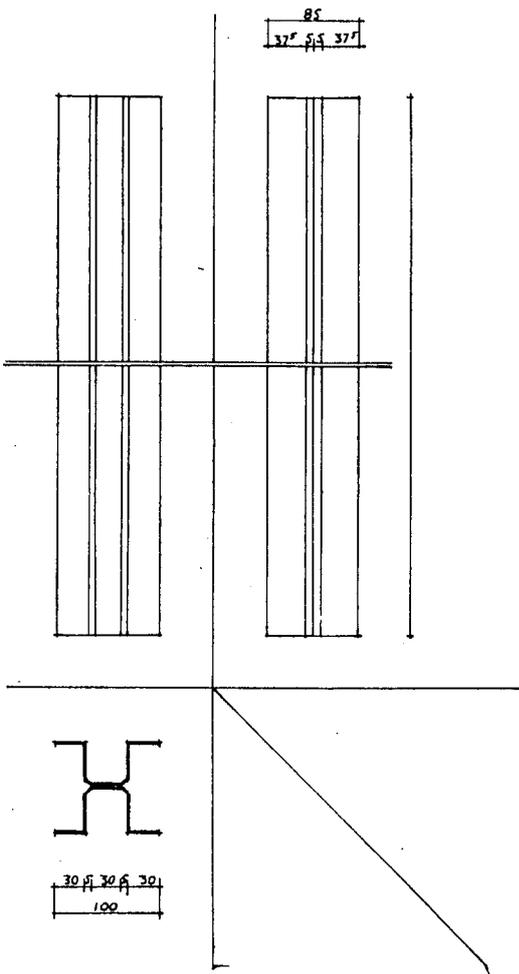


Sous-syst. façade  
montant e  
éch. 1:10 et 1:40



Sous-syst. façade  
montant f  
éch. 1:10 et 1:40





Sous-syst. façade  
montant g  
éch. 1:40 et 1:10



Sous-syst. façade  
montant h  
éch. 1:10 et 1:40

Puis nous donnons, pour le premier sous-système, une représentation montrant comment se succèdent les informations définissant chaque composant (niveau de description, caractéristiques propres, caractéristiques relationnelles), comment elles se structurent par mise en commun des caractéristiques propres communes et des caractéristiques relationnelles réciproques. Cette représentation est une "image extérieure" de l'information contenue dans la Base de Données Structurées.

Rendons-la plus digeste en expliquant chaque palier par un exemple.

1. L'organisation des informations dans la Base de Données Structurée est un réseau arborescent qui contient en son sommet les informations les plus générales concernant l'ensemble des composants, puis des informations de plus en plus particulières attachées à des groupes de composants de plus en plus restreints, jusqu'à être réduits à chaque composant. L'information liée à chaque composant est elle-même organisée par succession des trois niveaux de description, chaque niveau comprenant des caractéristiques propres, des caractéristiques géométriques, en particulier une représentation graphique et des caractéristiques relationnelles ;

2. Caractéristiques propres du composant d'ossature a au premier niveau de description ;

3. Représentation graphique ;

4. Coordonnées des deux points définissant a au premier niveau en nombre de modules ;

5. Les poutres c et d ont la même représentation, seule différant la longueur, donc les coordonnées du second point ;

6. Les points 1 et 2 du composant a vont respectivement sur les points 5 et 6 du composant b, dans un assemblage.
7. Les points 1 ou 2 du composant e vont sur les points 1, 2, 3 ou 4 du composant b (suivant les cas d'assemblage) après rotation de  $90^{\circ}$  ou  $270^{\circ}$  ; le composant f et le composant b peuvent s'assembler de la même manière ;
8. Après les caractéristiques relationnelles, doivent prendre place les règles syntaxiques, spécification des premières ;
9. Début du 2ème niveau de description ;
10. Représentation graphique ;
11. Coordonnées en centimètres des sommets du composant au 2ème niveau de description ;
12. Début du 3ème niveau de description ;
13. Coordonnées en millimètres des sommets du composant au 3ème niveau de description ; la représentation graphique est celle que nous donnons dans les pages précédentes, où chaque composant est représenté par ses projections sur les 3 plans de l'espace ;
14. Description des faces du composant ;

Les chiffres ci-dessus se rapportent au schéma de BDS.



## 6.4 LES NIVEAUX

### 6.4.1 Niveau d'avant-projet ou niveau 1

Il correspond à une échelle de travail de 1:200 ; le bâtiment n'est pas encore précisément défini dimensionnellement et il s'agit de vérifier qu'il est réalisable avec les composants à disposition.

Les composants sont définis en nombre de modules ; la grille modulaire qui est superposée au schéma de plan affiché sur la console graphique, permet d'évaluer la taille des composants dont on a besoin à chaque endroit du schéma de plan.

Les composants sont fortement modélisés d'un point de vue géométrique et graphique : on ne tient compte que d'une de leurs trois dimensions, éventuellement deux pour un composant plan. Par exemple, une poutre est considérée comme un segment de droite donné en nombre de modules, une dalle est considérée comme un quadrilatère rectangle.

### 6.4.2 Niveau de projet ou niveau 2

Il correspond à une échelle de travail de 1:100 - 1:50 ; c'est la phase de mise au point dimensionnelle de l'ébauche du bâtiment. Son résultat est des documents finis qui servent d'une part pour les tâches ultérieures, d'autre part comme documents administratifs permettant de demander des autorisations de construire ou comme documents informatifs et publicitaires.

Les composants sont définis dans 3 dimensions à une échelle centimétrique ; on néglige les accessoires d'assemblage et les tolérances.

### 6.4.3 Niveau de détail ou niveau 3

Il correspond à une échelle de travail de 1:50 - 1:10 ;

c'est la phase de finition du plan et de vérification des assemblages. Son résultat est des documents de contrôle et comptables (descriptifs, devis détaillés), et graphiques permettant de conduire la réalisation de bâtiment (plans d'exécution).

Les composants sont donnés en millimètres. C'est à ce niveau que sont fixés les détails d'équipements : tuyauterie, conduits électriques, etc...

Remarque :

Lorsque nous parlons ici d'échelle, cela correspond aux modélisations couramment employées par les architectes, avec la précision et le type d'informations qui leur sont liées ; cela peut ne pas correspondre tout à fait à l'échelle des figures telles qu'elles apparaissent sur la console graphique.

#### 6.5 LA MANIERE DE TRAVAILLER

Suivant le niveau de détail attendu des résultats, la connaissance qu'a l'utilisateur du contenu de la Base de Données Structurée et l'expérience qu'il a du système "SIGMA-Industrialisation Ouverte", il doit choisir un scénario d'utilisation.

Pour l'utilisateur, le système informatique correspond à un ensemble de tâches possibles. Chaque tâche est définie en fonction du type de sous-système constructif, du niveau de représentation et de l'étage auxquels il travaille.

Chaque tâche n'est pas obligatoire. La souplesse du système est de permettre à l'utilisateur de choisir son itinéraire parmi ces tâches, avec des restrictions de priorité, les tâches liées à l'ossature étant par exemple prioritaires, et de restrictions logiques : on ne passe jamais à un niveau de représentation plus petit que celui qu'on a déjà atteint, sauf à remettre en question, par un profond "feed-back", le

travail de conception déjà réalisé et à entreprendre donc un nouveau processus.

De plus, compte-tenu de la hiérarchie des sous-systèmes constructifs, il y a des passages ou des ordres obligés.

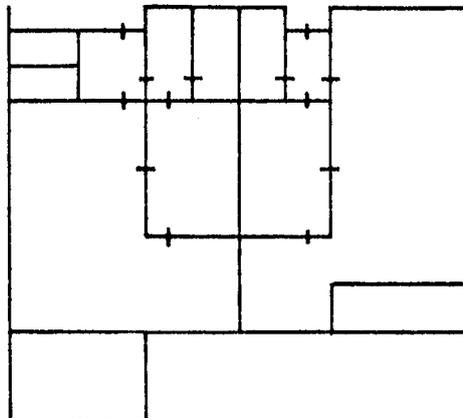
Nous allons décrire des utilisations courantes que nous appellerons phases à cause de leur caractère typique.

### 6.5.1 Phase 1

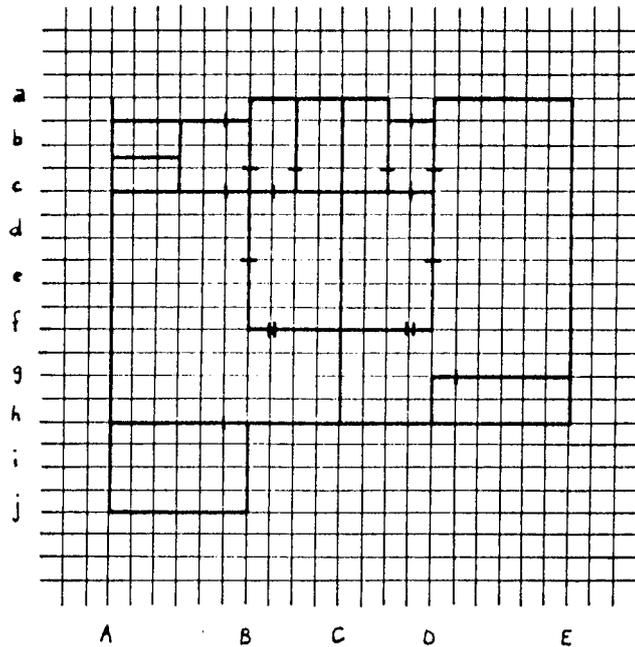
La phase 1 a pour but de vérifier, qu'étant donnée une tranche de bâtiment, il existe un système porteur (ossature + dalle) et de fluides qui réponde aux critères économiques et/ou techniques définis par le programme architectural.

Dans un plan constructif, les éléments les plus contraignants sont les descentes de charges et de fluides. La partition des espaces étant fonctionnellement définie, on va bien évidemment placer ces descentes dans une séparation d'espace (éventuellement dans le voisinage immédiat).

Compte-tenu de la gravitation, ces éléments contraignants le seront d'autant plus que l'on sera bas. L'utilisateur va donc commencer à travailler sur l'étage inférieur. Il commande alors l'affichage sur le terminal graphique du plan schématique de cet étage de la tranche de bâtiment.



Il fait apparaître par superposition sur ce plan une grille modulaire de 0,60 m., grille qui va lui servir de repère dimensionnel pour choisir les composants dont il a besoin. Les espaces du plan sont eux-mêmes modulés à 0,60 m.



Il s'agit de placer les points porteurs sur certaines intersections du schéma de plan et de la grille. Pour l'instant, avec les composants définis pour le prototype, les poutres primaires sont parallèles aux façades. A tout point porteur, il faut en associer un autre situé sur une même ligne parallèle aux façades ; ces deux points porteront la même poutre primaire.

L'exemple ci-dessus montre qu'il y a 5 axes possibles sur lesquels placer les porteurs : A, B, C, D, E.

Si l'on exclut la portée AE peu vraisemblable économi-

quement à cause de sa taille, on peut placer les porteurs soit sur ABCDE, soit sur ABDE, soit sur ACDE, soit sur ABCE, soit sur ACE.

Cela donne respectivement les portées suivantes :

AB - BC - CD - DE

AB - BD - DE

AC - CD - DE

AB - BC - CE

AC - CE

D'une manière simple, plus il y a de porteurs, plus le coût des porteurs et le surcoût dû aux assemblages augmentent, mais plus le coût des poutres diminue, car il est proportionnel au carré de leur portée.

S'il n'y a pas de critères plus restrictifs, l'utilisateur va choisir, parmi ces portées possibles, la moins chère en consultant par exemple le prix au  $m^2$  de la poutre ou de l'ossature pilier + poutre.

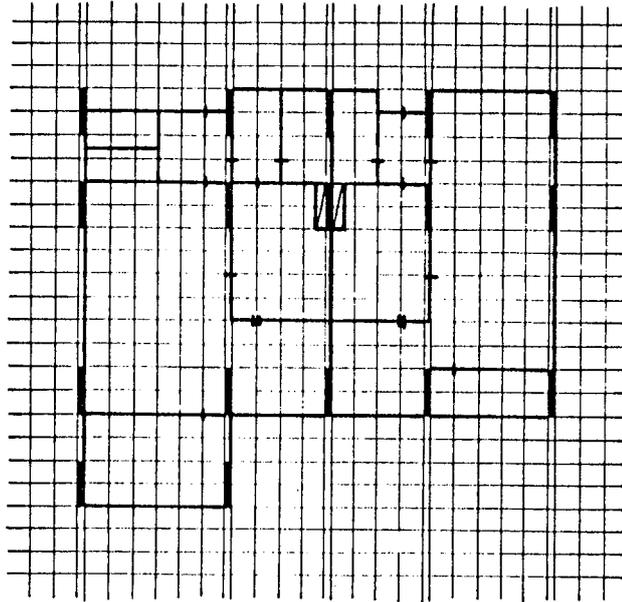
Admettons que cela soit AB - BC - CD - DE.

Il a donc choisi les axes sur lesquels il va placer des porteurs verticaux. Il lui faut maintenant choisir leur nombre et leur position. Leur nombre va déterminer la portée des dalles. Il y a un problème d'optimisation de la portée des dalles, proche de celui des poutres primaires.

Admettons qu'il choisisse ab - bc - cd - dg - gh - hi - ij.

Il va donc placer des porteurs à chaque intersection des axes A, B, C, D, E avec les axes a, c, g, i (Ci, Di, Ei n'existent pas puisqu'ils sont hors du plan) et, autour d'un ou

plusieurs de ces porteurs, placer les gaines (descente de fluides), dont la position est choisie en fonction de la position des points d'eau définie dans le système de plan (cuisine, salle de bains, WC).

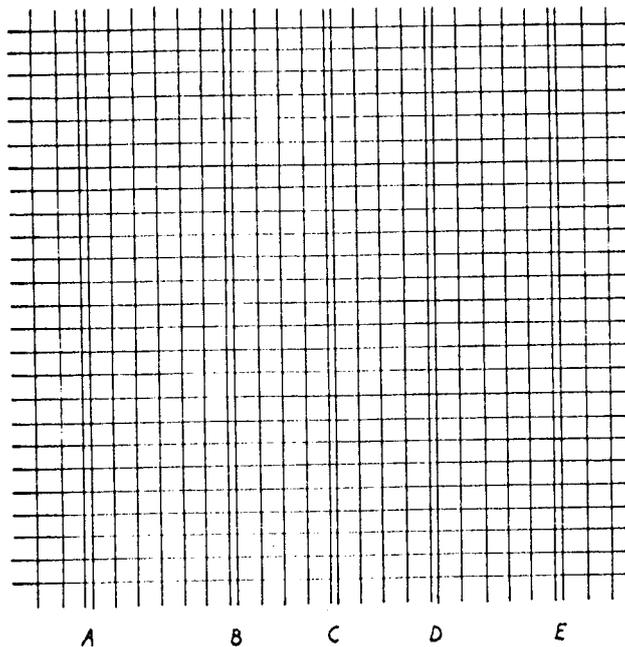


Puis il va successivement appliquer par superposition ce schéma de structure sur le schéma de plan de chaque étage suivant, en commandant sur l'écran vide l'affichage de ce schéma de plan et de ce schéma de structure. Si sur le plan d'un étage, le schéma de la structure et/ou le schéma de gaines ne sont pas compatibles avec le fonctionnement du plan (obturation d'une porte par exemple), il va redescendre au premier étage et choisir une autre implantation structurelle que ABCDE - acgi, puis remonter en faisant la vérification à chaque étage. Lorsqu'il obtient une solution satisfaisante, il commande le stockage des résultats dans la Base de Données du Projet.

Cette phase est une utilisation du système travaillant

avec le premier niveau de description. Si l'utilisateur connaît bien le contenu de BDS, et le type de problème qu'il est en train de résoudre, il peut sauter cette phase. Si cette phase est réalisée, elle est toujours un préalable à la phase 2, car à ce niveau de développement du projet architectural, on ne reste pas à une impasse structurelle, mais on trouve toujours une structure. On passe donc forcément à la phase 2 pour faire une ébauche complète de l'habillage du bâtiment (ossature, enveloppe, cloisons, équipements), pour fournir des éléments de décisions aussi complets que possible permettant de décider de la continuation du travail.

La trame de l'ossature définie dans le prototype comporte une maille de structure. Dès que celle-ci est choisie, il y a donc dédoublement des axes de la trame, qui ont été choisis comme support à la structure ; dans notre exemple, il s'agit des axes A, B, C, D, E.



### 6.5.2 Phase 2

La phase 2 se situe sur le 2ème niveau de description. L'utilisateur commande l'affichage du schéma de plan du premier étage de la tranche de bâtiment, et de la trame dédoublée. S'il a au préalable réalisé la phase 1, les porteurs et les gaines apparaissent sur le schéma de plan. Sinon, il les choisit et les place comme dans la phase précédente.

Puis il place les dalles entre les poutres primaires. Leur choix est surtout fonction de leur portée, de leur charge, de leurs caractéristiques thermiques et phoniques déterminées par les activités prévues au-dessus et au-dessous d'elles.

Puis il place les panneaux de façade et de cloisons suivant des critères qui peuvent être spécifiés par le programme architectural ou les conditions d'ambiance liées au schéma de plan.

Par exemple, le climat et l'orientation vont déterminer un coefficient d'isolation thermique pour les panneaux de façade ; de même, entre deux pièces appartenant au même appartement, il place des panneaux de cloison dont le coefficient d'isolation phonique est de 50 dB, alors qu'entre deux pièces appartenant à deux appartements différents, il peut mettre une variante du même panneau, dont le coefficient d'isolation phonique est de 60 ou 70 dB.

Lorsque le premier étage est terminé, il sauvegarde le résultat dans BDP et affiche le schéma de plan du 2ème étage, sur lequel se superposent la grille modulaire et le schéma de porteurs et gaines. Il exécute alors le même travail d'habillage déjà réalisé sur le 1er étage, et ainsi de suite, sur l'ensemble de la tranche de bâtiment.

Si au préalable, il n'a pas réalisé la phase 1, il se

pourrait qu'à un étage supérieur, on ait besoin d'une gaine n'existant pas dans les étages inférieurs déjà résolus. Il s'agit alors d'aller rechercher ces étages dans BDP et de faire la modification, qui ne pose en principe pas de problèmes puisque toute gaine s'adosse à un porteur vertical et que les porteurs verticaux sont déjà placés et continus jusqu'au sol.

### 6.5.3 Phase 3

Elle correspond au 3ème niveau de description. Il s'agit de spécifier certains éléments (électricité, chauffage, ventilation, joints), afin de pouvoir produire des plans détaillés destinés au montage et en tirer des coûts précis de la tranche de bâtiment.

Le travail se fait ici aussi étage par étage, ou portion d'étage par portion d'étage, si on ne peut afficher à une échelle suffisamment grande le plan de tout un étage sur la console graphique. L'ordre de la prise en compte des étages est quelconque.

## 6.6 LES REPERES

Nous avons vu qu'un composant était un objet physique décrit par ses sommets et ses faces. Il faut de surcroît qu'il soit situé dans un espace. D'où la nécessité de définir des repères, suivant l'état d'un composant. Un composant peut exister dans trois états :

- comme atome répertorié dans BDS ;
- comme partie d'un groupement typique de composants dans la syntaxe ;
- comme partie d'un groupement particulier de composants dans BDP.

### 6.6.1 Le repère dans BDS

Dans BDS, chaque composant est défini en fonction de son propre repère, de telle sorte que toutes les coordonnées soient positives. L'origine du repère peut être un des sommets du composant, éventuellement un point extérieur, si c'est le seul moyen de définir le composant dans le quadrant positif du repère. Pour des questions de commodité, le composant est défini dans son repère dans la direction qu'il prend communément dans la réalité.

### 6.6.2 Le repère dans la syntaxe

Dans la syntaxe, chaque groupement de composants est défini par rapport à son propre repère, qui est le repère du premier composant du groupement. Chaque autre composant peut donc être défini par rapport au repère du premier composant. Là aussi, on essaie de tout définir dans le quadrant positif.

### 6.6.3 Le repère dans BDP

Dans BDP, chaque composant doit être défini par rapport à l'ensemble de la tranche de bâtiment, donc par rapport à un repère propre à cette tranche.

Habiller une tranche de bâtiment signifie transférer l'image d'un composant de BDS dans BDP. Lorsque l'on place un composant en un point d'un schéma de plan, ce point est défini par rapport au schéma et le schéma par rapport à la tranche. Il faut donc que la définition du composant par rapport à son propre repère se transforme automatiquement en définition par rapport au repère de la tranche de bâtiment.

## 6.7 IMAGES ET RESULTATS

Dans les 3 états que nous venons de décrire, la définition des composants reste interne au système informatique et n'a que peu d'utilité en elle-même pour l'utilisateur.

Pour travailler, il faut une définition extérieure au système qui fournisse une image du composant ou du groupe de composants. Que l'on travaille sur la console graphique (★) ou que l'on fasse fonctionner la table traçante (★), il faut définir la vue d'un composant ou d'un groupe de composants dont on a besoin.

Il s'agit donc de spécifier pour chaque tâche sur BDP la position et la direction d'un observateur par rapport au repère de BDP. Chaque image est une projection sur un espace à deux dimensions qui est :

- un plan horizontal pour un plan ;
- un plan vertical pour une coupe, une élévation ou une vue axonométrique ;
- un plan vertical complété d'un point de fuite pour une vue perspective.

Nous n'allons pas citer comme résultats les multiples situations intermédiaires de l'objet-conçu, qui ont un usage interne au groupe de concepteurs, mais exclusivement les documents suffisamment aboutis par rapport à tel ou tel état d'avancement du travail pour être compris par des personnes extérieures au groupe de concepteurs. Il y a deux types de documents :

- les résultats graphiques fournis par la table tracante ;
- les résultats alphanumériques fournis par l'imprimante.

Les premiers comprennent les plans, les coupes, les élévations et les visualisations (axonométrie ou perspective). Les seconds comprennent :

- les devis estimatifs qui établissent au terme de la première phase et surtout de la seconde, des prévisions de coût en fonction de l'inventaire des composants déjà utilisés et éventuellement en fonction d'extrapolations statistiques du coût des finitions sur la

base de réalisations antérieures.

Dans la construction, les prévisions financières sont difficiles parce qu'il n'y a pas d'unification des modes de calcul ; un système informatique d'aide à la conception est notamment un support de gestion de données économiques : il ne contribue pas à les produire, mais si elles existent, il contribue à les exploiter. Par exemple supposons qu'on ait, dans des opérations de construction précédentes, utilisé un système de chauffage qui est fonction du type de panneau de façade choisi. On a donc des données sur le coût du chauffage, de son installation et peut-être de son exploitation.

Si dans une opération actuelle, on choisit le même panneau de façade, on pourra connaître certaines implications financières de décisions non encore prises concernant le chauffage.

- les devis descriptifs, qui établissent le coût détaillé des travaux de montage, la nature et le coût des composants utilisés. Ils interviennent en complément aux documents graphiques détaillés réalisés sur la base du 3ème niveau de représentation ;
- l'inventaire, qui est un document accessoire permettant d'obtenir un répertoire des composants contenus dans BDS dans un but de documentation.

## 6.8 LE POSTE DE TRAVAIL

Le système "SIGMA-Industrialisation Ouvert" est un logiciel (★) que par définition nous avons voulu aussi indépendant que possible du matériel, (★), c'est-à-dire ne fonctionnant pas exclusivement avec tel ordinateur de tel fabricant.

Néanmoins, afin d'en illustrer l'utilisation, nous allons présenter prospectivement quelques variantes de support matériel, non en termes de calculateur, mais en termes d'ou-

til d'accès et d'utilisation.

Le poste de travail peut être défini sous deux aspects :

- en tant qu'environnement de travail doté de certains appareils à disposition de l'utilisateur ;
- en tant que point d'accès à un système informatique d'aide à la conception.

#### 6.8.1 Le poste de travail comme environnement de travail

Il s'agit donc de l'initialisation du plan sur lequel on va travailler, du choix de chaque composant et du placement des composants sur ce plan. Du point de vue de l'utilisateur, cela correspond aux 3 tâches suivantes :

- description du plan,
- choix d'un composant constructif,
- habillage du plan.

4 variantes de configuration sont possibles :

##### 6.8.1.1 Variante a

- une console graphique munie d'un photostyle<sup>\*</sup> qui permet d'une part de décrire le plan, d'autre part de placer les composants constructifs ; cette console est dotée d'un clavier de fonctions qui permet l'appel d'un composant et des modifications, telles qu'effacement partiel, changement d'échelle, changement de vue ;

- une console interactive qui permet la recherche des composants dans la base de donnée, à partir de leur nom et/ou une ou plusieurs de leurs caractéristiques ;

- un catalogue manuel des composants où ils sont représentés par leur projection sur les 3 plans de l'espace ; ce catalogue, auquel on accède par une seule entrée qui est le

nom du composant, permet de vérifier visuellement d'adéquation d'un composant pressenti pour une certaine fonction ;

#### 6.8.1.2 Variante b

- la console graphique,
- la console interactive,
- une seconde console graphique qui remplace le catalogue manuel ; elle permet d'obtenir plus rapidement l'image, qui est cette fois lumineuse, d'un composant et d'y accéder par autant d'entrées que le composant comporte de caractéristiques ; elle est commandée par la console interactive ;

#### 6.8.1.3 Variante c

- les deux consoles graphiques,
- la console interactive,
- une table de digitalisation<sup>\*</sup> qui double le photostyle de la première console graphique, et permet de décrire le plan avec plus de précision et de rapidité, directement à partir d'une image graphique existante (esquisse, plan antérieur) ;

#### 6.8.1.4 Variante d

- la console interactive,
- la seconde console graphique,
- une table de digitalisation interactive sur laquelle est décrite le plan et sont placés les composants.

Par rapport aux 3 premières variantes, la variante d est moins souple dans la mesure où une modification sur le plan, que l'on est en train d'habiller, est plus difficile, mais plus précise car la définition usuelle (au sens photographique) est meilleure sur un support de papier que sur un écran cathodique. Cela signifie peut-être que la variante d serait d'autant plus efficace, que l'on travaille à une plus grande échelle, où l'on peut directement prendre en compte plus de détails. C'est concevable pour un utilisateur très bien rodé

à résoudre un type de problème.

On n'a bien évidemment pas été exhaustif dans l'énumération des variantes. D'autres sont possibles, ne serait-ce que par certaines combinaisons de ces quatre.

#### 6.8.2 Le poste de travail comme point d'accès

Nous avons pour l'instant implicitement considéré que la Base de données des composants constructifs existait quelque part et qu'on en tirait des composants pour habiller un plan. C'est dans la logique de l'industrialisation ouverte de considérer que des utilisateurs aussi nombreux que possible exploitent la même base de données. Mais il peut être avantageux, voire nécessaire pour un utilisateur particulier, de disposer, dans le répertoire, de composants particuliers, ou dans le système, de fonctions particulières. Cette exigence détermine la définition du poste de travail comme partie du système.

##### 6.8.2.1 Variante a

On a d'une manière centralisée un ordinateur qui contient le système "SIGMA-Industrialisation Ouverte", et en particulier la base de données. Ils ont été constitués par des informaticiens et des architectes, qui les maintiennent à jour et en fonctionnement ; les architectes-utilisateurs exploitent le système tel qu'il est.

Cet ordinateur est accessible à partir d'un grand nombre de terminaux<sup>\*</sup>, dont chacun est un poste de travail avec les fonctions décrites plus haut.

##### 6.8.2.2 Variante b

Lorsque certains utilisateurs veulent disposer de composants et de fonctions particulières, on ne peut, sans engendrer d'anarchie, les laisser intervenir dans le système

commun.

Il s'agit alors de mettre à leur disposition une partie de machine qui est propre à chacun et qui fonctionne pour l'utilisateur en question, comme partie intégrante du système informatique. Cela fait appel à la notion de calcul distribué : le système tel qu'il est décrit à la variante a se complète d'un certain nombre de postes de travail qui peuvent être autonomes, et qui permettent la description de composants et de fonctions particuliers.

Cela ne modifie pas en apparence l'environnement de travail : ces nouvelles tâches peuvent être exécutées à l'aide des appareils déjà décrits. On tend ainsi vers une sorte de réseau de machines, ce qui est très actuel avec la tendance des agences à recourir de plus en plus à l'informatique, pour des tâches de gestion et de calcul propres à l'entreprise, en utilisant un ordinateur en son sein. Cet ordinateur doit alors être conçu comme noeud du réseau.

## 7. LE SYSTEME INFORMATIQUE

## 7.1 INTRODUCTION

Dès les débuts de la conception assistée par ordinateur en architecture, deux idées fondamentales ont orienté chacune de leur côté la démarche des chercheurs.

La première, que l'on peut appeler syntaxique, considère l'architecture comme porteuse d'un ensemble organisé et organisable de signes. Elle a été confortée par, d'une part, les recherches des linguistes sur les langues naturelles, leurs similitudes avec les langages informatiques, et le bénéfice qu'elles tiraient de certaines applications informatiques, d'autre part, les recherches des sémiologues sur les signes architecturaux, qui pouvaient être complémentaires aux travaux faits par des informaticiens sur la reconnaissance de forme. Mais on s'est vite rendu compte que, les langues naturelles n'étant pas simples et que l'architecture comme langue étant plus complexe encore que les langues naturelles, cela était et allait être très laborieux.

La seconde idée considère que tout objet architectural est un ensemble d'éléments qui ont entre eux des relations fonctionnelles et spatiales. D'un point de vue CAO, un objet architectural peut donc être décrit alphanumériquement<sup>\*</sup> dans une base de données par ses éléments constitutifs et leurs relations. Cette démarche a beaucoup profité des progrès faits dans le codage de données graphiques, car il n'est souvent pas possible, (et de toute évidence pas souhaitable), de ramener la description d'un objet architectural à des relations fonctionnelles.

Les premières bases de données étaient caractérisées par une structure hiérarchique en arbre. Elles étaient donc très spécialisées en fonction d'un type de relation, caractéristique d'une certaine application, et ne permettaient que très difficilement la prise en compte de relations multifonction-

nelles et spatiales, qui sont typiques des problèmes de conception (Eastman).

Dans les problèmes réels, la complexité des objets que l'on traite est grande : le nombre des éléments est important, leurs formes sont compliquées, leurs fonctions sont multiples. La quantité d'informations décrivant ces éléments et leurs relations spatiales et multifonctionnelles, croît très vite. Cette voie a donc et doit encore beaucoup bénéficier des progrès réalisés dans la conception et la gestion des bases de données : le développement de base de données structurées.

La fonction fondamentale du système "SIGMA-Industrialisation Ouverte" est une aide à la conception architecturale par composants. Ceux-ci sont définis dans un répertoire et il faut pouvoir y accéder.

Dans un mode de travail purement manuel, ce répertoire aurait la forme d'un dictionnaire, c'est-à-dire d'un fichier à une seule entrée. Dans un dictionnaire, l'information est organisée selon l'ordre alphabétique de la première lettre et des lettres suivantes d'un mot. Le seul accès à la définition d'un mot est son orthographe. De la même manière, il existe déjà dans la pratique architecturale actuelle de multiples fichiers à une seule entrée, par exemple un catalogue de portes, ou un catalogue de fenêtres, etc...

Dans cet ordre d'idées, la base de données structurée, qui est le répertoire des composants, est un dictionnaire informatisé à multiples entrées.

Une base de données a pour but de conserver, de recevoir et de mettre à disposition un grand nombre de données, en en garantissant la cohérence. Cette cohérence recouvre deux aspects :

- l'intégrité : gestion d'informations de relations

fonctionnelles de telle sorte que les relations soient satisfaites.

- la consistance, qui est un cas particulier d'intégrité : gestion de l'équivalence de données rebondantes.

Dans une base de données structurée, la structuration de l'information consiste à établir un tissu de relations en forme de réseau ou de semi-treillis, qui permet justement d'intégrer les relations multifonctionnelles. Il en résulte une complexification des problèmes d'intégrité et de consistance, pour lesquels ont été développées des techniques de gestion automatique de l'intégrité et de la consistance.

Le but du chapitre est une transcription de la modélisation architecturale, orientée vers le système informatique, d'un point de vue logique d'une part, d'un point de vue physique d'autre part.

Outre les relations multifonctionnelles et spatiales, BDS contient aussi les caractéristiques propres des composants. Si les caractéristiques propres, telles que la liste du chapitre 6 les a présentées, ne sont pas toutes pertinentes pour chaque composant, il y a néanmoins des familles de composants qui sont des ensembles dont les parties ont des caractéristiques propres en commun. C'est notamment ce que nous indique la modélisation architecturale, où la structuration par systèmes constructifs, sous-systèmes, familles fournit un mode de hiérarchisation de l'information. Mais en dehors de cette structuration, il peut y avoir en commun à deux ou plusieurs composants une ou plusieurs caractéristiques propres, sans que ces composants appartiennent à la même famille fonctionnelle.

A côté de la partition de l'ensemble des composants qui résulte de la modélisation architecturale, il peut y avoir de

multiples autres partitions de cet ensemble, théoriquement autant de partitions qu'il y a de caractéristiques propres.

Par exemple, on peut avoir une dalle, un panneau de cloison, un panneau de façade, un élément d'escalier qui ont le même poids sans appartenir à la même famille. La description de l'information par réseau permet de constituer le sous-ensemble des composants ayant un poids  $x$ , sans avoir à récrire cette caractéristique autant de fois qu'elle apparaît dans l'ensemble des composants.

Dans d'autres bases de données structurées orientées vers la conception de systèmes physiques, en particulier de bâtiments, les caractéristiques propres sont organisées hiérarchiquement selon les trois niveaux : topologique, géométrique et attributif. Le niveau topologique décrit la forme d'un groupe de composants sans données dimensionnelles, celles-ci étant décrites dans le niveau géométrique qui est immédiatement inférieur. Le niveau attributif contient les autres caractéristiques propres.

La modélisation architecturale par trois niveaux d'échelle que nous proposons, regroupe des données topologiques, géométriques et attributives assez tôt dans le processus de conception. Cela permet de travailler dimensionnellement avant que la définition détaillée soit faite. L'utilisation d'un modèle relationnel de base de données que nous proposons pour la description des caractéristiques propres des composants permet cette réponse à la modélisation architecturale sans gonflement des informations par descriptions répétitives des mêmes caractéristiques.

## 7.2 LES ELEMENTS DU SYSTEME INFORMATIQUE

Le but du système "SIGMA-Industrialisation Ouverte" est d'aider le concepteur (architecte-utilisateur du système), à

choisir la manière dont on va réaliser un objet architectural, en particulier un ou plusieurs appartements, en utilisant des composants constructifs ouverts répertoriés dans le système.

Celui-ci fournit deux types d'aides : d'une part, le stockage d'informations permanentes, outil par rapport auquel il n'est à un moment donné que demandeur, c'est-à-dire qu'il puise dans cet outil des données sans modifier son contenu ; ce sont les données constructives générales contenues dans BDS (Base de Données Structurées) et constituant le répertoire de composants constructifs ; d'autre part, le stockage d'informations propres au problème que l'utilisateur est en train de résoudre, informations qu'il transforme et qu'il enrichit à l'aide des informations permanentes et d'informations extérieures au système (expérience, mémoire, documents, plans antérieurs) ; ce sont les données architecturales (spatio-fonctionnelles) et les résultats ; d'un point de vue informatique, cela constitue la base de données du projet (BDP) ; les données architecturales sont représentées par des plans schématiques d'appartements et des exigences fonctionnelles ; elles peuvent être des résultats du sous-système "SIGMA-Logement", projet complémentaire développé dans notre équipe pour l'aide à la conception d'appartements, de groupements d'appartements et de plans-masses de groupements de logements.

Chacun de ces deux éléments constitue une base de données, dont nous allons préciser le contenu et examiner la nature des relations entre les données qu'elle contient.

Un troisième élément du système, non visible par l'utilisateur, est le système d'exploitation qui rend l'ensemble du système opératoire, en particulier en assurant les relations entre les deux bases de données.

### 7.3 LA BASE DE DONNEES STRUCTUREE (BDS)

#### 7.3.1 Contenu

Nous avons vu dans la modélisation architecturale que BDS était le répertoire de composants constructifs dans lequel le concepteur puise pour définir la manière de réaliser l'objet architectural sur lequel il travaille. Un composant constructif est donc défini dans BDS par son nom, sa description géométrique par rapport à un repère neutre (banal), qui lui est propre, par ses caractéristiques propres et de relation. Ce repère est neutre, parce que chaque composant est défini isolément dans un espace abstrait, sa position par rapport à d'autres composants étant exprimée par les caractéristiques de relation. Celles-ci définissent en fait des alternatives d'assemblage de ce composant avec d'autres composants, alternatives qui portent d'une part sur le lieu de liaison (zone ou point de contact), d'autre part sur le composant particulier auquel il peut être lié.

Parmi les caractéristiques de relation, il existe un type particulier de relations que nous avons appelées relations syntaxique ou syntaxe. Elles expriment un assemblage standardisé de plusieurs composants et ont soit un rôle de procédure de remplissage automatique, soit un rôle de contrôle. Chaque assemblage représente un choix parmi les alternatives de placement au sein de chaque paire de composants ou entre un composant et un groupe de composants.

#### 7.3.2 Nature des relations

Pour représenter le contenu d'une base de données, l'état de l'art nous fournit différents modèles de données : arborescences, réseaux, relations binaires, relations n-aires.

Nous allons essayer de représenter le contenu de BDS à l'aide d'un modèle relationnel, car ce type de modèle permet une sémantique plus riche, ce qui semble mieux répondre à la

diversité des informations qu'il faut prendre en compte.

Plus précisément, nous allons utiliser un modèle de relation binaire (AOV), qui a le double avantage d'être simple et de pouvoir représenter les 3 types d'informations décrits dans le paragraphe précédent. Précisons encore que nous nous limitons ici à ce qui est interne à BDS, sans présumer de la manière de représenter les relations qui existent entre le contenu de BDP et le contenu de BDS, qui sont évidemment plus complexes et que nous aborderons dans un sous-chapitre à part. La théorie AOV (Attribut, Objet, Valeur) définit une façon de décrire un triplet entre les données élémentaires où chaque terme joue un rôle particulier. Le triplet-type est de la forme :

          < père de > < Jean > est < Paul >  
ou       < père de > est un attribut  
          < Jean >           un objet  
          < Paul >           une valeur.

L'accès le plus direct à toute entité d'informations se fait par son nom, qui est évidemment unique. Une entité d'information est en général un composant constructif, mais nous verrons au paragraphe suivant qu'une entité peut représenter un groupe de composants apparentés.

Dans chaque relation AOV, dont l'ensemble constituera le contenu de BDS, l'élément 0 de la relation sera le nom.

Ainsi, la description géométrique d'un composant, où on l'assimile à un polyèdre (éventuellement trivial), décrit par ses points et ses faces, prend-elle la forme suivante :

          [point 1 de] [a] est [x, y, z]  
ou       [point 1 de] est un attribut  
          [a]                   un nom de composant  
          [x, y, z]           une valeur représentant les trois

coordonnées du point dans le repère neutre.

De même :

[face 1 de] [a] est [P1 P2 P3 P4]  
ou [face 1 de] est un nouvel attribut  
[P1 P2 P3 P4] une valeur représentant la description sommet par sommet d'une face.

Une caractéristique propre (CP) d'un composant, qui exprime une qualité chimique, physique ou commerciale du composant, prendra par exemple la forme :

[poids de] [a] est [200 Kg]  
ou [poids de] est un attribut  
[a] toujours l'objet  
[200 Kg] une valeur.

Une caractéristique de relation (CR) d'un composant qui exprime la manière dont le composant peut s'assembler à un autre, est plus particulière, mais nous allons voir qu'elle peut être considérée comme un cas spécial de relation de type AOV.

Les composants étant tous définis dans leur repère neutre par rapport à leur verticalité réelle, une possibilité d'assemblage entre deux composants s'exprime par la juxtaposition d'un point du second composant à un point du premier composant, après rotation éventuelle du second composant autour d'un axe vertical.

On peut donc écrire par exemple :

[pt 1 de] [a] reçoit [pt 1 de b \* R 90°]  
ou [pt 1 de] est un attribut  
[a] un objet

$[pt\ 1\ de\ b * R\ 90^{\circ}]$  une valeur

Il faut trouver une forme qui puisse remplacer ces deux formulations équivalentes.

On peut imaginer un cas particulier de relation AOV où l'objet est dédoublé en un objet et son inverse, qui peut aussi jouer le rôle d'objet.

Dans l'ensemble ci-dessus, si le composant a est l'objet, le composant b est son inverse dans cette relation.

La valeur de la relation ne comprend plus de nom d'objet, mais la fonction inverse. Elle devient donc fonction de l'objet :

$[pt\ 1\ de\ l'inverse * R\ 90^{\circ}]$

La relation s'écrira alors :

$[pt\ 1\ de] \quad [a] \text{ reçoit } [pt\ 1\ de\ l'inverse * R\ 90^{\circ}]$

ce qui correspond au schéma suivant :

$[a] \quad - \quad [b]$   
 $[pt\ 1] \quad - \quad [pt\ 1\ de\ l'inverse * R\ 90^{\circ}]$

où - est une relation "fonction inverse" entre deux objets ou composants, qui peuvent s'assembler.

### 7.3.3 Organisation des données

Il s'agit d'organiser une occupation de l'espace-mémoire telle que chaque information ne soit pas dupliquée autant de fois qu'elle intervient dans une relation, mais occupe une place qui la rende aussi réutilisable que possible et dont l'accès est garanti. On parle alors de structuration de l'information, par opposition à la mise en relations des informations, qui consiste simplement à décrire un état de fait des

liens entre des éléments d'information.

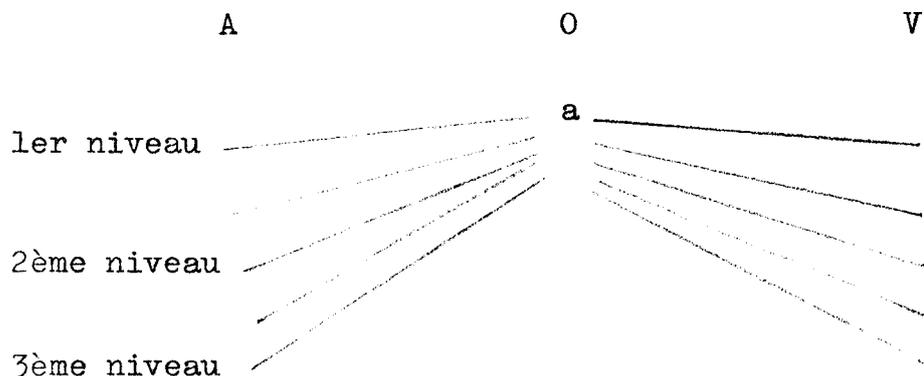
Nous pouvons différencier quatre types de structuration :

- la structuration par objet,
- la structuration par famille de composants,
- la structuration par attribut et valeur,
- la structuration par attribut.

a) la structuration par objet

Le nom de chaque composant fait fonction d'objet dans chaque relation AOV qui le définit géométriquement, ou par une caractéristique propre, ou une caractéristique de relation. De plus, la modélisation architecturale a montré que chaque composant pouvait être représenté à 3 niveaux de représentation correspondant chacun à une échelle de travail. A chaque niveau où il est représenté, un composant est défini successivement par ses caractéristiques géométriques, ses caractéristiques propres et ses caractéristiques de relation.

Le nom d'un composant se trouve donc dans BDS au centre d'une série de relations AOV, pour chacune desquelles il joue le rôle d'objet. Cette série de relations comprend les 3 niveaux successifs et, à chaque niveau, la successions des caractéristiques géométriques, propres et relationnelles.



b) la structuration par famille de composants

La structuration précédente ne porte pas seulement sur les entités représentant des composants, mais des entités représentant des groupes de composants, comme la modélisation architecturale a permis d'en isoler : famille, sous-système, voire système.

Par exemple, une série de poutres, variantes l'une de l'autre, ont en commun des caractéristiques géométriques, propres ou relationnelles, et l'on ne va pas occuper autant de fois une certaine place mémoire qu'il y a de variantes.

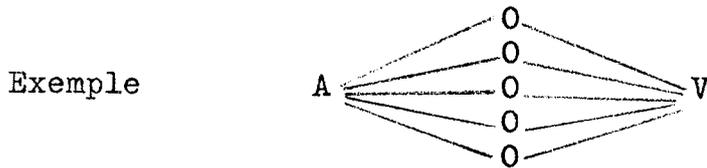
Chaque entité telle qu'elle est définie par la modélisation architecturale possède un nom générique qui joue le rôle d'objet dans la série de relations AOV représentant ses caractéristiques.

c) la structuration par attribut et valeur

Les deux premiers types de structuration étaient directement fournis par la modélisation architecturale. Au contraire, les deux suivantes sont purement techniques, au sens d'économie de place-mémoire.

Dans la structuration b, c'est comme si on avait une série d'objets dont chaque attribut et chaque valeur étaient identiques. La modélisation architecturale avait permis de faire de cette série d'objets une entité en lui donnant un nom générique. Il peut exister un groupe de composants, qui ne peut constituer une entité, mais dont une partie des attributs et des valeurs sont communs.

On a alors une série de relations AOV qui, à partir d'un seul attribut, divergent sur plusieurs objets et de ces objets convergent vers une seule valeur.

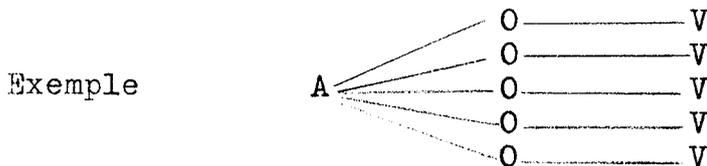


d) la structuration par attribut

Dans la discipline "construction", un certain nombre de types de caractéristiques sont pertinentes, d'autres ne le sont pas, mais tous les types de caractéristiques ne sont pas pertinents pour chaque composant.

Un type de caractéristiques étant représenté dans AOV par l'attribut, on a, dans BDS, des groupes ne constituant pas d'entités, mais dont certains ou l'ensemble des attributs, sont communs.

On a alors une série de relations AOV qui associent une série d'objets et une série de valeurs à un seul attribut.



7.3.4 Implémentation

Nous allons décrire ici comment réaliser la conversation des données en terme de support physique, c'est-à-dire comment se fait le passage des informations telles qu'elles existent dans la tête du professionnel et dans ses documents de travail à une occupation organisée d'éléments de mémoire.

Ces informations ont déjà subi deux transformations : la première, que nous avons appelée "modélisation architecturale", était une mise en ordre, par systématisation du "vocabulaire professionnel", la seconde, qui a été décrite dans les premiers paragraphes de ce chapitre, était une mise sous forme logique de ces informations du point de vue base de données.

Cette forme logique permet le passage à la programmation par l'utilisation d'un langage de description et le respect de ses formes.

La transformation de cette forme logique en forme physique, peut se faire par l'intermédiaire d'un espace virtuel<sup>\*</sup>. C'est un espace-mémoire linéaire de taille infinie, structuré à partir de la description logique des données. Il est important que, étant donné que la masse d'informations de BDS est importante et complexe lors de sa constitution et au cours de chacune de ses mises à jour, l'informaticien n'ait pas à se poser de problèmes de place et d'occupation de la mémoire.

Le système d'exploitation assure ensuite la projection de l'espace virtuel dans l'espace physique, c'est-à-dire le transfert des informations dans une mémoire secondaire à accès direct, de taille limitée et de compacité maximale.

A la structuration logique des données, correspond une organisation en pages, sous-pages et mots du support physique.

### 7.3.5 Le problème d'intégrité

Le problème de la gestion de l'intégrité de BDS se pose essentiellement dans deux cas :

- a) les relations AOV commutatives,
- b) la structuration par attribut ou par attribut et valeur.

a) Lorsqu'au cours de la constitution de BDS, on introduit un nouveau composant qui est l'inverse d'un composant existant déjà dans BDS, il faut établir cette fonction inverse entre le composant-objet et son inverse. Il faut alors qu'automatiquement le système assure le dédoublement des relations qui existent entre les attributs et valeurs de l'objet et l'objet, afin qu'elles existent aussi entre les attributs et valeurs

d'une part et l'inverse d'autre part.

b) Lorsqu'au cours de la constitution de BDS, on introduit un nouveau composant dont un ou plusieurs attributs existent déjà, ou dont un ou plusieurs attributs et valeurs existent déjà, le nom de ce composant doit prendre place dans la série d'objets et valeurs associée à ce ou ces attributs, ou dans la série d'objets associée à ces attributs et valeurs.

Cette mise en place doit être assurée automatiquement par le système.

#### 7.4 LA BASE DE DONNEES DU PROJET (BDP)

##### 7.4.1 Contenu

Nous avons dit que le contenu de BDP était de deux types : d'une part, les données spatio-fonctionnelles du projet architectural, d'autre part, les données déterminant l'enveloppe constructive de ce projet, plus précisément des composants constructifs dont cette enveloppe est composée.

Ce sont surtout celles-ci qui nous intéressent et que nous allons examiner.

En effet, les premières appartiennent à un ensemble plus vaste de données, qui régissent la conception formelle du projet architectural et n'interviennent que comme base de travail dans la conception de la réalisation constructive du projet architectural.

Décrivons seulement la forme minimale que cette base de travail doit avoir : il s'agit de l'enregistrement du travail antérieur de conception de l'objet architectural sous la forme d'une série de schémas de plans d'appartements, où chaque appartement est localisé par rapport au groupement de logements auquel il appartient (tranche x) et au sein de sa tranche par rapport à la hauteur (étage 2). Chaque local constitutif d'un appartement est représenté par un polygone généralement quadrilatère et rectangle, auquel est associé le nom d'un espace fonctionnel (cui pour cuisine, sej pour séjour, etc...), et la hauteur d'étage lorsqu'elle n'est pas standard (cas de semi-duplex ou de duplex avec séjour plus spacieux).

Un trait indique la contiguïté de la tranche dans laquelle on travaille avec sa ou ses 2 tranches voisines. Ce trait est dédoublé lorsqu'il correspond à un mur-pignon. Il en résulte que toute façade est repérée par l'absence d'un trait autre que celui limitant un espace fonctionnel. Les relations entre les différents espaces fonctionnels peuvent être exprimés par des légendes associées aux traits qui les limitent (par exemple, double-porte, claustra, cloison 60 dB, etc...).

Un composant constructif est défini dans BDS par son nom, par sa position par rapport à un repère neutre. par ses caractéristiques propres et de relation. Le travail avec le système SIGMA-Industrialisation Ouverte consiste à choisir un composant dans BDS, et à en placer une image dans une tranche de bâtiment. Chaque composant est donc défini dans BDP par son nom, par sa position dans l'espace défini par la tranche de bâtiment qui le contient, par les autres composants auxquels il est physiquement et fonctionnellement relié. Dans BDS, les CR d'un composant expriment des alternatives de liaison de ce composant avec d'autres composants. Placer l'image d'un composant de BDS dans BDP, signifie aussi spécifier les composants avec lesquels il est en contact dans la tranche de

bâtiment, donc quelle (ou quelles) alternative(s) d'une caractéristique particulière a été choisie.

Concernant la syntaxe, ce qui nous intéresse pour le contenu de BDP est son rôle de procédure de remplissage automatique.

Une relation syntaxique exprime des CR particulières entre un groupe de composants particuliers. Elle est décrite en tant que telle dans BDS. Son image dans BDP est donc définie par son nom et sa position dans l'espace défini par la tranche de bâtiment dans laquelle on travaille.

En résumé, le contenu de BDP est donc constitué de 3 types de données élémentaires :

- le nom du composant,
- sa position,
- son ou ses composants contigus et les points de contiguïté.

#### 7.4.2 Nature des relations

Nous avons vu, dans le sous-chapitre précédent, comment pouvait être représenté le type de relation existant entre un composant de BDS et ses caractéristiques géométriques.

La relation qui existe dans BDP entre les deux premiers types de données est du même ordre ; elle permet de localiser l'image d'un composant dans le repère de la tranche de bâtiment qui le contient.

Exemple :

$$\langle \text{position de} \rangle \langle a_i \rangle = \langle x_i, y_i, z_i, R x \rangle$$

où  $\langle \text{position de} \rangle$  est l'attribut  
 $\langle a_i \rangle$  est l'objet ou plus précisément une image contenue dans BDP du composant a

contenu dans BDS.

$\langle x_i, y_i, z_i, Rx \rangle$  les coordonnées de  $a_i$  dans le repère de la tranche de bâtiment et son orientation par rapport à  $a$ , tel qu'il est défini dans BDS. La forme de la relation qui existe entre deux voisins de BDP est plus particulière, mais nous allons voir qu'elle peut être considérée comme un cas spécial de la relation de type AOV.

On peut donc écrire :

$$\begin{aligned} & \langle \text{voisin de} \rangle \langle a_i \rangle = \langle b_j \rangle \\ \text{où} \quad & \langle \text{voisin de} \rangle = A \\ & \langle a_i \rangle = 0 \\ & \langle b_j \rangle = V \end{aligned}$$

Le premier caractère spécial de ce sous-type de relation est que l'attribut est une fonction commutative. On est équivalent d'écrire :

$$\begin{aligned} & \langle \text{voisin de} \rangle \langle a_i \rangle = \langle b_j \rangle && \text{ou} \\ & \langle \text{voisin de} \rangle \langle b_j \rangle = \langle a_i \rangle \end{aligned}$$

De plus, cette notation n'est pas suffisamment précise car la contiguïté de deux composants s'exprime par la contiguïté de l au moins de leurs points respectifs.

L'objet de la relation est donc un point du premier composant, plutôt que le composant lui-même, et la valeur de la relation est un point du second composant, plutôt que le composant lui-même.

Ainsi, la notation de la relation sera :

$$\langle \text{voisin de} \rangle \langle P \text{ de } a_i \rangle = \langle P_e \text{ de } b_j \rangle$$

où le point  $P$  et le point  $P_e$  sont des points respectivement des composants  $a$  et  $b$ , qui sont définis dans BDS.

La position de P dans BDP est donc définie à partir de la position de  $a_1$  dans BDP, et de la description de a dans BDS par une relation sur laquelle nous reviendrons.

Il en est de même pour le point  $P_e$  dans BDP.

### 7.4.3 Organisation des données

Chaque composant dans BDP est un élément individuel dans une tranche de bâtiment donnée. C'est en tant que tel qu'il est défini par les deux bipelets décrits au paragraphe précédent. Mais il est de plus partie d'un étage et dépendant de l'échelle à laquelle travaille l'utilisateur.

Concernant l'étage, il serait suffisant de considérer sa position puisqu'il est défini par rapport à la tranche de bâtiment. Mais il est intéressant de définir l'étage auquel il appartient, pour constituer l'espace virtuel qui est un espace-mémoire de travail, dont nous définissons l'intérêt au paragraphe suivant.

Concernant les niveaux de travail, nous avons vu qu'ils correspondaient chacun à une échelle de grandeur. A chaque niveau, les coordonnées d'un composant change, de même que le nom et les coordonnées des points de contiguïté.

Il y a donc autant de dédoublements des deux triplets pour chaque composant qu'il y a de niveaux de travail supplémentaires définis (max 3). Cela peut être représenté par le schéma suivant :

	BDS		
	nom		
1er niveau	x, y, z, R	pt $P_{k1}$ <u>voisin</u>	pt $P_{11}$
2ème niveau		pt $P_{k2}$ <u>voisin</u>	pt $P_{12}$
3ème niveau		pt $P_{k3}$ <u>voisin</u>	pt $P_{13}$

#### 7.4.4 Implémentation

Comme dans le cas de BDS, nous allons recourir à un espace virtuel facilitant le passage de la forme logique des informations à leur forme physique.

La masse des informations croît constamment au cours du travail du concepteur-architecte. Celui-ci n'étant pas informaticien, il n'a pas à se soucier de la manière d'occuper la mémoire à disposition de BDP. De plus, la logique des opérations qu'il exécute ne correspond pas, sauf exception, à la logique des données avec lesquelles il travaille. Par exemple, un assemblage de composants a une logique déterminée par les caractéristiques relationnelles de chaque composant en présence, alors que tous les composants n'ont pas été placés au cours de la même opération, ni même lors d'opérations contiguës.

Il ne faut donc pas que la liberté de travail du concepteur soit hypothéquée par des considérations informatiques. Le concepteur remplit donc un espace-mémoire linéaire de taille infinie, dont le système d'exploitation assure ensuite la projection dans la mémoire secondaire de compacité maximale, qui conserve BDP entre les phases de travail.

L'organisation en pages, sous-pages et mots du support physique, correspond à l'organisation spatiale de l'objet architectural, comme nous le précisons au paragraphe suivant.

#### 7.4.5 Le problème d'intégrité

Dans les bases de données liées à la conception d'objets physiques, le problème principal concernant la consistance de l'information, réside dans le risque de chevauchement dans l'espace. Comment savoir que telle cloison peut s'appuyer sur un certain assemblage, sans interférer spatialement avec les autres composants (refend et poutres) qui le constitue.

La solution que nous proposons est d'assurer une correspondance bijective entre l'espace qu'occupe l'objet architectural et le support physique (ou le support virtuel) qu'occupe la description de cet objet architectural.

Mais comme au troisième niveau de description, nous travaillons avec une unité centimétrique voire millimétrique, il est bien évidemment impossible d'avoir autant de places-mémoires qu'il y a de centimètres-cubes dans l'objet architectural pour contrôler le chevauchement.

Cette correspondance bijective fera donc correspondre à chaque unité de mémoire, non une unité de l'espace, mais un volume homogène au sens où ce volume appartient au même composant.

#### 7.5 LES RELATIONS ENTRE BDS ET BDP

A chaque image contenue dans BDP d'un composant contenu dans BDS, doivent pouvoir être associées toutes les caractéristiques géométriques et propres du composant, telles qu'elles sont définies dans BDS. Cela ne comprend pas les caractéristiques relationnelles, puisque celles-ci étant des alternatives, le cas choisi est défini dans BDP.

Il y a donc entre chaque image d'un composant et ce composant, une relation qui permet d'accéder de BDP à chaque caractéristique du composant définie dans BDS.

Par exemple, lors de l'exécution d'un programme d'application destiné à connaître le poids d'une tranche de bâtiment, le système d'exploitation va transférer à ce programme à travers ce réseau de relations, le poids de chaque composant et le programme en calculera la somme.

## 7.6 LE SYSTEME D'EXPLOITATION

Nous nous bornons ici à décrire les tâches principales que doit assurer le système d'exploitation sans entrer en matière sur la manière de réaliser leur mise en oeuvre.

Nous nous situons sur le plan de l'ensemble du système SIGMA-I.O., celui qui porte sur le fonctionnement intégré de BDP et BDS et touche donc directement l'architecte-utilisateur, sans parler des questions qui concernent l'architecte-informaticien ayant pour tâche de tenir BDS à part.

Le système d'exploitation est un ensemble de programmes invisible pour l'utilisateur, mais qui assure le fonctionnement du système SIGMA-Industrialisation Ouverte en gérant les données et les traitements.

Autrement-dit, c'est le système d'exploitation de SIGMA-I.O. qui met le système SIGMA-I.O. dans son ensemble en état de répondre à une tâche particulière que lui demande l'architecte-utilisateur ou d'assurer l'enchaînement de plusieurs tâches.

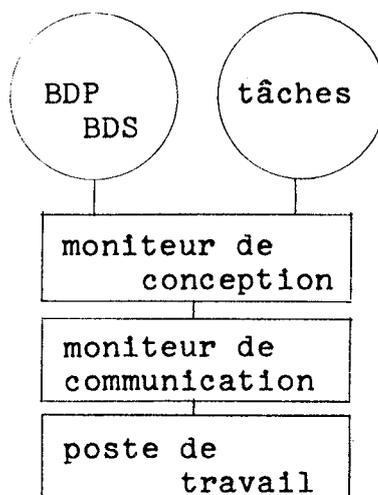
Ces tâches sont du type : recherche d'un composant, affichage d'un composant, affichage d'un plan, modification d'un plan, changement d'échelle, etc...

Le déclenchement d'un des programmes qui assurent les fonctions du système d'exploitation se fait soit par commande de l'architecte-utilisateur, soit automatiquement. On dit qu'un tel programme est "activé" à la demande ou automatiquement.

### 7.6.1 Les fonctions commandées

Pour activer une fonction du système, c'est-à-dire mettre le système SIGMA-I.O. en état de répondre à une utilisation

particulière de l'utilisateur, ce dernier dispose d'un certain nombre de touches sur le clavier de son poste de travail.



Pour illustrer ce rôle du système d'exploitation, nous allons reprendre la démarche de l'utilisateur décrite au chapitre 6 en nommant chaque fonction du système d'exploitation par l'action correspondante que l'utilisateur demande au système SIGMA-I.O.

Mais avant la démarche proprement-dite, il faut parler d'une fonction essentielle du système d'exploitation puisque SIGMA-I.O. est un système graphique, à savoir la restitution d'images.

A tout moment, le système doit fournir une image des objets avec lesquels on travaille. C'est ce que nous appelons la gestion des sorties graphiques de BDS et de BDP.

Ces objets, composants pour BDS et plans, éventuellement aussi composants pour BDP sont conservés sous forme codée alphanumériquement respectivement dans BDS et dans BDP. Lorsque l'utilisateur demande la visualisation d'un de ces objets

en agissant sur la touche correspondant à la visualisation, le système d'exploitation doit décoder la description géométrique de l'objet pour la traduire à l'échelle adéquate sous forme de points, de segments, de surfaces, qui sont les éléments constituant une image.

### Recherche d'un plan

Lorsque l'utilisateur travaille, il a besoin d'un plan d'appartement. La première action qui est demandée au système d'exploitation est de fournir l'image d'un plan à partir de spécifications que lui fournit l'utilisateur.

Par exemple, le plan de l'appartement du 2e niveau de la tranche de bâtiment BZ1 ou le plan d'un appartement de 130 m<sup>2</sup> environ, traversant, plat avec 4 chambres à coucher.

Le système d'exploitation a pour tâche de traduire ces spécifications en autant de filtres ou critères de choix pour trouver le plan satisfaisant, puis de transmettre son nom, éventuellement son image, à l'utilisateur.

### Recherche d'un composant

L'utilisateur commande au système d'exploitation de se mettre en disposition de recherche d'un composant, puis il lui transmet ses critères de sélection du composant recherché. Le système d'exploitation décode ces critères, trouve éventuellement un composant satisfaisant et recode cette information sous une forme intelligible pour l'utilisateur, forme éventuellement graphique.

### Changement d'échelle

Lorsque l'utilisateur travaille à une certaine échelle sur un plan affiché sur sa console graphique, il peut en vouloir une image plus précise. Le changement d'échelle est commandé par l'utilisateur qui en précise l'échelle et le système

d'exploitation assure la transformation de chaque partie ou composant du plan en allant "chercher" dans BDS la description plus détaillée de chaque partie ou composant et en restituant l'image de l'ensemble sur l'écran.

#### Modification d'un plan

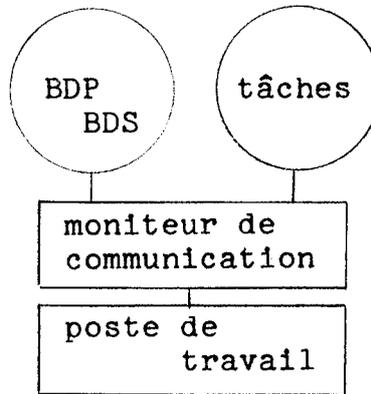
Lorsque l'utilisateur a sur sa console graphique l'image d'un plan qu'il veut modifier, il commande au système d'exploitation de se mettre en disposition de modification. L'utilisateur indique ensuite l'élément à remplacer et l'élément de remplacement. Le système d'exploitation assure le remplacement du lot d'informations de l'élément à remplacer par le lot d'informations correspondant à l'élément de remplacement.

#### Enchaînement de programmes

Certaines tâches commandées par l'utilisateur peuvent ne pas être le résultat du traitement d'un seul programme, mais le produit de plusieurs programmes. Le système d'exploitation gère cet enchaînement de programmes, en assurant la transmission des résultats d'un programme comme données du programme suivant et l'ordonnancement adéquat de ces programmes.

#### 7.6.2 Les fonctions automatisées.

Certaines tâches de gestion que doit assurer le système d'exploitation sont permanentes, ou très fréquentes. Elles sont alors activées automatiquement par le système d'exploitation lui-même, sans que l'architecte-utilisateur ait à y penser ou à le demander.



### Protection de BDS

La base de données structurée est une base de données par rapport à laquelle l'architecte-utilisateur n'est que demandeur, c'est-à-dire qu'il en puise des informations telles qu'elles sont, sans les augmenter ou les modifier.

On dit que BDS est protégée, afin que l'architecte-utilisateur ne puisse ni "écrire dessus", ni la désorganiser.

Cela ne signifie bien évidemment pas qu'elle est immuable: elle est périodiquement mise à jour non par l'architecte-utilisateur, mais par l'architecte-programmeur ou le programmeur qui en connaît la complexité interne.

### Intégrité de BDP

L'intégrité est l'exigence de la non-redondance des informations dans une base de données. Lorsque l'architecte-utilisateur travaille avec le système SIGMA-I.O., il utilise un espace-mémoire de travail dans lequel il y a des informations tirées de BDP (le plan de l'appartement et les compo-

sants déjà choisis) et de BDS (certaines informations liées aux composants qu'il est en train de choisir).

Lorsque sa phase de travail est terminée, le système d'exploitation assure le rangement dans BDP des informations correspondant à cette phase, en veillant à ne conserver que le minimum nécessaire des informations tout en n'en perdant aucune.

#### Gestion des échelles, repères, coordonnées

L'architecte-utilisateur doit pouvoir faire des opérations telles que changement d'échelles, de repères, de coordonnées, sans perte ou modification des informations.

Cette garantie est assurée par le système d'exploitation. En particulier, si l'architecte-utilisateur veut passer d'une certaine échelle à une échelle plus petite, une partie des informations va disparaître tout en étant sauvegardée par le système d'exploitation.

#### Liaison BDP-BDS

Nous avons dit que BDP ne contenait que le nom d'un composant constructif choisit, sa position particulière dans un plan ou une tranche de bâtiment et une ou quelques caractéristiques de relation spécifiant les conditions particulières d'adjacence liées à sa position.

L'essentiel des informations liées à ce composant est dans BDS.

En travaillant dans l'espace-mémoire de travail de BDP, on doit pouvoir avoir immédiatement accès à une information sur ce composant "restée" dans BDS.

Cette correspondance est assurée par le système d'exploitation.



## CONCLUSIONS

Dans l'introduction nous avons posé un postulat portant sur la nécessité d'améliorer quantitativement et qualitativement la production de bâtiments. Notre travail avait ensuite pour but de montrer que la conjugaison de deux paramètres, l'industrialisation par composants et la conception assistée par ordinateur, pouvait être prometteuse sinon décisive dans la résolution de ce problème.

Cela se place dans une problématique de développement des forces productives au sens large, c'est-à-dire incluant le secteur tertiaire.

### Crise du développement

Entretemps est apparue ce que certains appellent la crise du pétrole. Le tapage, fait par les médias autour de ce qui ne semble être que le révélateur d'une sorte de crise économique plus profonde, a joué un certain rôle comme amorce d'une prise de conscience, ou du moins d'une inquiétude concernant notre environnement.

Cette inquiétude est périodiquement renforcée par les travaux de tel ou tel groupe d'experts qui donnent l'alerte en relevant un péril particulier faisant partie intégrante de ce problème.

C'est ainsi que, depuis plusieurs années, le Club de Rome enjoint les dirigeants de l'économie de trouver une échappatoire à la folle spirale de la croissance à tout prix, de chercher des modalités de croissance nulle, voire négative.

Dans "Small is beautiful" (Le Seuil) E.F. Schumacher dénonce l'utilisation de la nature non comme capital à préserver mais comme revenu. Il compare l'humanité à une entreprise dont la piètre gestion consiste à tirer son bénéfice non de sa production mais de la réalisation de son capital.

L'histoire de l'humanité est notamment l'histoire de la domestication de la nature et du développement des forces productives. Cette pulsion fondamentale est liée à l'imposant développement du système nerveux de l'homme, qui lui a permis assez vite de résoudre la question de sa survie. Et mieux il arrivait à survivre, plus il libérait son temps à un plus grand usage de son système nerveux, dans le but de faciliter encore ses conditions de vie.

Ce processus s'est déroulé durant des siècles sans problème pour l'espèce humaine et son environnement. La capacité de régénération de son biotope était globalement plus forte que les atteintes et déprédations conséquentes à l'activité humaine. Le propre de notre époque est que pour la première fois, l'homme est en train de porter atteinte d'une manière peut-être irréversible à son biotope : dégradation de l'atmosphère, en particulier de la couche d'ozone, pollution nucléaire, pollution des océans, destruction des forêts, disparition voire extermination d'espèces animales ... Ce sont des phénomènes lents, difficiles à observer, mais au niveau journalier, le caractère souvent aberrant de notre mode de vie se manifeste constamment par des faits comme les embouteillages de voitures à 3/4 vides, comme le lait réchauffé, refroidi, upérisé, écrémé avant d'être enrichi pour être bu "entier" !

Cela signifie en dernière analyse que la valeur marchande des produits a peu à peu supplanté leur valeur d'usage, jusqu'à la faire parfois quasiment disparaître : par exemple, la désaffectation à boire de l'eau du robinet au profit d'eaux minérales aux qualités physico-chimiques parfois très proches (et bactériologiquement pires). L'environnement lui-même est de plus en plus considéré comme une marchandise.

Même si l'on se limite à un plan strictement économique, on commence à voir apparaître des phénomènes de contreproductivité, ce que Giarini et Loubergé appellent "les rendements

décroissants de la technologie" (dans "La civilisation technicienne à la dérive", Dunod). Précisons que les mots "mercantile" et "mercantilisme" sont employés dans leur sens originel, c'est-à-dire dérivés de "marchand, marchandise". Ces dénonciations du progrès technique amènent certains groupes ou certains auteurs à prôner une revalorisation de l'usage par une redéfinition de la production, de la manière de produire et de la finalité à produire. Il est apparu le concept de "technologie douce", en filigrane duquel nous essaierons de conclure notre travail.

En fait, il s'agit plutôt de formuler des interrogations, de situer des préoccupations que de fournir des réponses. Une première question est générale :

"Peut-on revenir à une économie de l'usage ?"

Une seconde question est dérivée de la première et porte directement sur notre sujet :

"La conception assistée par ordinateur et l'industrialisation ouverte peuvent-elles contribuer à favoriser un retour à une économie de l'usage ?"

### Quelle écologie ?

Définissons d'abord ce que recouvre le concept de "technologie douce". Cette définition porte sur deux aspects d'un produit : sa production et son utilisation.

Suivant le premier aspect, une technologie douce fournit des produits dont la fabrication implique une faible consommation d'énergie, c'est-à-dire des matériaux nécessitant des transformations simples et réduites. Le corollaire de cette caractéristique est qu'une telle technologie entraîne un coût de développement relativement faible, permet un recyclage aisé des matériaux, puisque leur faible transformation implique des procédés réversibles et porte peu atteinte à l'environnement en général, homme compris.

Suivant le second aspect, une technologie douce fournit des produits dont l'utilisation est "aussi autonome que possible", qui permettent une utilisation créative, une singularisation de l'utilisateur. Le corollaire de cette caractéristique est qu'une telle technologie nie toute normalisation de l'usage par des processus de planification et de fonctionnement centralisés. Ce concept porte donc essentiellement sur la valeur d'usage d'un produit, sur son utilité qui dans une compréhension extensive intègre son coût de production (coût écologique, coût social) ; nous verrons plus loin comment cela s'articule avec la valeur marchande de ce produit.

Les tenants de la convivialité, tels qu'Ivan Illich ou André Gorz, imaginent des seuils en deçà desquels une technologie serait douce et ne le serait plus au delà. Ils font la différence entre systèmes naturels autorégulés et systèmes programmés, en préconisant d'opter pour l'"autorégulation décentralisée" plutôt que pour l'"hétérorégulation centrale".

En dehors de la perplexité que suscitent la définition de tels seuils et la négation de toute centralité, cette proposition de choix ramène à une alternative essentiellement éthique la prédominance de la valeur d'usage d'un produit sur sa valeur marchande, ou la proposition inverse.

C'est avoir une vision un peu manichéiste du développement de l'humanité : l'économie marchande, dernière en date des formes d'organisation de l'humanité, n'est pas la manifestation d'un quelconque machiavélisme, mais une production humaine. Ce manichéisme masque le rapport dialectique homme-histoire humaine : les hommes font l'histoire et en sont le produit.

On commence à comprendre comment, avec la constitution des premiers surplus alimentaires et le complexe de l'homme à l'égard de la femme (l'inacceptation de son manque de contrô-

le sur sa filiation en tant que gage de perpétuation, face au lien privilégié et indubitable mère-enfant), est apparu le besoin d'appropriation (cf. "Le patriarcat", Ernest Borneman, PUF).

Ce besoin d'appropriation a engendré la propriété, qui elle-même a bientôt permis le troc. Puis l'humanité s'est lentement constituée (bien que d'une manière non-linéaire), l'économie marchande, dont le haut développement correspond à l'impasse où nous sommes.

On sait que l'économie marchande doit être dépassée par des changements structurels portant sur l'essence des lois du marché et à entreprendre par l'homme. Mais en même temps, l'homme est conditionné par la société dont il est issu et il continue de raisonner en termes mercantiles, d'appropriation, de privation de l'autre, de compétition.

Dans un de ses derniers livres, "Avoir ou être" (éd. Robert Laffont), Erich Fromm explique comment l'"hédonisme radical" s'est exprimé dans le capitalisme, organisation fondée sur la propriété privée, le profit et la puissance, avec la prétention de maîtriser complètement la nature et l'illusion d'avoir toujours plus. Il montre comment il en est résulté une rupture entre comportement économique et principes éthiques : "Le développement de ce système économique n'était plus déterminé par cette question : qu'est-ce qui est bon pour l'Homme mais par celle-ci : qu'est-ce qui est bon pour la croissance du système".

Fromm explique ensuite comment ce système produit un caractère social orienté vers le mode avoir, ce qui montre la fabuleuse inertie à un changement aussi profond que le retour à une économie de l'usage.

## Valeur d'usage, épanouissement humain et technologie

Le problème d'utilisation et de développement de la technique doit donc être posé par rapport au problème fondamental d'épanouissement de l'homme : jusqu'où faut-il collectiviser le travail pour arriver à un optimum économique non d'un point de vue mercantile, mais d'un point de vue philanthropique.

L'épanouissement par la créativité nécessite une certaine autonomie qui est en contradiction avec le travail collectif. L'optimum social passe donc par une remise en question de la division sociale et technique du travail. Les activités les plus concentrées, les plus collectivisées donc les moins autonomes sont à considérer comme les tâches nécessaires socialement et auxquelles chacun doit contribuer pour une part de son temps. Le problème n'est pas un choix éthique selon la liberté de chacun, mais un choix politique dans son sens large ("politikos" = de la cité) : choix de société, dépassement du mercantilisme.

Pour revenir à la question des seuils dont parlent les écologistes, si l'aspect quantitatif, d'échelle, existe par rapport à la créativité individuelle et au contrôle de sa propre production, il est néanmoins tout à fait secondaire. Le problème est avant tout qualitatif : comment répartir le surproduit du travail social ?

Puis, seulement se poseront les problèmes techniques de détermination des seuils, des coûts écologiques et sociaux, en distinguant la production concentrée de fin de processus (automobile, composant constructif) de la production concentrée de gros équipements (barrage, bateau) et de la production concentrée de début de processus (matières premières).

L'espoir réside dans la capacité qu'a l'homme de comprendre collectivement sa psychologie, de renoncer à satisfaire

essentiellement ses désirs matériels, d'en être saturé par le consumérisme, pour aspirer à trouver collectivement son bien-être et entreprendre cette transformation.

Les choses peuvent peut-être avancer à coup de petites (?) crises individuelles et sociales comme celle que nous semblons vivre.

### Beaucoup de bons logements

Regardons le rôle que pourraient jouer l'industrialisation par composants et la conception assistée par ordinateurs dans la perspective d'un retour à une économie de l'usage.

L'industrialisation par composants et toute branche de l'informatique ne sont évidemment ni l'une ni l'autre des technologies douces, au vu du moins de leurs conditions de production. Ceci malgré la démonstration faite au chapitre 3 des bonnes perspectives de financement du développement de l'industrialisation par composants, comparées à celles des autres formes d'industrialisation de la construction. Si l'industrialisation lourde était une technologie, l'industrialisation par composants est une procédure, un support logique, comme l'informatique est un support technologique. On a donc affaire à ce qu'on pourrait appeler des métatechnologies auxquelles leur nature respective et leur conjugaison donnent un caractère particulier concernant leur usage.

L'industrialisation par composants, par la souplesse qu'elle implique, permet une autonomie, au sens du deuxième aspect de la définition d'une technologie douce.

L'informatique, comme science de la gestion des informations, donc en particulier comme science de la répartition de ces informations, revêt aussi ce caractère d'autonomie.

La baisse des coûts de l'informatique, qui est très rapi-

de, et son développement par la télématique laissent présager une utilisation à terme notablement autonome.

Le problème que nous posons peut donc être reformulé de la manière suivante : 2 métatechnologies relativement centralisées peuvent-elles tendre à la décentralisation par leur utilisation généralisée ? C'est un peu notre pari.

Mais c'est un pari assorti d'un doute. L'expérience montre en effet qu'un raisonnement d'une grande rigueur logique appliqué au développement attendu d'un phénomène peut être complètement perverti par les lois du marché.

Si l'on se réfère par exemple à l'attitude des sociétés multinationales face aux pays sous-développés, où les problèmes d'équipements sont cruciaux, si l'on examine en particulier la question des transferts de technologie, les choses ne sont pas très réjouissantes.

Démentant tous les discours vantant le libéralisme, on constate qu'une maison-mère garde la maîtrise complète de son savoir technologique. Le transfert technologique ne se fait qu'au niveau de la manière d'utiliser le produit ; dans le meilleur des cas, lorsqu'il s'agit d'une filiale, ce transfert peut porter sur le procès de production.

Ce comportement, et d'une manière plus générale le développement des sociétés multinationales, correspond à la nécessité d'extension des marchés. Il a notamment pour conséquence d'engendrer, par une homogénéisation des techniques de production, une standardisation des habitudes de consommation, indépendamment de la non-homogénéité des niveaux de développement, des situations, des besoins (cf. C.A. Michalet dans *Universalis* 1976).

Il reste donc possible que des impératifs de profit ten-

dent à devoir "fermer" les applications de l'informatique et l'industrialisation par composants, c'est-à-dire à empêcher la réalisation des caractéristiques d'autonomie de ces deux technologies, pour protéger ou étendre un marché.

D'une manière plus directe, ce doute est confirmé si l'on prend l'exemple de la radio et de la télévision. La facilité de diffusion-réception et le faible investissement nécessaire pour émettre en font des technologies potentiellement douces à l'usage.

Elles pourraient fonctionner à l'échelle du quartier ou de la petite ville, comme support de la vie collective en étant un moyen de contact entre habitants et l'expression de leur créativité : informations pratiques, informations entre locataires, informations entre jeunes, informations entre travailleurs, musique, bricolage, cinéma amateur ... Au contraire, les états protègent avec vigueur leur monopole et leurs télévisions diffusent des programmes très centralisés souvent basés sur le vedettariat des présentateurs, des hommes politiques. Le vedettariat à l'égard du spectateur signifie la valorisation d'une certaine subjectivité primaire, télécommandée, substitutive au détriment du raisonnement et d'une subjectivité propre, épanouissant les sentiments individuels.

La radio et surtout la télévision sont donc plutôt aliénantes par conditionnement, même dans le cas des radios locales italiennes, dont le support est la publicité.

Face à ce doute maintenu, la question peut être précisée de la manière suivante :

"L'industrialisation par composants et la conception assistée par ordinateur peuvent-elles contribuer d'une manière manifeste à favoriser un retour à une économie de l'usage ?"

Dans son livre "Le logement est votre affaire" (Le Seuil) John Turner montre l'importance de la satisfaction psychique dans la notion de confort du logement, satisfaction psychique liée à la grande adaptabilité de l'homme.

Il en résulte que, si les problèmes économiques liés à la productivité sont importants, la question d'autonomie et d'usage est surtout une question de procédure de conception-réalisation des logements.

Ainsi, si l'on imaginait le système "SIGMA Industrialisation Ouverte" fonctionnant dans les bureaux d'architectes même de petites tailles, cela correspondrait à une certaine décentralisation propice à une meilleure adéquation problème architectural-solution. Il en résulterait une amélioration du produit sans changement fondamental de procédure.

Cette décentralisation, doublée d'une autonomie réelle, serait très fortement accrue dans une approche participative, qui elle, toucherait à la procédure par définition.

Une récente conférence des Nations Unies, sur les activités des populations, a fourni des estimations sur les besoins immédiats en logements.

En l'an 2000, la moitié de la population mondiale habitera dans les villes, contre 41 % actuellement. On comptera 60 villes de plus de 5 millions d'habitants, dont 45 dans le tiers-monde.

Il est évident que dans le tiers-monde, si cet afflux de population urbaine peut-être partiellement freiné, on ne résoudra néanmoins pas la question par l'autoconstruction, ni par un "SIGMA-Industrialisation Ouverte" importé d'un pays industrialisé. Celui-ci ne garantirait ni l'autonomie du pays, ni l'autonomie des individus.

On pourrait par contre imaginer des systèmes "SIGMA-Industrialisation Ouverte" locaux, constitués à partir de composants locaux. La caractéristique d'ouverture de ces composants permettrait l'automontage, ce qui garantirait la capacité d'investissement des habitants dans leur logement et la faculté de la modeler selon leurs besoins précis. Ces composants seraient livrables dans des magasins où un petit système informatique gérerait le stock, le répertoire et les instructions de montage.

Finalement, notre travail correspond à une amélioration quantitative mais surtout qualitative de la production de logements. En tant que travail de recherche, il a un certain intérêt, mais il ne peut être dissocié de la question générale, introduite dans la première partie de cette conclusion et par laquelle il est même hypothéqué.

Une partie de cet intérêt réside dans le caractère relativement innovateur de notre travail, reflété par les difficultés auxquelles nous nous sommes trouvés confrontés.

Une seconde partie de cet intérêt porte sur l'avenir de la discipline que nous avons abordée.

La grande difficulté résidait dans le fait qu'il nous fallait à la fois définir une partie liée au domaine de la construction et une autre partie liée au domaine de l'informatique.

Si l'on a par exemple un système constructif dont les composants sont définis et où les tâches que l'on veut réaliser sont également définies, il est possible d'en déduire la définition d'un système informatique, de choisir un matériel et un logiciel.

Inversément, si l'on dispose d'un système informatique

que l'on a envie d'utiliser comme outil d'aide à la conception architecturale par composants industrialisés, les caractéristiques matérielles et logicielles de ce système permettent de définir le nombre et la complexité des composants et des tâches que l'on veut décrire.

Notre recherche documentaire auprès d'entreprises constructrices de systèmes de construction a montré qu'aucun système ne correspondait à ce que nous cherchions. Elle a confirmé le fait que l'industrialisation par composants est une procédure, une métatechnologie, plutôt qu'une technologie.

S'il est relativement facile de modéliser et de décrire des composants constructifs et leurs règles d'assemblage lorsqu'ils sont définis, il en est tout autrement face à une procédure devant fonctionner avec des composants qui ne sont pas encore définis.

Il nous a fallu alors imaginer un modèle général de composant qui ne soit ni trop trivial évidemment, ni trop précis, auquel cas il perdrait son caractère de généralité, d'ouverture.

Afin de ne pas sombrer dans un travail purement théorique et détaché du concret de la production de bâtiments, nous avons défini quelques composants comme illustration de notre modélisation. Il en est résulté une certaine simplification des phénomènes et des objets par rapport à la complexité réelle du domaine, qui est peut-être inhérente à tout domaine de recherche relativement neuf.

L'essentiel était de proposer une modélisation, un mode de faire, dont tout le processus de développement reste à faire.

Sur le plan informatique aussi, nous avons cherché à

montrer que les moyens logiciels actuels permettaient de traduire la modélisation des composants que nous avons proposée, sans aller jusqu'à la programmation des outils informatiques. Là encore la mise en oeuvre est une tâche qui reste à faire.

Que notre travail n'ait pas de résultats immédiats dans la pratique des architectes, ne leur fournisse pas des outils directement utilisables, ne dépend pas seulement de ces tâches de développement et de mise en oeuvre qui restent à faire. Cela dépend surtout de conditions extérieures. Peut-être que d'une part, les laborieux efforts de concertation entrepris dans différents pays ne dépasseront jamais une coordination modulaire pour aboutir à une typification des assemblages et, qu'en conséquence l'industrialisation ouverte ne se développera jamais.

Peut-être que d'autre part la réticence des architectes à la pénétration de l'informatique dans les bureaux sera un frein énorme. Et cette pénétration ne se fera d'abord que pour des tâches de gestion et de calcul, sans impact sur la conception et donc sans amélioration possible de la qualité.

De toute façon, notre idée-force repose sur la conjugaison de la conception architecturale assistée par ordinateur et de l'industrialisation ouverte. Imaginer l'une sans l'autre, c'est se placer dans un tout autre contexte.

Peut-être enfin que, face à ces difficultés et face à la nécessité de construire beaucoup de bons logements, le développement conjugué de la conception architecturale assistée par ordinateur et de l'industrialisation ouverte n'est-il pas la plus prioritaire des voies possibles.

Ce développement est une solution partielle envisageable, sinon souhaitable ; son opportunité que nous avons tenté de

montrer se vérifiera peut-être d'ici la fin de ce siècle.

Nyon, septembre 1980



LEXIQUE

★ dans le texte

Alphanumérique	qualifie un caractère, un code, un dispositif (clavier, imprimante), une donnée appartenant à ou représentée par un alphabet dont les éléments peuvent être des lettres, des chiffres, des symboles et autres signes spéciaux.
Allocateur spatial	programme exécutant une allocation spatiale, c'est-à-dire le placement dans un espace à deux ou trois dimensions d'un ensemble d'objets, eux-mêmes définis en deux, respectivement trois dimensions.
Base de données	ensemble structuré de fichiers regroupant les informations nécessaires au traitement d'une ou plusieurs applications ; par exemple base de données organisée pour la gestion du personnel, des congés, de la paye au sein d'une entreprise, ou base de données documentaires. Plusieurs bases de données peuvent être organisées en banque de données.
Ecran cathodique	terminal d'entrées-sorties ou de sorties d'informations, qui sont soit sous forme alphanumérique, soit sous forme alphanumérique et graphique.
Entrée	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Donnée ou information transférée ou à transférer dans un ordinateur à partir du monde extérieur.</li> <li>2. Opération de lecture et stockage des données dans un ordinateur, un terminal.</li> <li>3. L'appareil de lecture ou les appareils nécessaires à l'introduction des données dans l'ordinateur.</li> <li>4. En programmation, désigne l'une des adresses par laquelle on entre dans un sous-programme. Dans cette acception, le terme anglais est : "entry" ou "entry point".</li> </ol> <p>Le terme s'emploie souvent au pluriel.</p>
Espace virtuel	généralement synonyme de mémoire centrale virtuelle, ce terme peut être employé pour désigner une mémoire virtuelle sur disques ou tambours magnétiques.
Fichier	collection organisée d'informations de même nature et pouvant être utilisées dans une même application ou un même traitement. L'information d'un fichier d'ordinateur peut être l'exact transposition d'archives écrites. La structure d'un fichier est ce-

pendant très rigide ; la codification, le format des articles, le classement des informations dans l'article sont préétablis. D'un point de vue technique, un fichier se caractérise par :

- le support d'information et le mode d'accès,
- son volume et sa fréquence d'utilisation,
- sa pérennité liée au taux de mise à jour.

Graphe	(pris par nous comme synonyme de "graphe non orienté", à l'instar des auteurs anglo-saxons) ensemble de points (appelés sommets) et de lignes non orientées (appelées arêtes) joignant certaines paires de points.
Interactivité	caractère d'un programme écrit en langage conversationnel.
Interface	1. Connexion entre deux équipements réalisant des fonctions différentes. Une interface permet d'enchaîner ces fonctions. 2. Dispositif ou organe placé entre deux appareils ou deux systèmes de traitement de l'information et assurant les échanges de l'un à l'autre.
Langage	<p>le mot "langage" a une signification proche du mot courant "langue" pris dans le sens "langue que l'on parle". Il peut être défini comme un moyen d'expression de la pensée mis en oeuvre par la parole ou des signes matériels comme l'écriture. Moyen d'expression d'une communauté linguistique et facilitant l'échange d'information entre les individus, il est soumis à des règles non ambiguës de syntaxe ou de grammaire. Aux mots du langage sont associées des valeurs sémantiques.</p> <p>Le terme langage est utilisé plus particulièrement lorsque les individus ne sont pas des êtres humains, par ex. :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- le langage des abeilles ;</li><li>- les langages de programmation utilisés pour transmettre des instructions à un ordinateur.</li></ul> <p>On oppose les "langages naturels" (ou langues naturelles) aux "langages formels" qui possèdent des propriétés algébriques particulières.</p>
Langage conversationnel	Langage utilisé en temps partagé pour une programmation immédiate s'effectuant en

"dialogue" avec l'ordinateur. Chaque instruction de programme frappée sur le clavier d'un téléimprimeur est compilée de façon incrémentielle au moment même de son écriture.

L'analyse syntaxique de l'instruction se fait alors immédiatement et permet une correction rapide en cas d'erreur de forme. Lors de la mise au point, le programmeur peut arrêter son programme sur une instruction quelconque, apporter des modifications en écrivant des instructions qui seront exécutées immédiatement, puis faire poursuivre l'exécution de son programme sans relancer une compilation totale du programme, suivie d'une exécution comme lors d'une mise au point classique.

#### Logiciel

ensemble des programmes, procédés et règles, et éventuellement de la documentation, relatifs au fonctionnement d'un ensemble de traitement de l'information.

#### Matériel

"ensemble des éléments physiques employés pour le traitement de l'information." Ces éléments physiques sont par exemple des circuits de microélectronique, des machines à écrire, des disques magnétiques, des mémoires centrales, des ordinateurs, mais aussi les appareillages de transmission de données : lignes, terminaux, multiflexeurs, capteurs d'information, etc.

Plus généralement le mot matériel désigne tous les constituants, les parties techniques et technologiques des ordinateurs et des systèmes associés, par opposition au logiciel qui désigne les parties immatérielles, langages et programmes.

#### Mémoire

1. Faculté d'acquérir, de conserver, et de restituer de l'information.
2. Organe ou dispositif mécanique, électromécanique ou électronique employé dans la construction d'un ordinateur et qui possède des facultés de mémorisation : enregistrer, conserver, restituer une certaine quantité d'information codée.

Le bit étant le plus petit élément d'information, une mémoire est constituée par un assemblage de dispositifs physiques susceptibles de prendre et de conserver au moins deux états stables ou permanents figurant par convention 0 et 1.

Dans un ordinateur, on distingue :

- des mémoires "internes" ou "externes", "centrales" ou "auxiliaires", à "accès direct" ou "séquentiel" ;
- des mémoires "actives" dans lesquelles la fonction d'enregistrement est sous la dépendance d'instructions programmées ;
- des mémoires "mortes" (ou "fixes") dans lesquelles la fonction d'enregistrement est inutilisable par programme : l'information contenue dans de telles mémoires y a été enregistrée une fois pour toutes par des programmes spéciaux.

Une mémoire est caractérisée principalement par :

- sa capacité, exprimée en nombre de bits, de caractères ou de mots ;
- son temps d'accès ;
- son système d'adressage.
- Mémoire auxiliaire : mémoire ne faisant pas partie de l'unité centrale de l'ordinateur (bande, disque, ...). Une mémoire auxiliaire est connectée à l'ordinateur et opère sous son contrôle ; elle stocke une quantité d'informations plus importante que la mémoire centrale mais le temps d'accès est plus élevé.
- Mémoire centrale : mémoire à accès direct et temps d'accès très faible ; on y stocke le ou les programmes en cours d'exécution et les données en cours de traitement.

### Périphérique

Se dit d'un appareil électromécanique connecté à un ordinateur et travaillant sous son contrôle. Ces organes externes sont des organes d'entrées-sorties (lecteurs de cartes, imprimantes) et des mémoires auxiliaires (dérouleurs de bandes magnétiques ; unité de disques magnétiques).

A la différence d'un périphérique placé auprès de l'ordinateur, un terminal est situé à distance, même s'il remplit des fonctions similaires.

### Photostyle

dispositif permettant d'introduire dans un ordinateur les coordonnées d'un point sur un visuel. Ce "crayon lumineux" connecté à l'ordinateur est un petit cylindre portant une cellule photoélectrique à son extrémité. Placé devant un point d'un écran cathodique, il émet un signal lors du passage du faisceau lumineux du tube de télévision et dé-

signe ainsi à l'ordinateur le point de l'écran.

Des programmes appropriés donneront une persistance lumineuse au point désigné : on pourra donc tracer des courbes, dessiner des figures, en déplaçant le photostyle le long de la surface de l'écran. Connexés à l'ordinateur et utilisés grâce à des programmes spéciaux, les photostyles associés aux écrans cathodiques constituent des entrées-sorties graphiques utilisées en architecture, en ingénierie, en arts graphiques, etc.

Programme	ensemble ordonné d'instructions codées dans un langage donné et décrivant les étapes menant à la solution d'un problème. Introduit dans l'ordinateur, il est exécuté et fournit, à partir des données, la solution du problème posé.
Sortie	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Information, résultat de calcul, élaboré par un ordinateur et transmis par une imprimante, un téléimprimeur, un visuel.</li><li>2. Transfert d'information d'un ordinateur vers un terminal, d'une mémoire centrale vers une mémoire auxiliaire.</li></ol>
Système d'exploitation	ensemble de programmes dont l'objet est de gérer les ressources de l'ordinateur, en assurant, en outre, l'enchaînement des travaux, la commande des entrées-sorties, la comptabilité d'exploitation, l'attribution des mémoires.
Table de digitalisation	terminal permettant une entrée de données à partir d'une image graphique dont les points sont automatiquement codés. Un tel terminal est parfois en même temps une table traçante.
Table traçante	terminal permettant une sortie de résultats graphiques réalisés à la plume sur du papier qui peut être du calque.
Téléinformatique	terme générique qui vise à regrouper sous un même vocable les techniques spéciales de communication, de transmission de données, de traitement de l'information à distance, et de leurs applications. Plus généralement, la téléinformatique a pour objet de transmettre d'un lieu à un autre des données reçues ou émises par des ordinateurs, sans en altérer le sens. Pendant la transmission les données peuvent

cependant subir toute modification de format pour adaptation aux caractéristiques du réseau de télécommunications utilisé. La téléinformatique permet l'accès direct à l'ordinateur, la constitution de vastes réseaux par l'interconnexion de systèmes informatiques et de dialogue homme-machine à distance.

#### Temps réel

"mode de traitement qui permet l'admission des données à un instant quelconque et l'obtention immédiate des résultats."

Le mode de traitement en temps réel caractérise le fonctionnement d'un ordinateur en prise directe avec un phénomène dont il contrôle le déroulement et parfois dirige l'évolution. Il en est ainsi du contrôle de processus industriel (unités de distillation, fours, etc.).

Le temps de réponse est d'ailleurs variable selon le phénomène à contrôler :

- pour un réacteur atomique, la réponse en temps réel peut être limitée à quelques millièmes de seconde ;
- les calculs de guidage d'un engin entre deux points de trajectoire doivent être effectués en quelques centièmes de seconde.

Par extension, est qualifié de temps réel le mode de fonctionnement de certaines applications de gestion qui entraîne un temps de réponse de quelques secondes :

- contrôle de transactions telles que réservations de places, gestion de comptes bancaires ;
- gestion des stocks d'un magasin.

Le "monitoring", ensemble des matériels, dispositifs et procédures de surveillance médicale automatique des malades hospitalisés, relève aussi d'un fonctionnement en temps réel.

#### Terminal

appareil périphérique, le plus souvent organe d'entrée-sortie, relié à un ordinateur par une ligne de transmission de données à distance.

On distingue commodément les terminaux légers des terminaux lourds.

1. "Les terminaux légers", connectés en permanence à l'ordinateur, transmettent peu d'informations, mais avec des délais de réponse très courts. Ils sont utilisés dans le cas de travaux en temps partagé.

- Parmi les terminaux légers, on trouve :
- les téléimprimeurs électromécaniques (comme le télétype ASR 33) et les postes de télex - vitesse d'impression : 10 à 60 caractères par seconde ;
  - les unités de visualisation avec clavier - vitesse d'affichage de 120 à 240 c/s, auxquelles on peut adjoindre des dispositifs d'impression sur papier ou des lecteurs-enregistreurs sur minicassettes.

Si le téléimprimeur ou le visuel est muni d'une mémoire-tampon et d'une logique, câblée ou programmée, il est possible de l'équiper de périphériques divers : petits traceurs de courbes, lecteurs de cartes, lecteurs de badges...

2. "Les terminaux lourds" assurent la transmission de données pour des traitements par lots à distance. Le volume d'information est important et stocké sur cartes perforées ou sur bandes magnétiques. Ces terminaux peuvent assurer certains des traitements sur place.

- Les terminaux lourds les plus simples sont composés d'au moins un lecteur de cartes, d'une imprimante et d'un pupitre de commande assurant des fonctions de contrôle. Plages de vitesse : 100 à 500 cartes/mn en entrée et 100 à 600 lignes/mn en sortie.
- Les terminaux lourds à logique programmée, dits parfois "intelligents", sont construits autour d'un miniordinateur et possèdent un large éventail de périphériques (bandes magnétiques, tables traçantes, etc.). Un terminal "intelligent" peut, à l'aide de programmes adéquats, être connecté à des ordinateurs de types différents.
- Enfin des terminaux lourds peuvent être constitués par des petits ou moyens ordinateurs et être utilisés comme satellites dans les réseaux d'ordinateurs.

#### Temps partagé

mode d'utilisation d'un ordinateur ou d'un ensemble d'ordinateurs interconnectés, tel que plusieurs utilisateurs les emploient simultanément, chacun pour son propre travail, en s'ignorant et apparemment sans conflit.

Ce type d'utilisation se fait par l'intermédiaire de terminaux opérant en télétraitement.

Il assure une pleine utilisation donc une

meilleure rentabilité des ordinateurs et  
fournit momentanément à un utilisateur une  
puissance de calcul supérieure à ses besoins  
courants.



BIBLIOGRAPHIES

a. Rationalité et technologie

- (1) Popper K.  
La logique de la découverte scientifique
- (2) Bachelard G.  
La formation de l'esprit scientifique
- (3) Tzonis A.  
Vers un environnement non-oppressif  
Mardiaga Liège
- (4) Piaget J.  
La psychologie de l'intelligence
- (5) Francastel P.  
Art et technique  
Denoël Paris
- (6) Moscovici S.  
Essai sur l'histoire humaine de la nature  
Flammarion Paris
- (7) Conti L.  
Qu'est-ce que l'écologie  
Maspero Paris
- (8) Illich I.  
La convivialité  
Seuil Paris
- (9) Bosquet M. (Gorz A)  
Ecologie et liberté  
Ed. Galilée Paris 1977
- (10) Lefebvre H.  
Vers le cybernanthrope  
Denoël Paris
- (11) Maldonado T.  
Environnement et idéologie  
10-18 Paris
- (12) Giedon S.  
Mechanization takes command
- (13) Giedon S.  
Time, space and architecture
- (14) Habermas J.  
La technique et la science comme idéologies

- (15) Bordiga A.  
Espèce humaine et croûte terrestre  
Payot
- (16) Z'Graggen F.J.  
Crise, écologie, cybernétique "Technique et Architecture"  
no 315

b. Théorie et histoire de l'architecture

- (1) Kopp D.  
Ville et révolution  
Anthropos Paris
- (2) Kopp A.  
Changer la vie, changer la ville  
10-18 Paris
- (3) Butler R., Noisette P.  
De la cité ouvrière au grand ensemble  
Maspero Paris
- (4) Collectif EPF-Z  
Logement et grand capital  
Adversaire Genève
- (5) Preteceille E.  
La production des grands ensembles  
Mouton Paris
- (6) Sartoris A.  
L'architecture nouvelle  
Hoepli
- (7) Hamburger B. J.L. Vénard  
Série industrielle et diversité architecturale  
La documentation française Paris
- (8) Alexander C.  
Une expérience d'urbanisme démocratique  
Seuil Paris 1976
- (9) Lerona R.  
Ecologie humaine-science de l'habitat  
Eyrolles Paris
- (10) Blachère R.  
Savoir bâtir  
Eyrolles Paris
- (11) Mumford L.  
La cité à travers l'histoire
- (12) Poëte M.  
Introduction à l'urbanisme
- (13) Argon G.  
Condizioni storiche dell-urbanistica
- (14) Gallion, Eisner  
The urban pattern  
Nostrand New York

(15) Benevolo L.  
Corso di disegno  
Laterza Milan

c. Rationalisation et industrialisation

- (1) Van Bogaert G., Kohler N.  
Catalogue de l'exposition sur l'industrialisation de la construction  
EPF-L
- (2) Ciribini G.  
Pour une théorie de la normalisation dynamique  
IF Octobre 1970
- (3) Ciribini G.  
Espaces et pièces composantes : l'ordinateur et l'industrialisation de la construction  
IF Octobre 1971
- (4) Movskin J.  
Normalisation et industrie de la construction  
IF Octobre 1970
- (5) Spillenkoten R., Remmer J.  
Quelques réflexions sur les avantages, les risques et les facteurs économiques inhibant leur développement dans une économie compétitive  
IF Octobre 1970
- (6) Koncz  
Traité de la préfabrication
- (7) Provisor H.  
Pôles et perspectives de l'industrialisation du bâtiment  
Ministère de l'Équipement et Université de Grenoble
- (8) Provisor H.  
Recherche-action appliquée à l'industrie du bâtiment
- (9) Provisor H.  
L'industrialisation dans le bâtiment : éléments pour un bilan critique
- (10) Provisor H.  
Les grands groupes industriels devant l'industrialisation du bâtiment  
Ministère de l'Équipement et Université de Grenoble
- (11) Schmid T., Testa C.  
Constructions modulaires  
Artemis Zurich

- (12) Bernard P.  
Une politique de composants compatibles  
Ministère de l'Équipement Paris
- (13) Nardi G.  
Progettazione architettonica per sistemi et componenti  
Franco Angeli
- (14) Litz H.  
Technique de la coordination modulaire  
Eidg. Forschungskommission Wohnungsbau

d. Informatique et conception assistée par ordinateur

- (1) Moore Gary T. (éd.)  
Emerging methods in environmental design and planning  
MIT Press. Cambridge Mass. 1970
- (2) CMMI/IE (éd.)  
Analyse des données en architecture et urbanisme  
no spécial nov. 1972
- (3) Eastman Charles (éd.)  
Spatial Synthesis in Computer-aided building design  
Applied science publ. Londres 1975
- (4) The Design Methods Group first International Conference  
on design methods  
MIT Cambridge Mass. juin 1968
- (5) IRIA (éd.)  
Journées informatique et conception en architecture  
Rocquencourt, 28-29 janvier 1971
- (6) Mitchel William J. (éd.)  
Environmental design : research and practice  
proceeding of EDRA 3 : 3rd International EDRA Conference  
UCLA janvier 1972
- (7) CMMI/IE (éd.)  
Notes méthodologiques en architecture et urbanisme no 2  
Séminaire sur l'allocation spatiale en architecture  
Institut de l'Environnement Paris 9-12 mai 1973
- (8) CMMI/IE (éd.)  
Séminaire informatique et conception en architecture  
Institut de l'Environnement Paris 4-5 sept. 1975
- (9) CAD 74  
IPC Science and Technology Press 1974  
proceeding of International Conference on computers in  
engineering and building design  
Imperial College Londres 25-21 sept. 1974
- (10) DMG 3 : third International Conference of the Design  
Method Group Berkeley Californie 7-9 juillet 1975
- (11) Association suisse pour l'Automatique (ASSPA)  
Journées d'information : Aides à la création  
Uni II Genève 25-26 sept. 1975
- (12) CAD 76  
IPC Science and Technology Press 1976  
proceeding of International Conference on computers in  
engineering and building  
Imperial College Londres 23-25 mars 1976

- (13) Workshop on computer representation of physical systems  
Carnegie - Mellon University Pittsburg Penn. 5-6 août  
1976
- (14) Kaufmann A.  
Perspective de la théorie des sous-ensembles Flous dans  
la construction de modèles de stimulation inventive en  
dialogue homme-machine dans Aides à la création (11)
- (15) Simon H.  
The structure of ill-structured problems  
Artificial intelligence 4, 1973
- (16) Simon H.  
Style in design dans Spatial synthesis (3)
- (17) Krakowiak S.  
Enseignement de la programmation, présentation générale  
Séminaire de programmation USMG Grenoble
- (18) Latombe J.C.  
Artificial intelligence in computer-aided design :  
The TROPIC System  
proceeding of IFIP Working Conference Austin Tex  
février 1976
- (19) Latombe J.C. (éd.)  
Artificial intelligence and pattern recognition in  
computer-aided design proceeding of IFIP Working  
Conference  
Université scientifique et médicale et Institut national  
polytechnique de Grenoble 17-19 mars 1978
- (20) Gasparsky W.  
The design activity as a subject of studying - the design  
methodology in DMG - DRS Journal oct.-déc. 1973
- (21) Borillo Mario  
Analyse sémantique et opérations logiques dans la con-  
ception de l'aménagement : élaboration d'une méthode  
pour l'étude du caractère méditerranéen  
GAMSAU bulletin juin 1970
- (22) Eastman C.  
Cognitive processes and ill-structured problems : a case  
study from design in Seminaire informatique et concep-  
tion en architecture
- (23) Eastman C.  
On the analysis of intuitive design processes in  
Emerging methods (1)

- (24) Archer B.  
An overview of the structure of design processes in  
Emerging methods (1)
- (25) Jones J.C.  
The state of art in design methods in  
Emerging methods (1)
- (26) Maver T.W.  
Appraisal in the building design process in  
Emerging methods
- (27) Alexander C.  
De la synthèse de la forme  
Dunod Paris 1971
- (28) Alexander C., Chermayeff S.  
Intimité et vie communautaire
- (29) Alexander C.  
Systems generating systems  
in Architectural design déc. 1968
- (30) Alexander C., Ishikawa S., Silverstein M.  
A pattern language which generates multi-service centers  
Center of Environmental Structure Berkeley Californie  
1968
- (31) Alexander C., Poyner B.  
The atoms of environmental structure  
in Emerging methods (1)
- (32) Negroponte N.  
The architecture machine  
MIT Press 1970
- (33) Negroponte N.  
The Semantics of architecture machines  
in Journées informatiques et Conception en architecture
- (34) Rittel H.  
Some principles for the design of an educational system  
for design  
in DMG-DRS Journal avril-juin 1973
- (35) Rittel H.  
The state of the art in design methods  
in DMG occasional paper janvier 1972
- (36) J.A. Baer  
Methodische Probleme des Computergestützten Architekturen-  
wurfs  
EPF-Z

- (37) Alexander C., Manheim M.  
Hidecs 2  
Dpt of Civil Engineering MIT 1962
- (38) Alexander C.  
Hidecs 3 : Four computer programs for the hierarchical decomposition of systems which have an associated linear graph  
Dpt of Civil Engineering MIT juin 1963
- (39) Bierstone E., Bernholtz A.  
Hidecs-recomp procedure  
Dpt of Civil Engineering MIT mars 1967
- (40) Bernholtz A., Bierstone E.  
L'étude plus poussée des projets grâce à l'ordinateur  
Cahiers du CSTB no 99, mai 1969
- (41) Maroy J.P.  
Une méthodologie du projet en architecture : le programme PROMET  
Dpt d'Informatique Appliquée IRIA janvier 1971
- (42) Maroy J.P.  
Une utilisation de l'analyse des données dans la conception architecturale in Journées informatiques et Conception architecturale (5)
- (43) Milne M.  
CLUSTER : A structure finding algorithm  
in Emerging methods (1)
- (44) Maroy J.P., Peneau J.P.  
Analyse des données et conception en architecture  
IRIA bulletin no 13, sept. 1972
- (45) Maroy J.P., Peneau J.P.  
Deux exemples de traitement de données en architecture utilisant l'analyse factorielles des correspondances  
in Analyse des données
- (46) Maroy J.P.  
Introduction aux méthodes de Cluster  
in Analyse des données (2)
- (47) Eastman C.M.  
Automated space planning and theory of design : a review  
in proceeding of the international computers symposium  
European chapter of the ACM Venise avril 1972
- (48) Boudier J.P., Charalambidès S., Fourcade A.M., Lafue G.  
Six programmes d'allocation spatiale  
in Séminaire sur l'allocation spatiale (7)

- (49) Boudier J.P., Charalambidès S., Fourcade A.M., Lafue G.  
Analyse de programmes d'allocation spatiale  
in Séminaire sur l'allocation spatiale (7)
- (50) Eastman C.M.  
The scope of computer-aided building design  
in Spatial Synthesis
- (51) Eastman C.M.  
Représentation for space planning  
in Séminaire informatique et conception en architecture  
(8)
- (52) Maroy J.P.  
Description d'espaces pour les problèmes d'allocation  
spatiale  
in Séminaire sur l'allocation spatiale (7)
- (53) Willoughby T.  
Computer-aided building plans : a generative approach  
Official architecture and planning (OAP) sept. 1970
- (54) Willoughby T.  
A generative approach to computer aided planning :  
a theoretical proposal  
Computer-aided design, juillet 1970
- (55) Willoughby T.  
A rational approach to design  
Une approche raisonnée de l'emploi des ordinateurs dans  
la conception de plans de bâtiment  
in Séminaire sur l'allocation spatiale (7)
- (56) Mitchell W.J.  
Domino : un programme d'aide à la conception  
Gamsau bulletin 2, 4 déc. 1972
- (57) Boudier J.P., Charalambidès S.  
Un exemple de programme d'allocation spatiale : l'algo-  
rithme de Mitchell  
CMMI/IE Architecture et méthodologies no 2 mars 1974
- (58) Billon R.  
Un pas vers la conception automatique : le programme  
LOKAT  
Gamsau bulletin mai 1971
- (59) Oubrerie J., Pietri P.  
Un outil méthodologique d'aide à la conception : CIMBLEZ  
Gamsau bulletin 1, 4 mai 1971

- (60) Pietri P.  
Un programme conversationnel d'aide à la conception architecturale : CIMBLEZ  
in IRIA colloques 2, Journées graphiques 1973
- (61) Whitehead B., Elders M.Z.  
The planning of single-storey layouts  
Building science vol. 1, sept. 1965
- (62) Maroy J.P.  
Le programme URBA : une combinatoire d'éléments architecturaux préfabriqués en volume  
IRIA, Dpt. informatique appliquée 1969
- (63) Gero J.S.  
Dynamic programming the C.A.D. of building  
in CAD 76 (12)
- (64) Eastman C.M.  
G.S.P. : a system for computer assisted space planning  
proceeding of 8th Annual design automation workshops  
Atlantic city, juin 1971
- (65) Eastman C.M.  
A preliminary report on a system for general space planning  
in Séminaire informatique et conception en architecture (8)
- (66) Eastman C.M.  
Automated space-planning  
Artificial intelligence 4, no 1, 1973
- (67) Pfefferkorn C.E.  
The design problem solver : a system for designing equipment or furniture layouts  
in Spatial synthesis (3)
- (68) Weinzapfel G., Johnson T.E.  
IMAGE : un programme utilisé dans la conception par ordinateur  
GAMSAU bulletin 2, 4 déc. 1972
- (69) Negroponte N., Groisser L.  
URBAN 5 : a machine that discuss urban design  
in Emerging methods (1)
- (70) Kaiman L.  
ARK 2 : un système d'aide à la conception par l'ordinateur  
GAMSAU bulletin 2, 4 déc. 1972

- (71) Stewart C.D., Kaiman L.  
Système ARK 2 ; à 54 ans, une agence d'architecture  
peut-elle trouver un bonheur idyllique avec un système  
conversationnel ?  
CMMI/IE Architecture et méthodologies no 7, mars 1976
- (72) Hoskins E.M., Arschavir A.L. et als.  
Computer aids for system building with an outline of  
the OXSYS system.  
Applied Research of Cambridge, Cambridge GB, nov. 1973
- (73) Richens P.  
OXSYS : computer-aided building for Oxford Method  
in CAD 74 ( 9 )
- (74) Richens P.  
New developments in the OXSYS system  
in CAD 76 (12)
- (75) Applied Research of Cambridge, Cambridge GB (éd.)  
Integrated computer-aided building and the OXSYS project
- (76) Applied Research of Cambridge, Cambridge GB (éd.)  
OXSYS démonstration
- (77) Richens P.  
OXSYS BDS basic principles  
Applied Research of Cambridge, Cambridge GB
- (78) Applied Research of Cambridge, Cambridge GB (éd.)  
Infrastructure software for integrated system development
- (79) Eastman C.M.  
The concise structuring of geometric data for computer  
aided design  
Inst. of Physical Planning, Carnegie-Mellon University  
Pittsburgh Pa EU nov. 1975
- (80) Eastman C.M.  
General purpose building description systems  
Computer-aided design 8, 1 janv. 1976
- (81) Eastman C.M., Henrion M.  
Language for a design information system  
in Computer representation
- (82) Baer A., Eastman C.M.  
The consistency of integrated databases for computer-  
aided design  
in Computer representation
- (83) Lafue G.  
Recognition of shapes from their orthographic projections  
in Computer representation

- (84) Rivero V.  
Etude méthodologique de l'aide à la conception dans les  
projets architecturaux  
Rapport DEA Université scientifique et médicale de  
Grenoble, sept. 1973
- (85) David B.  
Aspect graphique d'un système conversationnel pour la  
conception architecturale assistée par ordinateur  
Journées graphiques IRIA-AFCET 1973
- (86) Z'Graggen F.J.  
Vers une conception scientifique du logement : produc-  
tion systématique de plans-masses à l'aide de l'ordina-  
teur  
Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, mars 1974
- (87) David B., Rivero V.  
An approach to computer aided architectural design  
in CAD 74
- (88) David B., Rivero V.  
An approach to computer-aided design  
in proc. Informatica 74 Bled Yougoslavie oct. 1974
- (89) Lebet J., Zanelli F.  
Vers une conception scientifique du logement : produc-  
tion systématique de groupements de logements à l'aide  
de l'ordinateur.  
Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, mars 1975
- (90) David B., Rivero V., Z'Graggen F.J.  
Apports de l'informatique à l'architecture et à l'urba-  
nisme  
Séminaire à l'Ecole d'Architecture de l'Université de  
Genève 5 juin 1975
- (91) David B.  
Pour une généralisation des systèmes CAO  
Approche et applications  
Thèse de 3e cycle USMG Grenoble  
Octobre 1975
- (92) David B., Rivero V., Villamayor R., Z'Graggen F.J.  
AGGLO : Automatique Générative de Groupements de Loge-  
ments  
Informatica 75 Bled Yougoslavie  
Octobre 1975
- (93) Zanelli F., David B., Rivero V., Z'Graggen F.J.  
A subsystem of SIGMA-ARCHI for dwelling design  
Informatica 76 Bled Yougoslavie  
Octobre 1976

- (94) Zanelli F.  
La conception architecturale assistée par ordinateur :  
Présentation d'un système  
Werk/oeuvre Octobre 1976
- (95) David B., Lespinasse P., Rivero V., Villamayor R.,  
Zanelli F., Z'Graggen F.J.  
SIGMA-Archi : un Système Interactif Graphique pour Mé-  
thodes d'Aide à la Conception Architecturale in  
Panorama de la nouveauté informatique en France  
Congrès AFCET Gif-sur-Yvette 3-5 novembre 1976
- (96) Rivero V.  
Une contribution à la conception architecturale assistée  
par ordinateur : le système SIGMA-ARCHI  
thèse USMG Grenoble 7 juin 1977
- (97) David B., Z'Graggen F. et as  
Une approche pour l'élaboration d'un système pour la  
conception assistée par ordinateur  
ASSPA international Conference Fribourg oct. 1976  
publié dans Overlapping tendencies in Operational  
research, systems theory and cybernetics
- (98) David B., Zanelli F., Z'Graggen F.J.  
Teaching CAD in an architectural school with the SIGMA-  
ARCHI system  
International conference Teeside Polytechnic Middles-  
brough GB 13-15 juillet 1977
- (99) David B., Zanelli F., Z'Graggen F.J.  
Computer-aided architectural design : SIGMA-ARCHI system  
IFAC conference Le Caire nov. 1977
- (100) David B., Z'Graggen F.J.  
The SIGMA-ARCHI system applied to open type industria-  
lization  
PARC 79 Berlin 7-10 mai 1979
- (101) Eastman C., Baer A.  
Database features for design information system in  
Workshop on databases for interactive design  
Université de Waterloo Canada sept. 1975
- (102) Eastman C.  
Databases for physical system design : a survey of U.S.  
efforts  
in CAD 76
- (103) Brun J.M., Théron M.  
EUCLID : un langage graphique tridimensionnel  
in Aménagement de l'environnement et traitement de  
l'information  
Institut de l'Environnement juin 1971

- (104) Yannakopoulos D.  
EUKLID Anleitung  
EPFZ été 1974
- (105) Perspectives automatiques : PERS-5  
Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement  
Aix-en-Provence fév. 1975
- (106) Autran J., Frégier M., Loisy J.L.  
ARLANG : métalangage de programmation à l'usage des  
architectes  
GAMSAU bulletin 2, 3 fév. 1975
- (107) Billon R., Guenoche A., Virbel J.  
Problèmes méthodologiques et techniques de la production  
d'unités volumiques architecturales  
GAMSAU bulletin 3, 1 1972
- (108) Billon R.  
Un outil logique d'instrumentation d'un procédé de  
construction : SYMOD-0 (zéro)  
GAMSAU bulletin déc. 1972
- (109) Billon R.  
La formulation explicite des données fonctionnelles en  
architecture  
GAMSAU bulletin 2 déc. 1972
- (110) Billon R.  
Le programme informatique d'instrumentation de projets  
de bâtiments SYMOD-2  
GAMSAU bulletin fév. 1975
- (111) Abrial J.R.  
Structure de données et de programmes  
Polycopié cours de maîtrise informatique  
USMG Grenoble janv. 1972
- (112) Abrial J.R., Cahen J.P., Favre J.C. et as  
Projet SOCRATE  
Grenoble sept. 1977
- (113) Stiers A.  
Manuel-utilisateur SOCRATE  
IMAG Grenoble déc. 1973
- (114) Delobel C., Leonard M.  
New approach in the design of logical data base schema  
IMAG Grenoble
- (115) Institut de l'Environnement (éd.)  
Séminaire Aménagement de l'environnement et traitement  
de l'information  
Paris mars 1972

- (116) Brandle K., Gregory S.  
Les techniques graphiques de l'ordinateur : la conception architecturale à l'aide des systèmes et l'analyse énergétique  
IF vol. 8 1977
- (117) Ravnikar E.  
Planning methodology (manuscrit)
- (118) Eastman C.  
Logical methods of building design :  
a synthesis and review  
DMG-DRS Journal vol. 6 no 3
- (119) Jones Ch.  
Design methods  
Pergamon Press Oxford.

ANNEXE 1

Nous reproduisons comme annexe la description des systèmes constructifs envisagés (tiré de Testa et Schmid "Constructions modulaires") mais que nous n'avons finalement pas utilisés comme support à notre travail.

Dénomination du système :	Peikert
Organisme promoteur :	Peikert Bau AG, Zoug, Suisse
Diffusion du système :	Suisse
Classe du système :	Panneaux lourds
Module du plan :	
Module de structure :	
Espace dimensionnel :	Tridimensionnel
Portée max :	6,00 m
Nombre d'étages max :	10
Domaines d'utilisation :	Logements bureaux
Type de fondations :	Fondations conventionnelles
Toit :	Panneaux de béton, toit gravier
Matériaux des façades :	Panneaux sandwichs en béton
Cloisons intérieures :	Panneaux de béton
Organisation du système :	
Qui élabore les plans ?	Architecte
Qui fabrique ?	Peikert AG
Qui procède au montage ?	Peikert
Structure technique du système :	
Ossature porteuse :	Non
Panneaux porteurs :	Oui
Alvéoles porteuses :	Non

---

Dénomination du système :	REEMA
Organisme promoteur :	REEMA Construction Ltd. Southampton
Diffusion du système :	Angleterre, Iran, République d'Afrique du Sud, Inde, Chy- pre, Jamaïque, Irak, Zambie, Bahamas
Classe du système :	Système lourd
Module du plan :	
Module de structure :	Différent de cas en cas
Espace dimensionnel :	Différent de cas en cas

Portée max :	7,50 m
Nombre d'étages max :	26
Domaines d'utilisation :	Logements bureaux
Type de fondations :	Fondations conventionnelles, selon la nature du terrain
Toit :	Toit incliné ou plat
Matériaux des façades :	Panneaux de béton
Cloisons intérieures :	Panneaux de béton
Organisation du système :	
Qui élabore les plans ?	REEMA
Qui fabrique ?	REEMA
Qui procède au montage ?	REEMA
Structure technique du système :	
Ossature porteuse :	Non
Panneaux porteurs :	Oui
Alvéoles porteuses :	Non
<hr/>	
Dénomination du système :	Elément AG
Organisme promoteur :	Elément AG. Tafers (Fribourg), Suisse, Spannbeton : Kunststeinwerk E. Bernasconi, Aarberg (Berne), Suisse, Elément AG. Veltheim (Argo- vie), Suisse.
Diffusion du système :	Suisse, République fédérale d'Allemagne
Classe du système :	Panneaux lourds
Module du plan :	Indépendant
Module de structure :	Indépendant
Espace dimensionnel :	Tridimensionnel
Portée max :	Eléments du plafond 6,50 m
Nombre d'étages max :	20
Domaines d'utilisation :	Logements écoles partiellement
Type de fondations :	Fondations traditionnelles

Toit :	Béton, gravier
Matériaux des façades :	Béton, panneaux sandwiches légers
Cloisons intérieures :	Porteuses, panneaux de béton, non porteuses : gypse
Organisation du système :	
Qui élabore les plans ?	Architecte libre
Qui fabrique ?	Elément AG
Qui procède au montage ?	Elément AG
Structure technique du système :	
Ossature porteuse :	Oui, en cas de nécessité
Panneaux porteurs :	Oui
Alvéoles porteuses :	Oui, en cas de nécessité
<hr/>	
Dénomination du système :	IGECCO
Organisme promoteur :	Igéco S.A., Etoy (Vaud), Suisse, Igéco AG Lyssach (Berne), Suisse, Igéco AG, Volketswil (Zurich), Suisse, S.A. de Construction industrielle
Diffusion du système :	Suisse
Classe du système :	Panneaux lourds
Module du plan :	3 M 6M ou variable
Module de structure :	Variable
Espace dimensionnel :	Tridimensionnel
Portée max :	7,20 m
Nombre d'étages max :	10
Domaines d'utilisation :	Logements
Type de fondations :	Fondations conventionnelles
Toit :	Panneaux de béton, couverture gravier
Matériaux des façades :	Panneaux sandwiches de béton
Cloisons intérieures :	Panneaux de béton ou panneaux de béton légers

Organisation du système :  
     Qui élabore les plans ?           Architecte libre  
     Qui fabrique ?                    Igéco  
     Qui procède au montage ?         Igéco ou entreprise libre  
 Structure technique du système :  
     Ossature porteuse :               Non  
     Panneaux porteurs :               Oui  
     Alvéoles porteuses :              Non

Dénomination du système :           TRACOBA  
 Organisme promoteur :               Tracoba, Société de travaux  
   pour la construction et l'ha-  
   bitat industriels, Paris  
 Diffusion du système :               France, Grande-Bretagne,  
   Suisse, Italie, Grèce, Espa-  
   gne, Algérie  
 Classe du système :                   Système lourd  
 Module du plan :                      0,30 m  
 Module de structure :                 0,30 m  
 Espace dimensionnel :                Tridimensionnel  
 Portée max :                          Exécuté 5,70 m, réalisable  
   6,90 m  
 Nombre d'étages max :                Exécuté 23, réalisable 30  
 Domaines d'utilisation :             Logements, bureaux  
 Type de fondations :                 Toutes les possibilités  
 Toit :                                  Revêtement de toiture-terras-  
   se  
 Matériaux des façades :              béton lavé, béton transparent  
 Cloisons intérieures :                Eléments légers de 2,50 m de  
   haut (éléments de gypse, é-  
   léments de bois)  
 Organisation du système :  
     Qui élabore les plans ?           Architecte et Tracoba  
     Qui fabrique ?                    Tracoba  
     Qui procède au montage ?         Tracoba

Structure technique du système :

Ossature porteuse : Non  
Panneaux porteurs : Oui  
Alvéoles porteuses : Non

---

Dénomination du système : Camus  
Organisme promoteur : Raymond Camus, Paris  
Diffusion du système : France, Angleterre, Italie,  
Algérie, République Fédérale  
d'Allemagne, Japon, Autriche,  
URSS  
Classe du système : Panneaux lourds  
Module du plan :  
Module de structure :  
Espace dimensionnel : Tridimensionnel  
Portée max : 7,50 m  
Nombre d'étages max : 23  
Domaines d'utilisation : Logements, écoles, bureaux  
Type de fondations : Fondations conventionnelles,  
selon la nature du terrain  
Toit : Selon les désirs de l'archi-  
tecte  
Matériaux des façades : Panneaux de béton, béton la-  
vé, briques, parpaings  
Cloisons intérieures : Panneaux de béton ou cloisons  
légères  
Organisation du système :  
Qui élabore les plans ? Architecte libre  
Qui fabrique ? Camus  
Qui procède au montage ? Camus  
Structure technique du système :  
Ossature porteuse : Non  
Panneaux porteurs : Oui  
Alvéoles porteuses : Non

---

Dénomination du système : Coignet

Organisme promoteur :	Constructions Ed. Coignet, Paris
Diffusion du système :	France, Argentine, République Fédérale d'Allemagne, Grande- Bretagne, Hollande, Italie, Israël
Classe du système :	Panneaux lourds
Module du plan :	0,30 m
Module de structure :	0,30 m
Espace dimensionnel :	Tridimensionnel
Portée max :	7,00 m (pour plafond nervuré 12,00 m)
Nombre d'étages max :	22
Domaines d'utilisation :	Logements, écoles, bureaux, laboratoires
Type de fondations :	Fondations conventionnelles (points, dalles)
Toit :	Toit plat, toit gravier
Matériaux des façades :	Panneaux sandwichs de béton, parement faïence ou pierres, béton lavé
Cloisons intérieures :	Panneaux porteurs de béton. Autres parois, panneaux de gypse
Organisation du système :	
Qui élabore les plans ?	Architectes en coopération avec Coignet
Qui fabrique ?	Coignet
Qui procède au montage ?	Coignet
Structure technique du système :	
Ossature porteuse :	Non
Panneaux porteurs :	Oui
Alvéoles porteuses :	Non

---

Dénomination du système :	Costamagna
Organisme promoteur :	Société Véran Costamagna,

	Paris
Diffusion du système :	France, République Fédérale d'Allemagne, Italie, Espagne, Venezuela, Belgique, Autriche, Algérie
Classe du système :	Panneaux lourds
Module du plan :	0,20 m, verticalement 0,30 m
Module de structure :	
Espace dimensionnel :	Tridimensionnel
Portée max :	Illimitée
Nombre d'étages max :	20
Domaines d'utilisation :	Logements, bureaux
Type de fondations :	Fondations conventionnelles
Toit :	Toit plat, système Costamagna
Matériaux des façades :	Panneaux de béton, parement briques
Cloisons intérieures :	Briques avec couche de gypse, système Costamagna
Organisation du système :	
Qui élabore les plans ?	Architecte libre
Qui fabrique ?	Costamagna
Qui procède au montage ?	Preneurs de licence
Structure technique du système :	
Ossature porteuse :	Oui, partiellement
Panneaux porteurs :	Oui
Alvéoles porteuses :	Non
<hr/>	
Dénomination du système :	Procédé BARETS
Organisme promoteur :	Sirec (Barets) Paris
Diffusion du système :	France, Suisse, Italie, Belgique, République Fédérale d'Allemagne, Brésil, Malaisie, Algérie
Classe du système :	Ossature lourde, parois intérieures porteuses
Module du plan :	Pas de module fixe

Module de structure :	Pas de module fixe
Espace dimensionnel :	Tridimensionnel
Portée max :	14,00 m
Nombre d'étages max :	22
Domaines d'utilisation :	Logements, écoles
Type de fondations :	Fondations conventionnelles
Toit :	Plateaux de béton, matière synthétique ou gravier
Matériaux des façades :	Panneaux de béton, isolants divers
Cloisons intérieures :	Panneaux de béton porteurs
Organisation du système :	
Qui élabore les plans ?	Architectes libres
Qui fabrique ?	Sirec ou preneur de licence
Qui procède au montage ?	Sirec ou sous-traitant
Structure technique du système :	
Ossature porteuse :	Partiellement
Panneaux porteurs :	Partiellement
Alvéoles porteuses :	Non

---

Dénomination du système :	Allbeton
Organisme promoteur :	AB Skanska Cementgjuteriet Malmo
Diffusion du système :	Suède, République Fédérale d'Allemagne, Suisse, Grande- Bretagne, Afrique du Sud
Classe du système :	Cloisons étanches
Module du plan :	Flexible
Module de structure :	Parois et plafonds
Espace dimensionnel :	Tridimensionnel
Portée max :	Environ 6,00 m
Nombre d'étages max :	Exécuté 26, réalisable plus
Domaines d'utilisation :	Maisons multifamiliales, hospices, hôpitaux
Type de fondations :	Fondations traditionnelles
Toit :	Selon désir

Matériaux des façades :	Selon désir
Cloisons intérieures :	Selon désir
Organisation du système :	
Qui élabore les plans ?	Architectes libres
Qui fabrique ?	AB Skanska
Qui procède au montage ?	AB Skanska
Structure technique du système :	
Ossature porteuse :	Non
Panneaux porteurs :	Oui
Alvéoles porteuses :	Non
<hr/>	
Dénomination du système :	Wates System
Organisme promoteur :	Wates Ltd. Norbury, London
Diffusion du système :	Angleterre
Classe du système :	Panneaux lourds
Module du plan :	0,30 m
Module de structure :	2,50 m
Espace dimensionnel :	Tridimensionnel
Portée max :	4,80 m
Nombre d'étages max :	25
Domaines d'utilisation :	Logements, bureaux, hôpitaux
Types de fondations :	Fondations conventionnelles, selon la nature du terrain
Toit :	Panneaux de béton, gravier
Matériaux des façades :	Libre choix
Cloisons intérieures :	Panneaux de béton ou panneaux légers
Organisation du système :	
Qui élabore les plans ?	Architecte libre
Qui fabrique ?	Wates Ltd.
Qui procède au montage ?	Wates Ltd.
Structure technique du système :	
Ossature porteuse :	Non
Panneaux porteurs :	Oui
Alvéoles porteuses :	Non
<hr/>	

Dénomination du système :	Jespersen System
Organisme promoteur :	A. Jespersen et Fils, Copenhague
Diffusion du système :	Danemark, Suède, Angleterre, Israël
Classe du système :	Panneaux lourds, système ouvert
Module du plan :	0,30 m
Module de structure :	0,30 / 1,20 m
Espace dimensionnel :	Tridimensionnel
Portée max :	6,00 m
Nombre d'étages max :	20
Domaines d'utilisation :	Logements, cités universitaires, logements pour personnes âgées
Type de fondations :	Fondations conventionnelles, selon la nature du terrain
Toit :	Panneaux de béton, toit gravier
Matériaux des façades :	Panneaux sandwichs de béton, ou panneaux de bois (mur-rideau)
Cloisons intérieures :	Panneaux de béton de 0,51 ou 0,18 m d'épaisseur
Organisation du système :	
Qui élabore les plans ?	Architecte libre
Qui fabrique ?	Modulbeton A/S
Qui procède au montage ?	A. Jespersen et Fils A/S
Structure technique du système :	
Ossature porteuse :	Non
Panneaux porteurs :	Oui
Alvéoles porteuses :	Non

---

Dénomination du système :	Vic Hallam. MK 3 Housing
Organisme promoteur :	Vic Hallam Ltd. Nottingham
Diffusion du système :	Angleterre

Classe du système :	Ossature légère
Module du plan :	3,60 / 3,00 m
Module de structure :	3,60 / 3,00 m
Espace dimensionnel :	Tridimensionnel
Portée max :	4,50 m
Nombre d'étages max :	3
Domaines d'utilisation :	Logements
Type de fondations :	Fondations conventionnelles
Toit :	Toit plat ou à pans inclinés, panneaux de bois et bandeaux d'amiante ou toit gravier
Matériaux des façades :	Murs de briques ou panneaux d'aluminium
Cloisons intérieures :	Panneaux cadres de bois
Organisation du système :	
Qui élabore les plans ?	Architecte libre en coopéra- tion avec Vic Hallam Ltd.
Qui fabrique ?	Vic Hallam Ltd.
Qui procède au montage ?	Vic Hallam Ltd.
Structure technique du système :	
Ossature porteuse :	Oui
Panneaux porteurs :	Non
Alvéoles porteuses :	Non
<hr/>	
Dénomination du système :	SIPOREX
Organisme promoteur :	Deutsche SIPOREX GmbH, Essen, Costam Concrete Company Ltd., Londres, SIPOREX Maise S.A., France, Internationella SIPO- REX AB, Stockholm, SIPOREX (Suisse) AG, Zurich et autres sociétés
Diffusion du système :	27 fabriques dans 17 pays
Classe du système :	Panneaux légers
Module du plan :	0,60 m
Module de structure :	0,60 m

Espace dimensionnel :	Tridimensionnel
Portée max :	6,00 m
Nombre d'étages max :	Panneaux porteurs jusqu'à 3 étages
Domaines d'utilisation :	Logements
Type de fondations :	Fondations (bandes), dalle
Toit :	Eléments de plafond SIPOREX, toit froid ou chaud
Matériaux des façades :	Eléments de façade SIPOREX, avec décorations en plasti- que Acryl
Cloisons intérieures :	Parois SIPOREX, prêtes à re- cevoir une couche de peintu- re ou des papiers peints.
Organisation du système :	
Qui élabore les plans ?	Architecte
Qui fabrique ?	SIPOREX
Qui procède au montage ?	Montage par l'entreprise ou entreprises libres
Structure technique du système :	
Ossature porteuse :	Oui (jusqu'à 3 étages)
Panneaux porteurs :	Oui
Alvéoles porteuses :	Non
<hr/>	
Dénomination du système :	Resiform
Organisme promoteur :	William Old Resiform Ltd. Watford (Hertfordshire), An- gleterre
Diffusion du système :	Angleterre
Classe du système :	Ossature légère (bois et po- lyester renforcé de fibres de verre)
Module du plan :	3,60 m
Module de structure :	
Espace dimensionnel :	Tridimensionnel
Portée max :	4,50 m

Nombre d'étages max :	3
Domaines d'utilisation :	Logements
Type de fondations :	Fondations conventionnelles
Toit :	Chevrons, couverture libre
Matériaux des façades :	Panneaux Resiform G.R.P.
Cloisons intérieures :	Panneaux de gypse
Organisation du système :	
Qui élabore les plans ?	Resiform et conseillers
Qui fabrique ?	William Old Ltd.
Qui procède au montage ?	William Old Ltd
Structure technique du système :	
Ossature porteuse :	Oui, au-delà de 3 étages
Panneaux porteurs :	Oui, jusqu'à 3 étages
Alvéoles porteuses :	Non

Dénomination du système :	Bison
Organisme promoteur :	Concrete Ltd. Londres
Diffusion du système :	Angleterre
Classe du système :	Système lourd
Module du plan :	0,30 m
Module de structure :	7,20 / 10,80 m
Espace dimensionnel :	Tridimensionnel
Portée max :	11,70 m
Nombre d'étages max :	24
Domaines d'utilisation :	Logements, écoles, hôpitaux, bureaux
Type de fondations :	Fondations conventionnelles, selon la nature du terrain
Toit :	Toit plat, gravier
Matériaux des façades :	Panneaux de béton poreux, mur-rideau, panneaux de bri- ques
Cloisons intérieures :	Libre choix
Organisation du système :	
Qui élabore les plans ?	Architecte libre
Qui fabrique ?	Concrete Ltd.

Qui procède au montage ?	Concrete Ltd.
Structure technique du système :	
Ossature porteuse :	Oui
Panneaux porteurs :	Non
Alvéoles porteuses :	Non

---

Dénomination du système :	Laingspan II
Organisme promoteur :	John Laing Construction Ltd. Londres
Diffusion du système :	Angleterre
Classe du système :	Ossature lourde (béton)
Module du plan :	0,61 m horizontalement, 0,30 m verticalement
Module de structure :	1,20 m
Espace dimensionnel :	Tridimensionnel
Portée max :	9,14 m
Nombre d'étages max :	4
Domaines d'utilisation :	Ecoles, Laboratoires, Hôpitaux, Bureaux
Type de fondations :	Fondations conventionnelles (points, dalles)
Toit :	Supports acier, panneaux métalliques, isolation, toit gravier
Matériaux des façades :	Panneaux sandwiches de béton, béton lavé
Cloisons intérieures :	Panneaux légers, selon choix de l'architecte
Organisation du système :	
Qui élabore les plans ?	Architecte libre en coopération avec John Laing et Son Ltd.
Qui fabrique ?	John Laing Concrete Ltd.
Qui procède au montage ?	John Laing Construction Ltd.
Structure technique du système :	
Ossature porteuse :	Oui

Panneaux porteurs :	Non
Alvéoles porteuses :	Non
<hr/>	
Dénomination du système :	Catalog Schulbausystem
Organisme promoteur :	Catalog Gesellschaft für Bausysteme GmbH, Francfort sur le Main
Diffusion du système :	République Fédérale d'Alle- magne
Classe du système :	Ossature lourde
Module du plan :	0,30 m
Module de structure :	0,30 m (min. 2,10 m)
Espace dimensionnel :	Tridimensionnel
Portée max :	13,50 m
Nombre d'étages max :	4
Domaines d'utilisation :	Ecoles
Types de fondations :	Fondations conventionnelles, béton coulé sur place
Toit :	Panneaux de béton, toit gra- vier
Matériaux des façades :	Panneaux sandwiches de béton
Cloisons intérieures :	Panneaux légers
Organisation du système :	
Qui élabore les plans ?	Architectes libres
Qui fabrique ?	Entrepreneurs désignés
Qui procède au montage ?	Entrepreneurs libres
Structure technique du système :	
Ossature porteuse :	Oui
Panneaux porteurs :	Non
Alvéoles porteuses :	Non
<hr/>	
Dénomination du système :	Système Marburg
Organisme promoteur :	Marburger Bausystem (projet de l'Université Philipps, Marburg/Lahn, RFA)
Diffusion du système :	Université de Marburg, RFA

Classe du système :	Ossature lourde et panneaux extérieurs et intérieurs légers
Module du plan :	0,60 m
Module de structure :	Un multiple de 0,60 m (trame)
Espace dimensionnel :	Tridimensionnel
Portée max :	0,60 m
Nombre d'étages max :	18
Domaines d'utilisation :	Bâtiments universitaires
Type de fondations :	Fondations (bandes), dalle, béton
Toit :	Panneaux de béton, toit gravier
Matériaux des façades :	Panneaux sandwiches, parement ciment-amiante
Cloisons intérieures :	idem, démontables
Organisation du système :	
Qui élabore les plans ?	Architecte libre
Qui fabrique ?	Entrepreneurs désignés, entrepreneurs libres
Qui procède au montage ?	Entrepreneur libre
Structure technique du système :	
Ossature porteuse :	Oui
Panneaux porteurs :	Non
Alvéoles porteuses :	Non

---

Dénomination du système :	CLASP/Brockhouse
Organisme promoteur :	Brockhouse Steel Structures Ltd. West Bromwich, Angleterre/Brockhouse Stahlbau GmbH, Dortmund/Brockhouse Clasp System AG, Zurich/Constructions Modulaires S.A., Boulogne-sur-Seine/Brockhouse Clasp Ltd. Johannesburg
Diffusion du système :	Angleterre, République Fédérale

	rale d'Allemagne, France, Suisse, Italie, Israël, Union Sud-Africaine
Classe du système :	Ossature légère
Module du plan :	0,60 / 1,20 m
Module de structure :	2,40 / 3,60 m
Espace dimensionnel :	Tridimensionnel
Portée max :	9,00 m pour locaux scolaires, 18,00 m pour salles de gym- nastique
Nombre d'étages max :	4
Domaines d'utilisation :	Ecoles, bureaux
Type de fondations :	Dalles béton, faiblement armé
Toit :	Eléments de bois ou plaques de siporex, toit gravier ou matière synthétique, toit froid
Matériaux des façades :	Plaques de béton lavé, bois ou tuiles de façade, parapets d'éternit émaillé ou tôle d'acier
Cloisons intérieures :	Doubles plateaux sandwiches de gypse-carton, couche d'i- solation acoustique
Organisation du système :	
Qui élabore les plans ?	Architecte libre
Qui fabrique ?	Entreprises du groupe sous la direction de l'organisa- tion Brockhouse
Qui procède au montage ?	Entreprises locales
Structure technique du système :	
Ossature porteuse :	Oui, ossature d'acier légère
Panneaux porteurs :	Non
Alvéoles porteuses :	Non

---

Dénomination du système : SEAC Mark 2

Organisme promoteur :	South Eastern Architects Corporation (SEAC), Chelmsford, Angleterre
Diffusion du système :	Angleterre
Classe du système :	Ossature acier légère (partiellement appuis en bois)
Module du plan :	0,30 m
Module de structure :	1,20 m
Espace dimensionnel :	Tridimensionnel
Portée max :	8,40 m
Nombre d'étages max :	3
Domaines d'utilisation :	Ecoles et bâtiments publics
Type de fondations :	Dalles de béton
Toit :	Panneaux divers, toit gravier ou feuilles de matière synthétique
Matériaux des façades :	Panneaux de béton, panneaux métalliques, tuiles d'argile, panneaux de bois ou briques
Cloisons intérieures :	Panneaux de gypse
Organisation du système :	
Qui élabore les plans ?	Architecte libre ou office de l'Etat
Qui fabrique ?	Entrepreneur désigné
Qui procède au montage ?	Entrepreneur libre
Structure technique du système :	
Ossature porteuse :	Oui
Panneaux porteurs :	Non
Alvéoles porteuses :	Non
<hr/>	
Dénomination du système :	Filloid
Organisme promoteur :	Filloid Constructions Métalliques, Neuilly, France
Diffusion du système :	France, République Fédérale d'Allemagne, Israël et divers autres pays

Classe du système :	Ossature d'acier légère
Module du plan :	0,30 m
Module de structure :	1,80 m
Espace dimensionnel :	Tridimensionnel
Portée max :	12,00 m
Nombre d'étages max :	4
Domaines d'utilisation :	Ecoles
Type de fondations :	Fondations conventionnelles
Toit :	Eléments métalliques
Matériaux des façades :	Panneaux métalliques, parement émaillé ou plastique
Cloisons intérieures :	Panneaux de gypse, de métal ou de bois
Organisation du système :	
Ossature porteuse :	Oui, dans certains cas
Panneaux porteurs :	Oui, dans certains cas
Alvéoles porteuses :	Non

Dénomination du système :	Aluminium Français, St-Gobain
Organisme promoteur :	GEEP-Industries "L'Abbaye", Yerres (Seine-et-Oise), France
Diffusion du système :	France, Belgique, République Fédérale d'Allemagne
Classe du système :	Ossature d'acier légère
Module du plan :	1,80 m
Module de structure :	1,80 m
Espace dimensionnel :	Bidimensionnel
Portée max :	8,40 m
Nombre d'étages max :	4
Domaines d'utilisation :	Ecoles (système de construc- tion de logements par la même société)
Type de fondations :	Fondations conventionnelles, béton
Toit :	Toit incliné, aluminium

Matériaux des façades :	Panneaux à double parement, parement extérieur en verre émaillé
Cloisons intérieures :	Panneaux sandwiches
Organisation du système :	
Qui élabore les plans ?	Architecte libre
Qui fabrique ?	Diverses sociétés sous la direction de GEEP
Qui procède au montage ?	Entrepreneur sous la direction de GEEP
Structure technique du système :	
Ossature porteuse :	Oui
Panneaux porteurs :	Non
Alvéoles porteuses :	Non
<hr/>	
Dénomination du système :	Bortolaso
Organisme promoteur :	Bortolaso Prefabbricati, Verona, Italie
Diffusion du système :	Italie, Espagne, Belgique
Classe du système :	Ossature légère
Module du plan :	0,60 m
Module de structure :	1,20 m
Espace dimensionnel :	Tridimensionnel
Portée max :	8,40 m
Nombre d'étages max :	6
Domaines d'utilisation :	Ecoles, hôpitaux, bureaux
Type de fondations :	Fondations conventionnelles
Toit :	Panneaux de béton, toit gravier
Matériaux des façades :	Panneaux de béton, parement en matière synthétique
Cloisons intérieures :	Panneaux sandwiches, âme en béton et revêtement de gypse
Organisation du système :	
Qui élabore les plans ?	Bortolaso et architecte libre

Qui fabrique ?	Bortolaso
Qui procède au montage ?	Bortolaso
Structure technique du système :	
Ossature porteuse :	Oui
Panneaux porteurs :	Non
Alvéoles porteuses :	Non
<hr/>	
Dénomination du système :	Pasotti P 63 et P 64
Organisme promoteur :	Prefabricati Pasotti, Brescia, Italie
Diffusion du système :	Italie et divers pays d'outre-mer
Classe du système :	Ossature d'acier légère
Module du plan :	0,50 m
Module de structure :	1,50 m
Espace dimensionnel :	Tridimensionnel
Portée max :	
Nombre d'étages max :	2
Domaines d'utilisation :	Ecoles, bureaux
Type de fondations :	Fondations conventionnelles (points)
Toit :	Panneaux métalliques
Matériaux des façades :	Panneaux sandwiches, parement en ciment-amiante
Cloisons intérieures :	Panneaux sandwiches
Organisation du système :	
Ossature porteuse :	Oui
Panneaux porteurs :	Non
Alvéoles porteuses :	Non
<hr/>	
Dénomination du système :	FEAL-Varlonga
Organisme promoteur :	FEAL-Milan
Diffusion du système :	Italie, France, République d'Allemagne, Angleterre, et autres pays
Classe du système :	Ossature acier légère, pla-

	fonds suspendus pneumatiquement
Module du plan :	0,30 m
Module de structure :	0,30 m
Espace dimensionnel :	Tridimensionnel
Portée max :	0,40 m
Nombre d'étages max :	4
Domaines d'utilisation :	Ecoles, bureaux, bâtiments publics
Type de fondations :	Fondations de béton, conventionnelles
Toit :	Eléments d'aluminium
Matériaux des façades :	Panneaux sandwiches, parement d'aluminium
Cloisons intérieures :	Panneaux d'aluminium démontables
Organisation du système :	
Qui élabore les plans ?	Architectes libres
Qui fabrique ?	FEAL
Qui procède au montage ?	FEAL
Structure technique du système :	
Ossature porteuse :	Oui
Panneaux porteurs :	Non
Alvéoles porteuses :	Non
<hr/>	
Dénomination du système :	Sistema IPI Standard
Organisme promoteur :	IPI S.p.a, Milan
Diffusion du système :	Italie
Classe du système :	Ossature acier légère, piliers laminés à froid, supports en profils normaux
Module du plan :	1,20 m
Module de structure :	1,20 m (trame normale ou trame bande)
Espace dimensionnel :	Tridimensionnel
Portée max :	27,00 m

Nombre d'étages max :	3
Domaines d'utilisation :	Ecoles, cliniques, bureaux, logements
Type de fondations :	Fondations (points, bandes), béton
Toit :	Eléments d'acier
Matériaux des façades :	Panneaux sandwiches en ciment-amiante et mousse synthétique, simples ou doubles
Cloisons intérieures :	Panneaux sandwiches ou panneaux de gypse, simples ou doubles
Organisation du système :	
Qui élabore les plans ?	Architecte libre
Qui fabrique ?	IPI
Qui procède au montage ?	IPI
Structure technique du système :	
Ossature porteuse :	Oui
Panneaux porteurs :	Non
Alvéoles porteuses :	Non

ANNEXE 2

Nous reproduisons en annexe cet article récent paru dans le quotidien français "Le Monde" sur les développements actuels en France de la Conception Assistée par Ordinateur. Il présente en particulier la MICADO, pour laquelle nous avons fait en 1975 une étude-inventaire relative à l'utilisation de la CAO dans l'industrie du bâtiment.

### L'INFORMATIQUE AU SERVICE DES BUREAUX D'ETUDES

#### Quand l'ordinateur aborde les tâches de création.

Depuis de nombreuses années, l'ordinateur est largement utilisé, soit pour des tâches de gestion administrative - il est capable d'effectuer très rapidement des opérations répétitives et fastidieuses - soit pour réaliser des calculs scientifiques qui seraient, par leur volume et leur complexité, hors d'atteinte des "calculateurs humains".

Un nouveau domaine d'utilisation, jusqu'ici presque exclusivement développé pour des applications très spécifiques, et par de grandes sociétés, apparaît aujourd'hui : c'est celui de la conception assistée par ordinateur (C.A.O.). La France accusant, par rapport à d'autres pays, un certain retard dans ce domaine, les pouvoirs publics, dans leur effort pour encourager "l'informatisation de la société", ont décidé de donner une certaine priorité à ce nouveau secteur d'application, qui devrait notamment donner de sérieux atouts aux petites et moyennes entreprises.

Selon la direction des industries électroniques et informatiques (DIELI) du ministère de l'industrie, une petite centaine de systèmes de C.A.O. sont aujourd'hui opérationnels, alors qu'il existe environ deux mille "sites équipables".

La conception assistée par ordinateur (C.A.O.) se pré-

sente avant tout comme un outil informatique au service des bureaux d'études. Suivant les responsables de l'association MICADO (1), 70 % des activités des bureaux d'études consistent en un travail de stricte recopie de plans déjà existant. Grâce aux outils graphiques permettant aujourd'hui de véritables "dessins par ordinateurs" (Le Monde du 15 novembre 1978), ce travail peut être aujourd'hui presque entièrement automatisé : la productivité du bureau d'études peut s'en trouver considérablement accrue.

Les 30 % restants représentent le véritable champ d'application de la C.A.O. : pour les deux tiers, il s'agit de modifications de plans existants ; pour le reste, de "création" pure.

L'ordinateur, gardant en mémoire ce qui existe, peut déjà faire gagner beaucoup de temps dans tout le travail de modification : sur un écran de télévision, l'opérateur pourra, par exemple, modifier sur une pièce mécanique ou sur un plan d'architecture ou d'urbanisme les seules parties à transformer. L'ordinateur se chargera seul de réaliser et de coter, si nécessaire, ce nouveau plan sur lequel il fera, par exemple, disparaître les "parties cachées" ou ne les dessinera qu'en pointillé.

La figure ci-contre, qui nous a été fournie par MICADO, donne un exemple, volontairement très modeste, d'une application simple de C.A.O. Dans un tel programme, l'ordinateur garde en mémoire les caractéristiques communes à une "famille" de pièces mécaniques (en l'occurrence un chanfrein) : l'opérateur se contente d'introduire les cotes nécessaires correspondant à la pièce qu'il veut réaliser (dimensions, angles) et c'est la machine qui réalise elle-même le dessin complet, allant jusqu'à ajouter les "raccords" nécessaires, les flèches

de cotation, etc.

### Des programmes spécialisés.

Mais tout cela, qui peut être évidemment beaucoup plus complexe, ne serait que du dessin par ordinateur si l'informatique ne permettait d'aller beaucoup plus loin. Elle peut en effet autoriser le branchement d'un système purement graphique comme celui que nous venons rapidement de définir à des programmes beaucoup plus spécialisés :

- Il peut s'agir, par exemple, des programmes de calcul, scientifiques : une fois la structure dessinée, l'opérateur pourra ainsi faire calculer immédiatement toutes sortes de paramètres. La machine pourra calculer le volume de l'objet conçu, évaluer la résistance d'une pièce ou d'une structure mécanique (machine, navire, pont, etc.).
- Ces programmes peuvent ensuite donner accès à des banques de données informatisées, intérieures ou extérieures à l'entreprise : elles permettront, par exemple, de faire un calcul du prix de la matière première qui sera mise en oeuvre ; ou, par consultation de catalogue, de vérifier si les différentes pièces mécaniques mises en oeuvre dans un ensemble complexe sont soit disponibles en magasin dans l'entreprise, soit existent sur le marché.
- Enfin, des programmes d'application peuvent permettre de passer directement du dessin d'un objet à sa réalisation : à partir de données établies par l'opérateur, l'ordinateur peut lui-même écrire le programme informatique qui permettra à une machine-outil automatique ("à commande numérique") de réaliser l'objet, ou un prototype, ou encore le moule de fonderie correspondant, etc.

Il est facile d'imaginer que les applications de la

C.A.O. peuvent être multiples et atteindre la plupart des branches industrielles. Déjà la C.A.O. est largement utilisée entre autres dans l'automobile (à la régie Renault, par exemple), dans l'aéronautique (à la SNIAS et chez Dassault) et surtout dans l'électronique, où elle est devenue absolument indispensable au dessin des circuits intégrés.

La DIELI voudrait maintenant sensibiliser à la C.A.O. d'autres secteurs que celui des industries "de pointe", et des travaux sont en cours, notamment dans le domaine de la chaussure ou du meuble, où cette nouvelle utilisation de l'informatique devrait autoriser d'importants gains de productivité, notamment dans la conception des modèles. Suivant les experts de l'Institut Battelle, de Genève, qui commercialise le système Systrid, mis au point par la SNIAS, et qui permet notamment de dessiner en trois dimensions des surfaces "gauches", la C.A.O. devrait permettre aux bureaux d'études des gains de temps de un à dix et des économies atteignant 30 %.

En plus des systèmes étrangers importés, on trouve actuellement sur le marché français un petit nombre de systèmes de C.A.O., mais qui sont pour la plupart de "grands systèmes", nécessitant donc de gros ordinateurs : c'est le cas d'Euclid, qui, mis au point par des chercheurs de l'université Paris-Sud, est particulièrement adapté à la représentation d'objets en trois dimensions ; il est commercialisé par une petite société nouvellement créée, Datavision. C'est également le cas d'Unisurf, exploité par une filiale de Renault ; la Régie a aussi développé un autre système, plus modeste, RA3D ; mais ces deux systèmes ne sont pratiquement utilisés par la Régie que pour son usage interne.

Tous ces systèmes sont coûteux : il faut compter entre

750'000 et 1,5 million de francs par poste de travail ; l'investissement est hors de portée des bureaux d'études de taille moyenne, et l'objectif de la DIELI est d'arriver, en 1985, à un coût d'achat de 400'000 F par poste, à la portée d'un bureau d'études de cinq personnes.

Il est probable, estime-t-on à la DIELI, que la C.A.O. va se développer suivant deux directions : celle des systèmes importants, très performants, destinés aux grandes entreprises ou mis à la disposition des petites par téléinformatique (c'est la politique que semble vouloir suivre la Compagnie internationale de services en informatique) ; et celle de petits systèmes spécialisés à un petit nombre d'applications. On pourrait voir ainsi apparaître des logiciels de C.A.O. pour l'architecture, la petite mécanique, les travaux publics, etc.

- (1) Association française ayant pour mission la conception assistée et le dessin par ordinateur. Créée en 1974, implantée à Meylan, près de Grenoble, MICADO, soutenue par les pouvoirs publics, groupe des laboratoires publics et des industriels. Elle joue un rôle de "sensibilisation" à la C.A.O., de diffusion des informations et de promotion de certaines applications.

XAVIER WEEGER

"Le Monde, 28 mars 1979"



CURRICULUM VITAE

- Ecole Primaire à RENENS de 1953 à 1957.
- Collège Secondaire à LAUSANNE de 1957 à 1964.
- Gymnase Cantonal à LAUSANNE de 1964 à 1967.
- Cours d'Italien à l'Université del Sacro Cuore (Rome) en 1966.
- Ecole Polytechnique Fédérale de LAUSANNE, département d'Architecture de 1968 à 1974 : études d'architecture avec stages pratiques à Lausanne, Stuttgart, Cannes et Ajaccio.
- Dès mai 1974, Assistant à l'EAUG (Ecole d'Architecture de l'Université de Genève).
- Parallèlement de novembre 1974 à novembre 1978, chercheur à l'IMAG (Informatique et Mathématiques Appliquées de Grenoble), laboratoire associé au CNRS, plus particulièrement dans une équipe de Conception Assistée par Ordinateur (C.A.O.).
- Dès novembre 1975, chargé d'enseignement à l'EAUG.
- Dès novembre 1978, chargé de recherches à l'EAUG.
- Parallèlement en 1979, ouverture de ADN Atelier d'architecture à Nyon (Vaud)

Activités personnelles (publications, rapports, films, conférences, etc...)

- Proposition de plan d'études pour l'enseignement de l'architecture dans "HABITATION" mai 1973 \*
- "Vers une conception scientifique du logement : production systématique de plans-masses à l'aide de l'ordinateur" rapport de travail de spécialité EPF-L mars 1974
- Synthèse du travail ci-dessus dans "HABITATION" novembre 1974

\* co-signé

- EAUG U. 10. Montage-vidéo "Juliette et son vélo" tourné à l'Unité d'Habitation du Corbusier à Marseille, en collaboration avec le Professeur Gilliard et Monsieur Reusser - janvier 1975
- EAUG Organisation d'un séminaire d'une journée sur la conception architecturale assistée par ordinateur, en collaboration avec le Professeur Ludi - 5 juin 1975
- Présentation du système "SIGMA-archi : Système Interactif Graphique pour Méthodes d'Aide à la conception architecturale" -  
Salon de l'Innovation INOVA 75 - juin - Paris
- Présentation des travaux de recherche de l'équipe CAAO (conception architecturale assistée par ordinateur) de l'ENSIMAG aux 38èmes journées d'information ASSPA et SIA : "Aides à la création" - Genève - septembre 1975
- "AGGLO : Automatique Générative de Groupements de Logements" Congrès INFORMATICA 75 - Bled (Yougoslavie)\*
- EAUG Film-vidéo intitulé "Welcome to the machine" (version française et version anglaise) présentant le système SIGMA-archi, en collaboration avec le Professeur Ludi, Monsieur Jolliet et l'équipe CAAO de l'ENSIMAG - janvier 1976
- "Une approche pour l'élaboration d'un système pour la conception architecturale assistée par ordinateur" ASSPA International Symposium Fribourg - octobre 1976, publiée dans "Overlapping Tendencies in Operational Research, Systems Theory and Cybernetics" série Interdisciplinary System Research volume 32 \*
- "A sub-system of SICAM-archi for dwelling architectural design" Congrès INFORMATICA 76 Bled \*
- "SIGMA-archi : ....." Congrès AFCET Paris - novembre 1976 \*

\* co-signé

- EAUG. Film-vidéo "PERS 5" présentant un programme informatique de calcul et de dessin automatiques de perspectives, en collaboration avec le CETE d'Aix-en-Provence et le centre Audiovisuel de l'EAUG - janvier 1977
- AGGLO : Automatique Générative de Groupements de Logement bulletin du GAMSAU, Marseille - février 1977 \*
- "Crise, écologie, cybernétique" dans "Techniques et Architecture" Paris - mai 1977
- "Teaching CAO in an Architectural School with the SIGMA-ARCHI system" Intern. Conf. on CAO Education. Teesside Polytechnic, Middlesbrough 13-15 July 1977 \*
- "Computer Aided Architectural Design : SIGMA-ARCHI System" IFAC Conference on systems approach for development Le Caire - novembre 1977 \*
- "The SIGMA-ARCHI system applied to open type industrialization" PARC 79 : International conference on the application of computers in architecture, building design and urban planning. Berlin 7 - 10 mai 1979
- Publication d'un projet dans le livre "1 maison solaire - 30 solutions" édité par Georgi dans la collection "Etudes urbaines et régionales".

\* co-signé