



HAL
open science

Croquis perspectifs à main levée

Louis-Paul Untersteller

► **To cite this version:**

Louis-Paul Untersteller. Croquis perspectifs à main levée. [Rapport de recherche] 0901/94, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Paris-La Villette; Bureau de la recherche architecturale (BRA). 1994, pp. 82. hal-03099988

HAL Id: hal-03099988

<https://hal.science/hal-03099988>

Submitted on 6 Jan 2021

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.

901

Ministère de l'Équipement des Transports et du Tourisme
Direction de l'Architecture et de l'Urbanisme
Sous-Direction des Enseignements et des Professions
Bureau de la Recherche Architecturale

Louis-Paul UNTERSTELLER
Enseignant chercheur à l'EAPLV

Croquis perspectifs à main levée.

Rapport final - Juillet 1994

Lettre de Commande N°88 963 du 17 Août 1993

TABLE DES MATIERES

I - LES OBJECTIFS :	3
le rôle du dessin dans la conception	3
Le dessin, instrument de simulation.....	4
II - EXPERIENCES ANTERIEURES ET MOTIVATIONS.....	6
Quelques remarques :	7
Le prétraitement	7
Améliorations.....	7
Suite de l'expérience	8
Remarque méthodologique	8
Critères global / processus incrémental.....	9
III - LES DESSINS D'ARCHITECTE	10
Le dessin dans un processus de simulation graphique.....	10
Quelques remarques pour relativiser ce constat :	11
Les modes de représentations en usage.....	11
Non respect des règles de dessin	12
Approximation de la géométrie en fonction de l'échelle des détails	12
IV - UNE TENTATIVE DE CLASSIFICATION DES DESSINS.....	18
Un premier aspect du dialogue À base de graphique est son interactivité.....	18
Systèmes actifs :	18
Systèmes sollicités :	19
La précision, ou plutôt l'imprécision du croquis À main levée.....	19
Bruit ou incertitude	19
Imprécision angulaire	20
Imprécision de jonction.....	21
Imprécision du tracé des arcs.....	21
Transfert - Imprécision de jonction / non-linéarité du tracé	21
Transfert - Imprécision / ambiguïté.....	22
Imprécision globale : la régularité de structure dispense de précision	22
Imprécisions introduites par le traitement lors des phases de nettoyage classiques :	23
Une structure de donnée intégrant les incertitudes.....	23
Image numérique à résolution variable.....	23
Résolution vectorielle à précision variable	24
La nature des objets représentés et le mode de rendu	24
Les modèles	24
Le mode de rendu	24
Le mode de visualisation.....	27

V - RECONSTRUCTION DE VOLUMES À PARTIR D'UNE SEULE VUE.....	28
1°) Cohérence de planéité	30
2°) Reconnaissance de structure du dessin.....	32
Recherche des directions privilégiées.....	33
Détermination des directions principales.....	33
Perspective conique : détermination des points de fuite.....	34
Recherche des cercles d'axes privilégiés	35
3°) Reconnaissance de structures dans l'objet.....	36
Reconnaissance d'une distribution régulière sur une surface.....	37
Reconstruction d'arêtes 3D avant de chercher la symétrie	37
4°) Reconnaissance de formes connues.....	37
Symboles 2D.....	37
Feature 3D.....	38
Métrique et topologie	38
la détection des Erreurs et ambiguïtés	39
La recherche des arêtes manquantes.....	39
Les fausses arêtes	40
Les faux sommets.....	41
Sommet non identifié.....	41
Faux sommet	41
Paramétrage par les surfaces.....	43
Paramétrage des sous-ensembles connexes d'arêtes de direction privilégiées.....	43
Le positionnement des composantes connexes.....	43
VI - LES INFORMATIONS DE STRUCTURE : RÉPÉTITIONS ET SYMÉTRIES.....	44
Lignes de constructions.....	44
Axes de symétrie.....	44
Ombrages	44
Ombres portées	44
Vues complémentaires.....	45
Les intentions du tracé.....	45
VII - INTERACTIVITÉ ET DIALOGUE GRAPHIQUE.....	46
VIII - CONCLUSION	47
ANNEXES	48
ANNEXE 1	49
ANNEXE 2	56
ANNEXE 3	65
BIBLIOGRAPHIE	79

CROQUIS PERSPECTIFS A MAIN LEVEE.

I - LES OBJECTIFS :

Promouvoir le croquis au rang de mode prépondérant dans une communication multimodale appliquée à la conception d'espaces architecturaux.

La modélisation géométrique et la gestion de données techniques font désormais partie des outils courants de tout projeteur. Néanmoins, si l'activité de dessin à la planche a été émulée et si la modélisation volumique n'est encore perçue que comme une nécessité pour accéder à l'image de synthèse, il faut se rendre à l'évidence : l'état actuel de l'informatisation des cabinets d'architectes ne convient absolument pas à une activité de conception.

L'expression graphique, considérée comme un langage naturel, employé de tout temps et sous des formes diversifiées, constitue la base d'un système de communication à inventer. D'autres modalités, la parole et même le geste, doivent pouvoir être intégrées au système. Ce dialogue doit se situer au niveau de la communication traditionnelle entre les acteurs du projet et ne pas contraindre ceux-ci à transposer leurs intentions en données numérisées et en processus qu'un système informatique puisse traiter immédiatement.

La puissance de calcul disponible, ainsi que les outils de saisie, rendent possible aujourd'hui ce niveau de dialogue qui pouvait sembler inaccessible dans les années soixante-dix.

LE ROLE DU DESSIN DANS LA CONCEPTION

L'expression graphique est traditionnellement l'outil de travail et de communication de l'architecte. Dessiner reste un langage naturel pour un architecte, au sens où l'expression par le dessin ne lui demande pas d'apprentissage particulier.

Les nouvelles générations sont avides d'apprendre à "maîtriser un logiciel" et non plus d'apprendre à dessiner. Simultanément, le travail à la planche dans les agences laisse sa place au dessin électronique. Les architectes n'auraient-ils plus besoin de dessiner et perdraient-ils à terme l'usage du dessin ?

On constate une séparation des tâches, entre ceux qui continuent à chercher des idées sur papier et ceux qui sont affectés à la saisie informatique ; les

premiers exprimant que le travail devant l'écran se traduit par une perte de créativité. Le passage du crayon à la souris n'a modifié que l'outil de production de dessin. L'introduction, relativement récente, de modèles reproduisant la morphologie tridimensionnelle du projet n'est guère exploitée que pour la visualisation de synthèse et pour communiquer les données du projet aux autres partenaires.

On peut pourtant imaginer qu'une modélisation volumique soit un modèle général, un espèce de "tronc commun de tous les modèles", qui permette d'étudier immédiatement toute modification du projet. Cette approche, qui est à l'origine de la notion de CAO, serait plutôt le pendant d'une pratique de maquette. C'est bien en ce sens qu'a été introduit le concept de maquette virtuelle¹ dès 1970, pour expliquer le rôle de cette nouvelle technologie. Les architectes qui font le choix de la maquette comme moyen d'étude, y trouvent un complément et souvent une alternative au dessin.

Mais, bien qu'infiniment modelable, la matière virtuelle nécessite autant de préparation pour sa mise en oeuvre que la construction d'une maquette réelle : au lieu de prévoir la découpe des éléments à assembler, il faut organiser le processus de construction par l'algèbre des volumes. Dans les deux cas, il faut avoir pratiquement conçu dans sa tête un objet pour entreprendre de le modéliser.

Le dessin, instrument de simulation

Comme l'étude de JC. Lebahar [LEBAHAR] l'a démontré, le dessin est un instrument de simulation indispensable à l'architecte en situation de recherche de solution à un problème.

Le croquis et l'expression graphique sous toutes leurs formes sont les moyens de prédilection pour exprimer de l'architecture. Il est à la base du dialogue du concepteur avec ses collègues et surtout avec lui même. Grande (parfois trop) est la prégnance du dessin sur la capacité à former des images mentales. Je pense aux conseils de GH. Pingusson aux étudiants de première année : "Méfiez-vous de ne pas vous laisser enfermer dans le premier trait". C'est d'ailleurs une pratique courante de dessin que d'effacer, d'atténuer la première ébauche pour laisser l'imagination opérer. Ainsi le principe énoncé par JC. Lebahar, de conception par réduction d'incertitude, verrait-il dans un premier croquis trop de certitude exprimée.

Entre des croquis, sans doute trop incertains, et la saisie des données numériques d'un projet dont l'homogénéité implique un niveau d'élaboration avancé, il y a la place pour une expression graphique plus spontanée.

L'extension des interfaces en langage naturel, vers d'autres modes d'expression, le geste, le croquis, ou à l'échelle de l'expression graphique la plus élémentaire, l'annotation graphique, conduit au concept d'une plate-forme multimodale capable d'accepter l'ensemble des modes d'expression traditionnels dans la pratique du projet d'architecture.

¹ *Jean marc BRUN, Michel THERON et moi même, équipe graphique du LIMS.*

On retiendra de ce premier tour d'horizon pour examiner la place jouée par le croquis, qu'outre l'imprécision inhérente au tracé sans instrument, le choix de points de vue non ambigus et explicites est la contre-partie d'incertitudes concertées.

Les travaux réalisés sont consacrés à la constitution de systèmes de CAO (CAO) et à l'expérience très spécifique de reconstruction de solides à partir de vues orthographiques. Cette expérience a été menée à CORETECH². Les motivations actuelles sur un logiciel à base d'interprétation de dessins en perspective résulte en grande part des leçons qui ont été tirées de cette expérience. C'est la raison pour laquelle il est utile de la situer.

Sous le vocable 3D, la modélisation volumique directe s'oppose à ce jour aux systèmes qui pendant longtemps n'ont pas eu d'autres visées que de reproduire le système de production de dessins à la planche.

Dans ce dernier cas, on assiste à un "grattage assisté par ordinateur". L'outil informatique améliore la productivité dans la mise au propre des plans. Dans le deuxième cas, force est de constater qu'il faut disposer d'une connaissance déjà très aboutie de la morphologie à modéliser pour imaginer le processus de construction du modèle. En ce sens, les modélisateurs volumiques sont plus adaptés à la modélisation des projets déjà étudiés ou dont tout au moins la conception est déjà bien avancée. Ils ne constituent pas au sens le plus strict de l'expression, une aide à la conception.

La fameuse cohérence du 3D n'est autre que la garantie de cohérence des projections orthographiques issues d'un modèle 3D unique. On peut dire qu'un concepteur ne peut élaborer une spatialisation qui maintienne la cohérence sans failles à toutes les étapes. D'où l'idée de laisser le concepteur travailler comme il l'entend, le temps de laisser émerger une solution et de le persuader de sa cohérence.

Dans ce contexte, SOLID CONSTRUCTOR a permis de passer de la modélisation automatique des solides à partir d'un ensemble de vues cotées à la modélisation directe d'un maillon entre DAO (plan et élévation) et modélisation 3D. C'est une approche différente de la modélisation 3D qui est plus respectueuse du processus de mise en forme traditionnelle.

Voici indiqué très sommairement le processus de reconstruction du solide à partir des vues :

Plusieurs vues tracées avec un système de DAO constituent les données de départ. Soit une suite de segments, de droites, d'arcs de cercles, éventuellement d'arcs d'ellipses, la séparation de ces primitives graphiques en un ensemble de vues corrélatées est effectuée interactivement.

- Un prétraitement découpe les lignes à toutes leurs intersections. Du fait de la superposition des lignes vues et cachées il y a de nombreuses jonctions en X non significatives.
- Première étape : appariement des points sur des lignes de rappel pour constituer la liste de tous les sommets possibles (couples de points).

² Sur la base de la thèse de Ferné Laquetle

II - EXPERIENCES ANTERIEURES ET MOTIVATIONS

Après presque deux décennies consacrées à la constitution de systèmes de CAO (EUCLID), une expérience très spécifique de reconstruction de solides à partir de vues corrélées a été menée à CORETECH². Les motivations actuelles sur un interface à base d'interprétation de dessins en perspective résulte en grande part des leçons qui ont été tirées de cette expérience. C'est la raison pour laquelle il est utile de la situer.

Sous le vocable 3D, la modélisation volumique directe s'oppose à ce jour aux systèmes qui pendant longtemps n'ont pas eu d'autres visées que de reproduire le système de production de dessins à la planche.

Dans ce dernier cas, on assiste à un "grattage assisté par ordinateur". L'outil informatique améliore la productivité dans la mise au propre des plans. Dans le deuxième cas, force est de constater qu'il faut disposer d'une connaissance déjà très aboutie de la morphologie à modéliser pour imaginer le processus de construction du modèle. En ce sens, les modélisateurs volumiques sont plus adaptés à la modélisation des projets déjà étudiés, ou dont tout au moins la conception est déjà bien avancée. Ils ne constituent pas au sens le plus strict de l'expression, une aide à la conception.

La fameuse cohérence du 3D n'est autre que la garantie de conformité des projections orthographiques issues d'un modèle 3D unique. On conviendra qu'un concepteur ne peut élaborer une spatialisation qui maintienne une cohérence sans failles à toutes les étapes. D'où l'idée de laisser le concepteur travailler comme il l'entends, le temps de laisser émerger une solution et de se persuader de sa cohérence.

Dans ce contexte, **SOLID CONSTRUCTOR** a permis de construire automatiquement des solides à partir d'un ensemble de vues corrélées. Au delà d'un maillon entre DAO (plan et élévation) et modélisation 3D, c'est une approche différente de la modélisation 3D qui est plus respectueuse du processus de mise en forme traditionnelle.

Voici indiqué très sommairement le processus de reconstruction du solide à partir des vues :

Plusieurs vues tracées avec un système de DAO constituent les données de départ. Soit une suite de segments, de droites, d'arcs de cercles, éventuellement d'arcs d'ellipses, la séparation de ces primitives graphiques en un ensemble de vues corrélées est effectuée interactivement.

- Un prétraitement découpe les lignes à toutes leurs intersections. Du fait de la superposition des lignes vues et cachées il y a de nombreuses jonctions en X non significatives.
- Première étape : appariement des points sur des lignes de rappel pour constituer la liste de tous les sommets possibles (couples de points).

²Sur la base de la thèse de Rémi Lequette

- Deuxième étape : recherche des arêtes (couple d'arcs) dont les extrémités sont appariables et se trouvent donc dans la liste des sommets.
- La notion de méta-fil de fer qualifie l'ensemble des arêtes trouvées, en plus grand nombre que les arêtes du solide représenté. Ces arêtes se projettent selon des droites, des arcs de cercle ou d'ellipse, elles sont également des droites, des arcs de cercle ou d'ellipse dans l'espace, (sauf la courbe d'intersection de deux cylindres, qui se projettent selon un cercle dans chacune des vues).
- Troisième étape : recherche des surfaces : pour chaque sommet, identification des surfaces s'appuyant sur les couples d'arêtes incidentes. Ces surfaces sont des plans, cônes, cylindres, sphères et tores, c'est à dire des surfaces possibles s'appuyant sur des droites ou des arcs de cercle ou d'ellipse.
- Dernière étape : recherche les circuits constituant les faces. Pour cela le système procède par exploration systématique de toutes les solutions conformes à la règle de Moebius. c'est à dire qu'un solide sera réputé valide dès lors que pour l'ensemble de ses faces orientées, chaque arête est utilisée deux fois et parcourue en sens inverse.

Pour trouver un solide il est donc nécessaire de dessiner toutes les arêtes, visibles ou cachées. Les arêtes superflues du méta-fil de fer sont évincées, il faut vérifier qu'il reste au moins une autre arête qui se projette sur chacun des segments du dessin.

QUELQUES REMARQUES :

Le prétraitement

La séparation des vues pourrait dans la plupart des cas s'effectuer automatiquement, comme cela se fait pour l'analyse automatique de la structure de document. La découpe systématique des segments est à proscrire dans l'application à la perspective envisagée ici.

Améliorations

En complément, deux vérifications pourraient être effectuées pour éviter de proposer des solutions non conformes aux données :

- La première concerne l'auto-intersection des faces, (les inégalités introduites par Sugihara traduisent ces conditions). Il n'est pas licite de trouver dans le modèle des intersections dont le tracé aurait été omis.
- L'autre consiste à vérifier que, dans chacune des vues fournies, la visibilité des arêtes vues (tracées entrain continu) est conforme à leur tracé. Et inversement que les arêtes cachées (tracées en tireté) sont bien occultées

par au moins une des faces de la solution. Cela revient donc à procéder à un dessin complet avec élimination des lignes cachées.

Suite de l'expérience

On peut envisager un système de communication élargi à base de dessins :

- dessins à main levée, dimensionnés après coup, en gardant l'expression du dessin industriel,
- acquisition de dessins en axonométrie, ou en perspective, et construction du solide en utilisant la phase finale de **Solid Constructor**, une fois acquis le fil de fer 3D.

Les critères globaux présentent une trop grande sensibilité à une modification locale. En effet, la recherche de solution par exploration systématique de toutes les possibles, entraîne la remise en cause de la totalité des solutions précédentes à la moindre modification. Aussi, l'utilisateur qui a pu apercevoir une proposition très précise de celle qu'il a eu l'intention de communiquer...

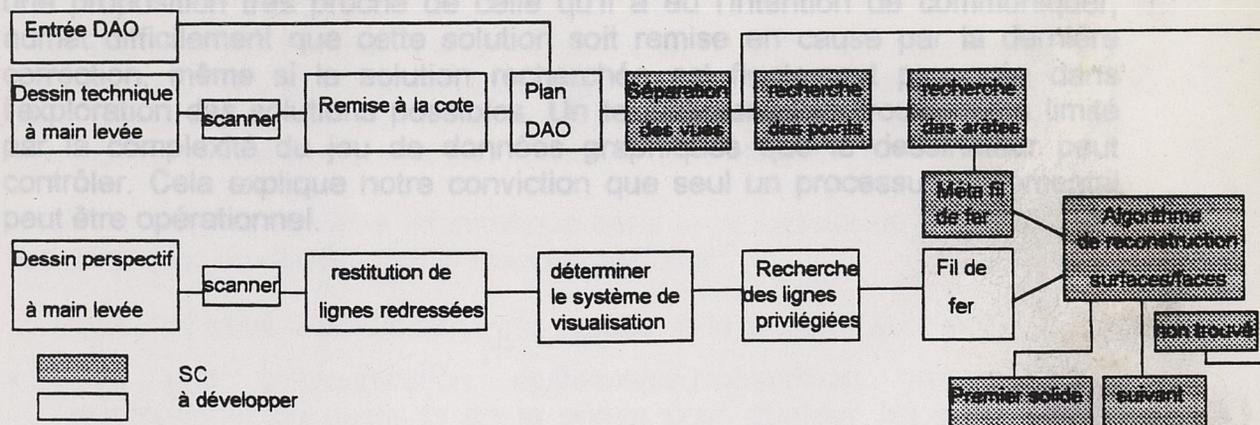


Fig. (1) Reconnaissance de dessins perspectifs comme entrée auxiliaire de SOLID CONSTRUCTOR

Remarque méthodologique

Elle concerne l'ordre dans lequel interviennent les propriétés topologiques et métriques du dessin. En effet, l'étape finale de la reconstruction est une exploration purement logique d'une structure de donnée de sommets, de faces et d'arêtes. Cette phase est totalement topologique. Au contraire, la constitution de ces données, à savoir la recherche des sommets possibles qui constitue la première étape, s'appuie sur les propriétés métriques.

La méthodologie de reconstruction est donc contraire, sous cet aspect, à un processus qui peut paraître plus naturel consistant à identifier d'abord des limites et des régions afin de détecter les solutions topologiques viables, puis à rechercher une implémentation spatiale s'appuyant sur les propriétés métriques extraites des données.

L'entrée DAO justifie, par la précision des données, une exploitation stricte des alignements selon les lignes de rappel. Un dessin à main levée n'autorise pas la même précision, et la préférence va alors au travail sur une vue unique.

CRITERES GLOBAL / PROCESSUS INCREMENTAL

A noter aussi, l'opposition entre une vérification globale, ici la règle de Moebius, (ou la relation d'Euler) et des propriétés locales exprimées dans un dictionnaire de jonctions.

Les critères globaux présentent une trop grande sensibilité à une modification locale. En effet, la recherche de solution par exploration systématique de tous les possibles, entraîne la remise en cause de la totalité des solutions précédentes à la moindre modification. Aussi, l'utilisateur qui a pu apercevoir une proposition très proche de celle qu'il a eu l'intention de communiquer, admet difficilement que cette solution soit remise en cause par la dernière correction, même si la solution recherchée est finalement proposée dans l'exploration des solutions possibles. Un tel processus se trouve alors limité par la complexité du jeu de données graphiques que le dessinateur peut contrôler. Cela explique notre conviction que seul un processus incrémental peut être opérationnel.

- L'ordre du tracé, éventuellement la vitesse et la pression sont mesurés.
- Dans une communication multimodale, l'expression graphique est "accompagnée" du geste et de la parole pour qualifier les objets et les actions.
- Le système gère les états antérieurs, les entrées graphiques dessinées sur fond de perspective calculée, partant connue du système.

Entre les croquis d'observation et le croquis de présentation des contours, c'est l'activité graphique, sous forme de croquis d'étude, traditionnellement sur tiers de calque, qui est réellement caractéristique de la situation de conception. Dans un environnement informatisé, le tiers de calque est remplacé par une impression de l'état du projet.

LE DESSIN DANS UN PROCESSUS DE SIMULATION GRAPHIQUE

Ce processus a été observé lors d'une visite effectuée à l'agence Dollander (voir l'annexe III). Dans un jeu de ping-pong entre le dessin d'architecte et le dessin informatique, c'est ici l'ordinateur qui commence, il s'agit de réhabilitation. L'architecte recherche une solution en effectuant de nombreuses simulations graphiques à main levée sur fond de perspectives calculées. Lorsqu'une solution émerge, l'architecte procède à une modélisation

III - LES DESSINS D'ARCHITECTE

Le dessin d'architecte, ou plus exactement le croquis d'architecture est une forme d'expression trop libre pour envisager qu'un système informatique puisse l'interpréter tel quel.

Pour cela il faudrait que des connaissances à priori soient introduites : on ne saurait le faire que dans des domaines restreints d'application comme les plans de coffrage, les plans de cellules, etc.

Par ailleurs, l'étendue des échelles de représentation effectivement utilisées sur un même document, ne facilite guère l'identification d'objets connus, ni l'application d'un corpus de règles applicables à un système de représentation homogène. On a vu le rôle essentiel de l'incertitude dans le dessin de conception : le dessin à main levée n'est pas un dessin imprécis par maladresse qu'il suffirait de rectifier.

Il est désespéré de vouloir interpréter des croquis extraits du contexte où ils ont été produits. Mais il n'est pas exclu qu'un système informatique intègre ce mode d'expression. On peut tabler par ailleurs sur une certaine adaptation du dessinateur au destinataire de son message, ici l'ordinateur.

Ainsi, intégrant le système informatique dans le processus de la conception, des propriétés du dessin deviennent accessibles :

- L'ordre du tracé, éventuellement la vitesse et la pression sont mesurés.
- Dans une communication multimodale, l'expression graphique est "accompagné" du geste et de la parole pour qualifier les objets et les actions.
- Le système gère les états antérieurs, les entrées graphiques sont dessinées sur fond de perspective calculée, partant connue du système.

Entre les croquis d'observation et le croquis de présentation dans un concours, c'est l'activité graphique, sous forme de croquis d'étude, effectué traditionnellement sur tiers de calque, qui est réellement caractéristique d'une situation de conception. Dans un environnement informatisé, le tiers de calque est remplacé par une impression de l'état du projet.

LE DESSIN DANS UN PROCESSUS DE SIMULATION GRAPHIQUE

Ce processus a été observé lors d'une visite effectuée à l'agence Dollander (voir l'annexe III). Dans un jeu de ping-pong entre le dessin d'architecte et le dessin informatique, c'est ici l'ordinateur qui commence, il s'agit de réhabilitation. L'architecte recherche une solution en effectuant de nombreuses simulations graphiques à main levée sur fond de perspectives calculées. Lorsqu'une solution émerge, l'architecte procède à une modélisation

en vue d'une simulation calculée. Il serait tout à fait fantastique que cette modélisation résulte d'une interprétation automatique du dessin. Sur cette planche, on constatera que le collaborateur d'architecte chargé de la modélisation a une part d'interprétation considérable qu'on n'envisage pas de confier à une machine.

Quelques remarques pour relativiser ce constat :

- Tout d'abord le croquis présenté ici, témoigne d'une simulation graphique suffisante pour l'architecte. Celui-ci se prêterait volontiers à un redessin rapide sur calque, conforme à la modélisation escomptée, complété d'annotations éventuelles (indications d'axes de symétrie, etc.).
- Ces croquis sont effectués sur fond de perspective, connue de l'ordinateur. L'accrochage des éléments nouveaux, sur un modèle connu, simplifie considérablement la complexité de la tâche. Il n'y a pas à rechercher le point de vue, l'analyse se ramène à une somme de modifications locales.
- Les indications morphologiques sont trop éloignées de conventions de dessin pour être interprétées, mais la répétition d'éléments semblables est perceptible. Se pose donc le problème de reconnaître des répétitions et des symétries et d'accepter des parties de croquis comme des ensembles dont la morphologie sera précisée ultérieurement.

Ainsi un croquis doit pouvoir comporter des imprécisions volontaires, suggérer des parties qui n'ont pas encore été étudiées ou qu'il n'est pas encore souhaitable de communiquer. Lorsqu'un consensus doit être négocié sur la solution que le croquis traduit, on préfère que le document ne précise pas encore ce qui ne fait pas partie de la négociation. Aussi, la remarque précédente, "ne pas se laisser enfermer dans le dessin", se retrouve ici sous une forme plus détaillée ; ne pas se laisser enfermer par l'évocation trop hâtivement précise de détails.

On retiendra que l'on est tenu d'accepter des ensembles de traits qu'on ne sait pas interpréter quitte à les traiter ultérieurement.

LES MODES DE REPRESENTATIONS EN USAGE

Aussi naturel que puisse nous paraître le dessin en perspective d'un volume représenté par ses arêtes, cela relève de conventions somme toute assez récentes. C'est un fait de civilisation. La perspective n'a été introduite qu'au quattrocento.

L'informatique devrait par ailleurs permettre d'introduire des modes de représentations adaptés. A titre d'exemple, les développements de pliage établissent une relation autre qu'une projection entre la représentation de conception (ou de fabrication) et la représentation spatiale. Au même titre, les développées de façades ou les vues panoramiques peuvent constituer des

alternatives.

La convention introduite par la géométrie descriptive et reprise en grande partie par le dessin technique, consiste à représenter les arêtes des objets, en caractérisant les arêtes cachées par un tracé en tiretés. Pour les objets non polyédriques, les arêtes de contour apparent sont tracées.

Les arêtes de tangences (continuité C1 : arête séparant deux faces avec continuité de la dérivée première mais non de la dérivée seconde), peuvent être tracées en traits fins. Solid Constructor n'exige pas leur tracé : le raccord tangent de deux arcs est incontestable dans l'analyse d'une entrée DAO. Dans l'analyse des croquis, l'identification des jonctions en L est suffisamment sujette à caution pour ne pas envisager l'oubli des arêtes de tangences.

Les règles de visibilité sont déterminantes. Les processus de reconstruction diffèrent totalement selon que les parties cachées sont ou non dessinées.

Ainsi des règles simples, différenciant par une graduation des types de tracés le nombre d'occultation, a été proposé car réalisable aisément sur machine. Inversement cette caractérisation n'est pas utilisable pour faciliter l'interprétation d'un dessin à main levée, car elle exigerait un soin dans l'exécution du dessin incompatible avec l'idée de "sketch".

NON RESPECT DES REGLES DE DESSIN

Ces règles claires ne sont pas strictement respectées dans les dessins techniques. Une règle d'exception est connue de tous : on ne coupe pas sur une nervure par exemple (ni dans le plan d'un mur). Le plus fréquemment des lignes sont omises. En effet, il arrive souvent que des lignes cachées ne soient pas tracées. Leur tracé diminuerait la lisibilité globale. La question a été posée à des enseignants de dessin technique, examinateurs au Baccalauréat : existe-t-il des règles permettant d'établir qu'une lacune est licite, ou doit être sanctionnée comme oubli ? c'est affaire de bon sens.

La recherche automatique d'arêtes de bout issues des jonctions en L non utilisées sur une vue, fournit une correction partielle.

Approximation de la géométrie en fonction de l'échelle des détails

Les dessins tracés aux instruments, ou en DAO, comportent des erreurs de dessin par simplification. Par exemple, une porte plein cintre percée dans un cylindre, sera confondue, dans la vue latérale, avec la génératrice de contour apparent du cylindre. Mais quel dessinateur prendrait le soin de dessiner, même en DAO, la représentation rigoureuse, qui comporte une génératrice presque confondue avec le contour apparent, et un arc d'hyperbole ? (voir Fig (2a))

Des traits doubles, rendent compte des épaisseurs, épaisseur de maçonnerie, surépaisseur de la modénature. Pour autant, les jonctions ne respectent pas toujours une cohérence de solide conforme au niveau de détail de cette indication d'épaisseur.

Fig. (2a) Simplification au voisinage d'un contour apparent

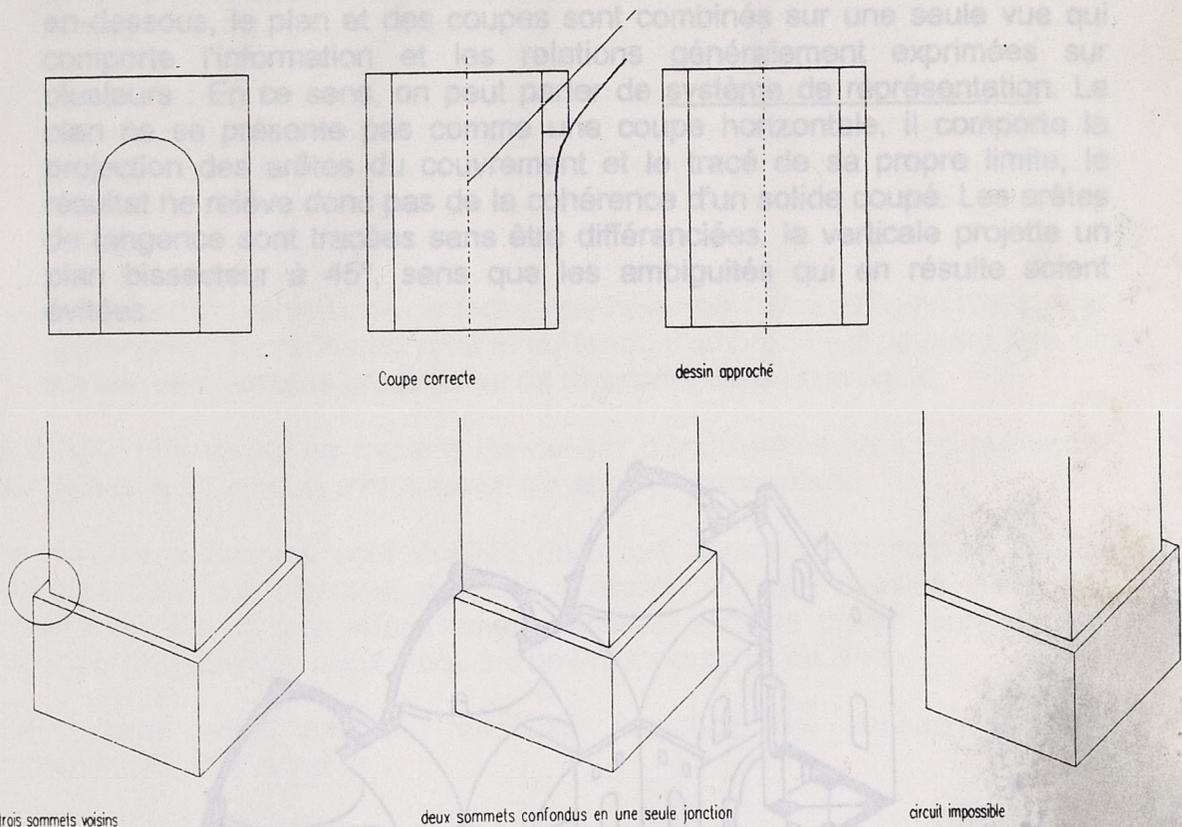


Fig. (2b) Simplification des jonctions, pour de petites surépaisseurs

La triple jonction de l'angle d'une surépaisseur dessinée ci-dessus subit plusieurs niveaux de dégénérescence selon l'échelle du détail fig. (2b). Les équipements sont fréquemment représentés par des symboles, les lignes dessinées ne correspondent plus alors à une cohérence de solide. Au delà de la simple juxtaposition d'un système projectif et d'un système symbolique, les conventions même de la projection peuvent s'inverser. Ainsi, dans le cas d'un plan de coffrage, la direction de la projection et la direction du regard pour la visibilité sont inversées.

Reconnaître un tracé de plan de coffrage tracé à main levée sur fond de plan, comme l'expression d'un choix structural, s'accorde bien avec notre problématique. Il faut pour cela établir un contexte à priori et disposer d'une

base de connaissance des conventions de dessins propres à ce type de document technique.

Concernant le dessin d'architecture, les conventions de dessins sont moins strictement établies. Montrons la diversité des modes d'expressions de trois références qui font partie de la culture des architectes qui empruntent inconsciemment les façons de faire :

- **A Choisy** a introduit un système de représentation adapté au besoin d'expliquer l'architecture et la construction. Outre le choix de visualiser par en-dessous, le plan et des coupes sont combinés sur une seule vue qui comporte l'information et les relations généralement exprimées sur plusieurs. En ce sens, on peut parler de système de représentation. Le plan ne se présente pas comme une coupe horizontale, il comporte la projection des arêtes du couverture et le tracé de sa propre limite, le résultat ne relève donc pas de la cohérence d'un solide coupé. Les arêtes de tangence sont tracées sans être différenciées. la verticale projette un plan bissecteur à 45°, sans que les ambiguïtés qui en résulte soient évitées.

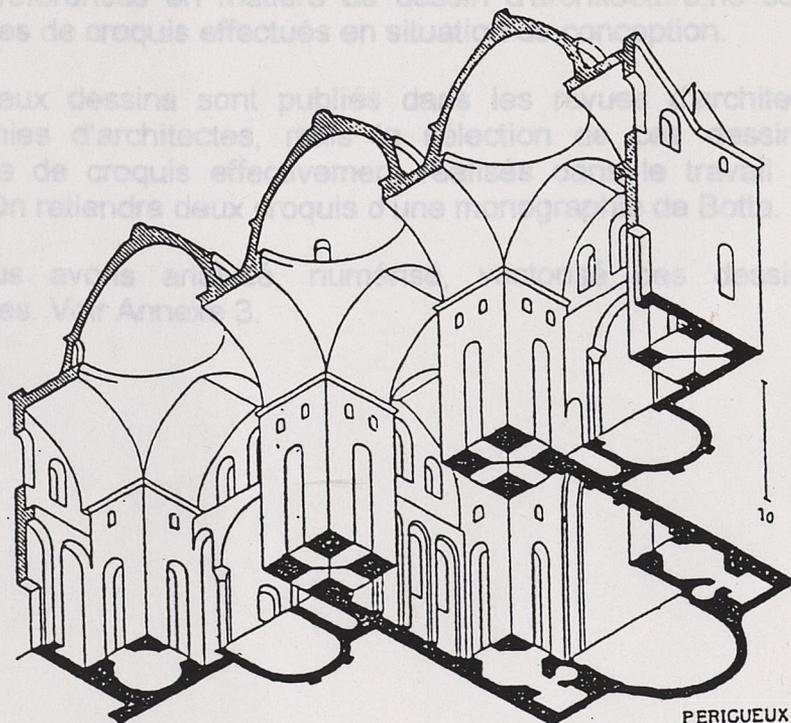


Fig. (3) Système de représentation axonométrique d'A CHOISY

- Les nombreux croquis de **Frei Otto** illustrent une très grande variété de formes avec une manière de dessiner homogène et concise. Ici les objets représentés sont des solides, surfaces ou câbles. En général, un processus de génération est perceptible ce qui suggère de rechercher dans un dessin une structure sous-jacente. Il est remarquable que les surfaces dessinées résultent de lois physiques (équilibre de tension...) et soient parfaitement lisibles bien que non habituelles.

Des maillages de surfaces sont fréquemment ajoutés pour expliciter les surfaces. En accord avec la représentation classique des surfaces par un réseau de courbes iso-u et iso-v.

- Les carnets de croquis de **A. Laprade** sont l'exemple du dessin précis, contenant le maximum d'information. On appréciera l'habileté avec laquelle certaines parties de dessin sont déformées afin de mieux expliciter l'objet tel qu'il a été compris. Les faces de bout sont gauchies pour être observables.

L'observation de textures de faces scannées montre la difficulté d'effectuer une segmentation des textures et du rendu d'ombre. Il est pourtant rare de trouver ce niveau de précision et de régularité dans un croquis.

Ces trois références en matière de dessin d'architecture, ne sont nullement significatives de croquis effectués en situation de conception.

De nombreux dessins sont publiés dans les revues d'architecture ou les monographies d'architectes, mais la sélection de ces dessins n'est pas significative de croquis effectivement réalisés dans le travail journalier de l'agence. On retiendra deux croquis d'une monographie de Botta.

Enfin, nous avons analysé, numérisé, vectorisé des dessins d'agence authentiques. Voir Annexe 3.

FIG. (4) FREI OTTO Dessins de solides et câbles

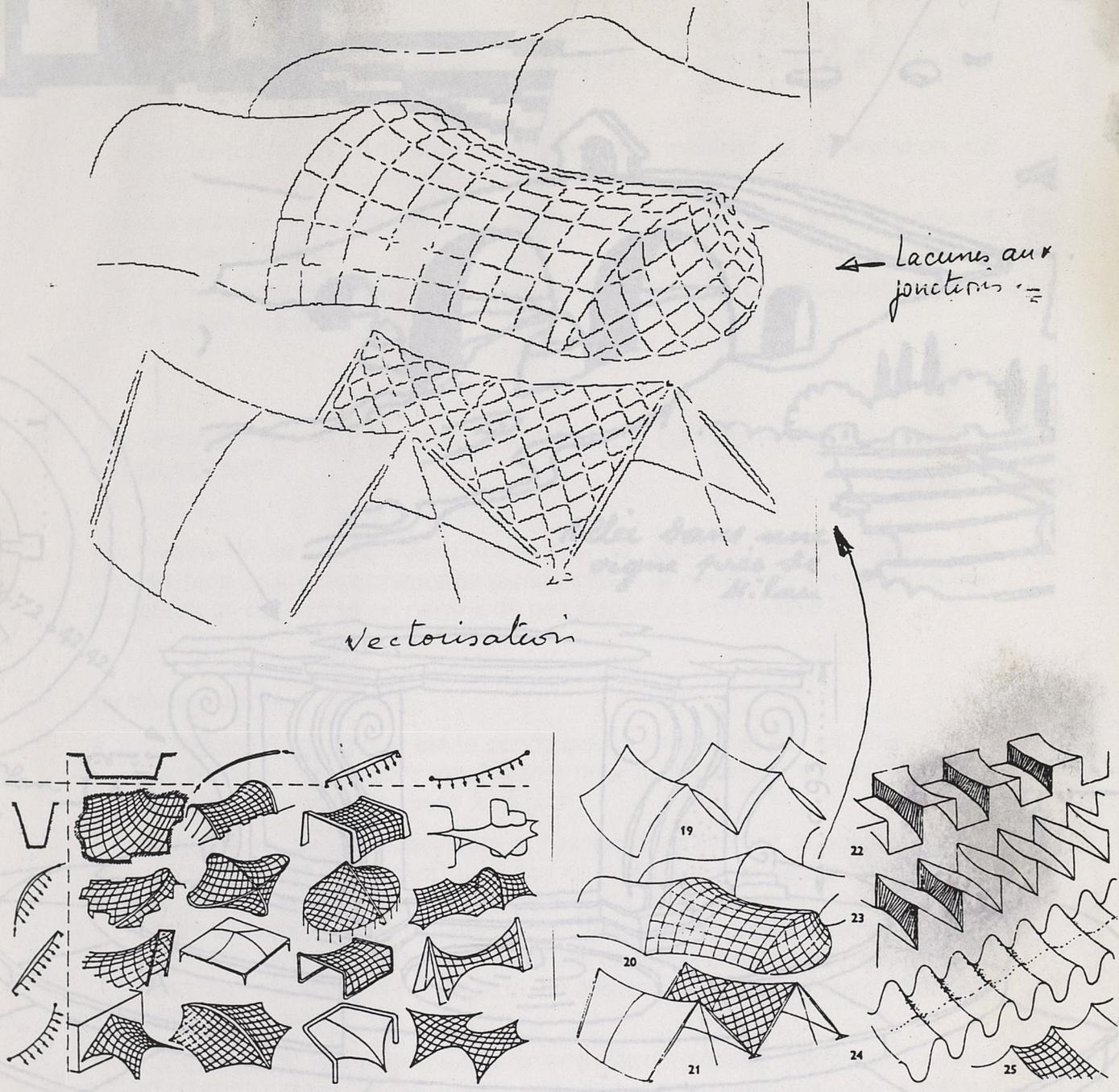


FIG. (4) FREI OTTO Dessins de résilles et cables

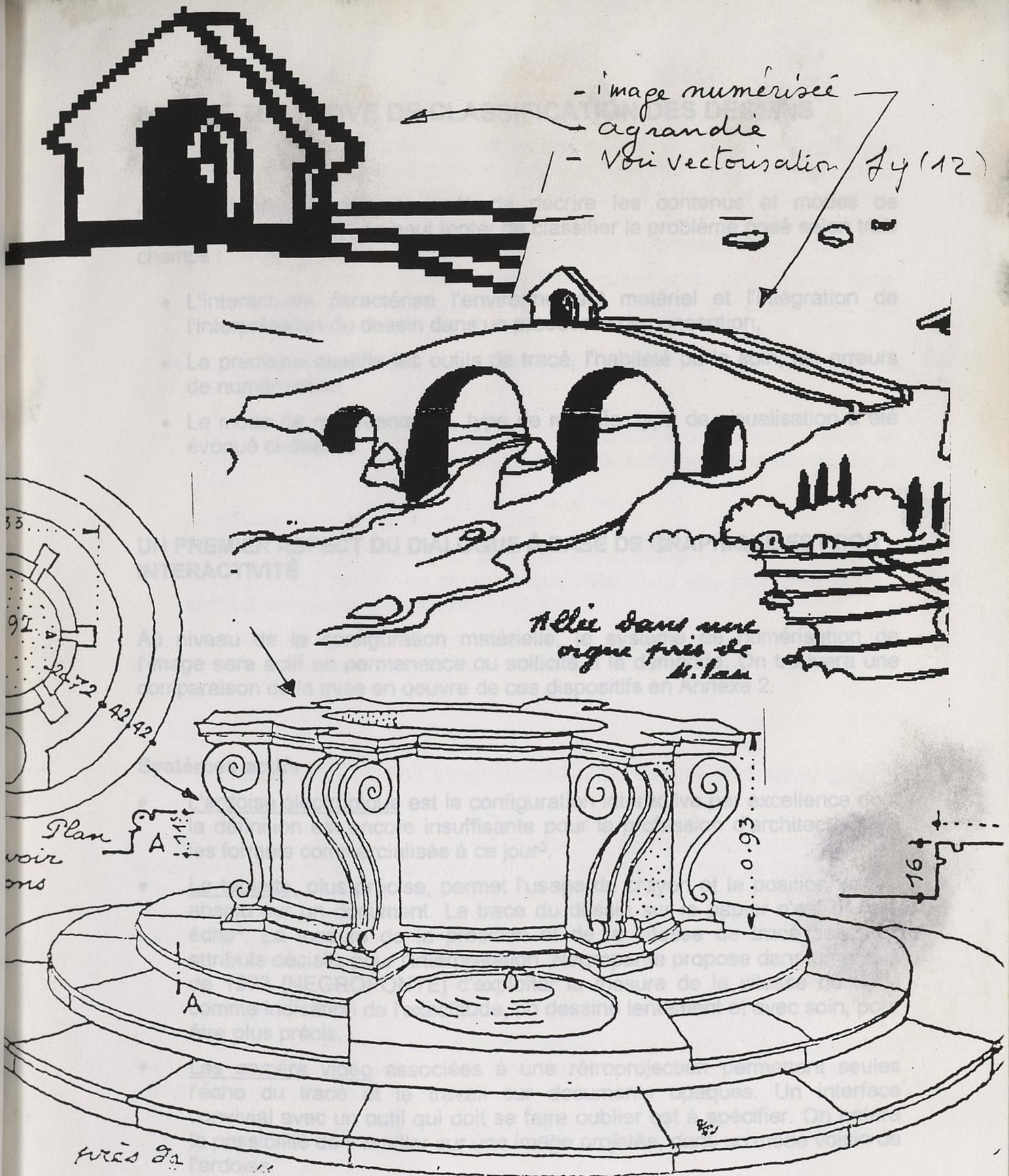


FIG. (5) croquis de A. LAPRADE

IV - UNE TENTATIVE DE CLASSIFICATION DES DESSINS

Ayant fixé les objectifs et tenté de décrire les contenus et modes de représentation utilisés, on peut tenter de classer le problème posé selon trois champs :

- L'interactivité caractérise l'environnement matériel et l'intégration de l'interprétation du dessin dans un processus de conception,
- La précision qualifie les outils de tracé, l'habileté ou le soin, les erreurs de numérisation,
- Le mode de représentation, type de modèle, type de visualisation a été évoqué ci-dessus.

UN PREMIER ASPECT DU DIALOGUE À BASE DE GRAPHIQUE EST SON INTERACTIVITÉ

Au niveau de la configuration matérielle, le système de numérisation de l'image sera actif en permanence ou sollicité à la demande. On trouvera une comparaison de la mise en oeuvre de ces dispositifs en Annexe 2.

Systemes actifs :

- L'ardoise électronique est la configuration interactive par excellence dont la définition est encore insuffisante pour la profession d'architecte dans les formats commercialisés à ce jour³.
- La tablette, plus précise, permet l'usage du crayon et le positionnement absolu sur un document. La trace du dessin sur le papier n'est pas un écho⁴. La mesure de la pression et de la vitesse de tracé sont des attributs décisifs pour l'interprétation. Negroponte propose dans un article de 1973 [NEGROPONTE] d'exploiter la mesure de la vitesse du tracé comme indication de l'exactitude, on dessine lentement et avec soin, pour être plus précis.
- Les caméra vidéo associées à une rétroprojection permettent seules l'écho du tracé et le travail sur documents opaques. Un interface convivial avec un outil qui doit se faire oublier est à spécifier. On notera la possibilité de travailler sur une image projetée, dans un mode voisin de l'ardoise.

Toutes ces variantes interprètent le même langage graphique à base de signes conventionnels.

³De nouvelles ardoises, plus grandes, plus précises seront disponibles à moyen terme

⁴le système Tacite, développé au LIMSI il y a 20 ans, était constitué d'une tablette transparente placée devant l'écran. on peut le considérer comme l'ancêtre des ardoises électroniques actuelles.

Systemes sollicités :

- Le scanner à main est disponible à tout instant. L'échelle de temps n'est plus celle du suivi d'un geste (vitesse, accélération mesurée au 1/10 s), mais le temps du concepteur pour l'élaboration de solutions partielles. Les annotations placées sur le dessin relèvent des mêmes conventions de langage graphique mais elles ne sont pas ordonnées dans le temps.
- Le scanner à plat autorise l'usage de documents de plus grande taille, comme la saisie d'un site et le travail direct au crayon sur les documents.

Tous ces dispositifs ne diffèrent que par la définition de l'image et la fréquence des échanges.

- L'ardoise électronique mesure un échantillonnage de points. Le sens de parcours, la pression, la vitesse de tracé sont des paramètres de la saisie.
- Le scanner fournit une image précise.
- La caméra devra comparer des images successives pour déterminer l'évolution du dessin, ou ne saisir que l'état final. Elle peut être utilisée comme un scanner de précision médiocre.

Dans le cadre du développement d'une plate-forme multimodale au LIMSI, un projet associant expression graphique, gestuelle et parlée a été proposé.

LA PRÉCISION, OU PLUTÔT L'IMPRÉCISION DU CROQUIS À MAIN LEVÉE

Le dessin à main levée n'est pas un dessin qui aurait pu être plus précis s'il avait été tracé à l'aide d'instruments. Il a la valeur évocatrice de l'imprécision. Il est incomplet et in-homogène relativement à la nature des objets présentés et aux règles déduites de la topologie des surfaces. Il a sa logique : il est homogène dans ce qu'il choisit de montrer.

Bruit ou incertitude

Les imprécisions liées au système de production et de mesure : hésitation de la main, grain du papier, numérisation, binarisation, etc. sont considérées comme des **bruits** et devront être filtrées.

Les imprécisions intentionnelles, traduisant une **incertitude** à réduire, doivent être respectées.

La vectorisation et l'extraction de primitives graphiques impliquent une connaissance de la précision du tracé et de la résolution de la numérisation. L'interprétation des primitives graphiques et les étapes ultérieures de reconstruction considéreront les libertés prises avec le tracé théorique. Un facteur d'échelle, exprimant le rapport entre l'erreur et la taille de ce qui peut être négligé, doit être défini à plusieurs niveaux.

Plusieurs **facteurs de précision** seront nécessairement introduits :

- Le premier, entre les deux grandeurs fondamentales du tracé et de la mesure. C'est à dire le rapport entre l'épaisseur des lignes et la taille du pixel.
- Le deuxième, entre le plus petit intervalle blanc séparant deux lignes et le pixel.

Imprécision angulaire

Ce type d'imprécision est essentiellement lié au non respect du système de visualisation. Le défaut de parallélisme pour une axonométrie ou le défaut de convergence des fuyantes pour une perspective, permettent d'évaluer un facteur de précision angulaire global.

Les lignes de construction définissent fréquemment des mailles à l'intérieur desquelles un facteur de précision angulaire local spécifique, (souvent de valeur différente du reste du dessin), doit être apprécié. Voir fig. (6)

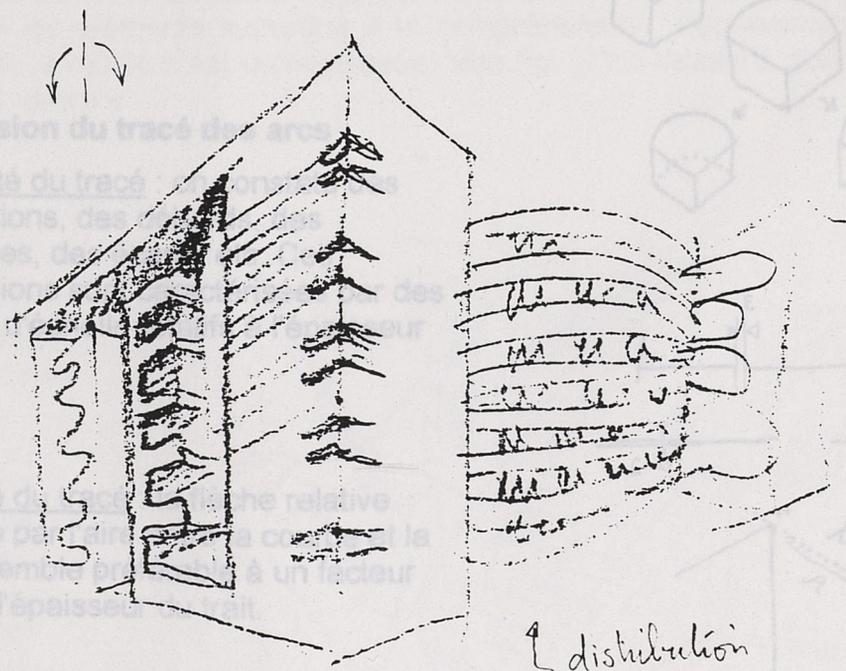
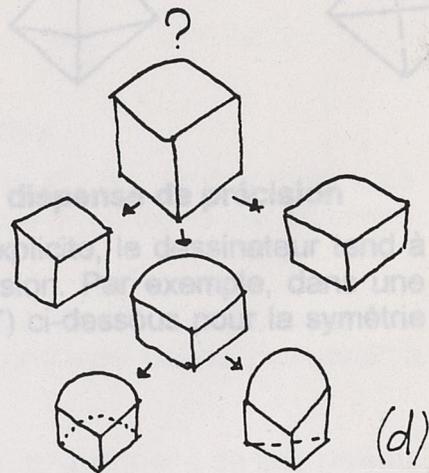
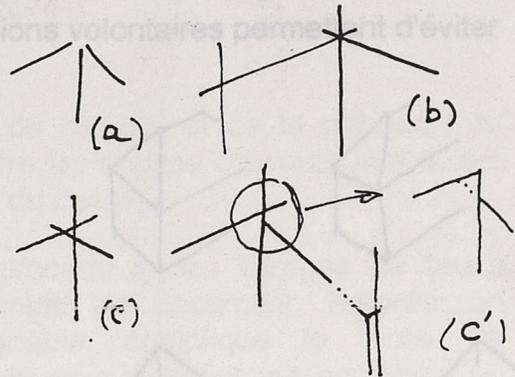


Fig. (6) Page 65 de [BOTTA] *Bâtiment résidentiel à Berlin, construit en 1981.*

Imprécision de jonction

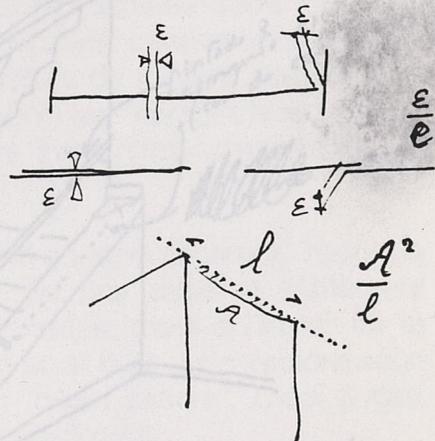
Certaines sont liées au dessin, d'autres au traitement de l'image. On notera par exemple:

- Arcs non jointifs, (a)
- Dépassement, souvent systématique, (b)
- Convergence non assurée, ou proximité vraie, (c) (c')
- Jonction escamotée par dessin rapide (liaison en L), (d)



Imprécision du tracé des arcs

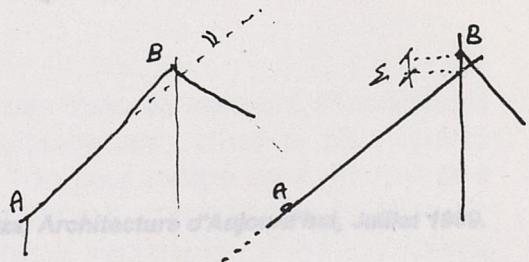
La qualité du tracé : on constate des interruptions, des débords, des retraçages, des écarts, etc. Ces imprécisions sont caractérisées par des facteurs d'échelle relatifs à l'épaisseur du trait.



Linéarité du tracé : la flèche relative (évaluée par l'aire entre la courbe et la corde) semble préférable à un facteur relatif à l'épaisseur du trait.

Transfert - Imprécision de jonction / non-linéarité du tracé

Ligne qui s'incurve pour rejoindre une jonction, ou jonction incertaine (lignes non concurrentes) pour maintenir une direction.

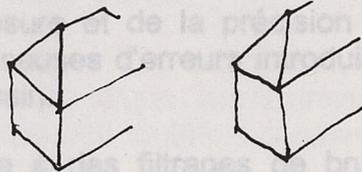


Transfert - Imprécision / ambiguïté

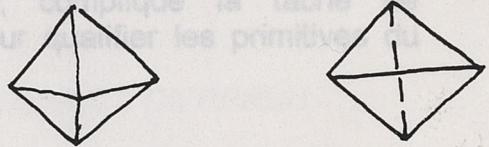
Contrairement à ce qui précède, des distorsions volontaires permettent d'éviter des situations ambiguës.

Par exemple :

Fausse arête, non dans une direction privilégiée



Tétraèdre ou pointe de diamant



Imprécision globale : la régularité de structure dispense de précision

Quand la structure du dessin est suffisamment explicite, le dessinateur tend à négliger les éléments superflus à la compréhension. Par exemple, dans une symétrie, la moitié n'est qu'esquissée. Voir fig. (7) ci-dessous pour la symétrie et les répétitions.

Escalier.

Dans la répétition des marches d'un escalier, seules les premières marches sont dessinées avec précision.

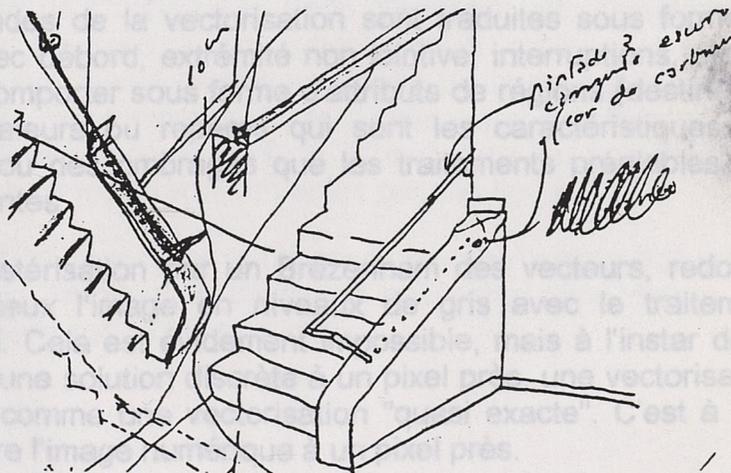


Fig. (7) Dessin de Alvaro Siza, *Architecture d'Aujourd'hui*, Juillet 1989.

Imprécisions introduites par le traitement lors des phases de nettoyage classiques :

- Suppression des petites taches
- Lissage des pixels blancs inclus ou en bordure
- Interruption ou barbule de squelettisation

En fonction de la résolution de l'appareil de mesure et de la précision du dessin, on constatera des interférences entre les causes d'erreurs introduites par le traitement d'image et les imprécisions du dessin.

Contrairement au traitement d'image qui procède à des filtrages de bruits répartis de façon homogène sur l'ensemble du document, l'imprécision introduite par le dessinateur est variable, complique la tâche de reconnaissance mais peut être mise à profit pour qualifier les primitives du dessin.

Une structure de donnée intégrant les incertitudes

En conclusion de la diversité de situations et de l'imbrication des interprétations, une structure de donnée, adaptative et partagée par plusieurs processus de traitement, est nécessaire.

Les premiers traitements sur l'image numérique aboutissent à une structure de graphe, formée d'arcs et de noeuds. Il serait commode de ne pas avoir à accéder ultérieurement à l'image numérique.

Pour cela, il est impératif de conserver une structure vectorielle de bas niveau, comportant autant de vecteurs que nécessaire, pour traduire *fidèlement* le document. Les incertitudes de la vectorisation sont traduites sous forme de propriétés : jonction avec débord, extrémité non jointive, interruptions, etc. Le modèle vectorisé doit comporter sous forme d'attributs de régions (destinées à être des faces), les valeurs ou repères qui sont les caractéristiques des surfaces, des textures ou des ombrages que les traitements préalables à la vectorisation ont segmentés.

L'idéal serait que la rastérisation par un Brézenham des vecteurs, redonne l'image binaire, (ou mieux l'image en niveaux de gris avec le traitement *d'antialiasing* approprié). Cela est évidemment impossible, mais à l'instar de la rastérisation qui fournit une solution discrète à un pixel près, une vectorisation "fidèle" peut se définir comme une vectorisation "quasi exacte". C'est à dire susceptible de reproduire l'image numérique à un pixel près.

Image numérique à résolution variable

On remarquera qu'à une résolution plus fine, ces textures seraient assimilées à des données vectorielles alors que, paradoxalement, c'est à plus grand échelle, avec une résolution plus faible, que l'on peut mettre en évidence des lois de variation de niveau de gris utilisables pour les ombrages (orientation de la normale). Entre l'image numérique et l'image vectorisée, y aurait-il place pour une mémoire de données raster à traiter ultérieurement, ou tout au moins

dans un autre traitement avec une autre résolution ?

Résolution vectorielle à précision variable

Les vecteurs d'approximation des arcs sont regroupés en une seule entité dans laquelle il n'y a pas lieu de rechercher les connexités internes. La taille des données vectorielles croît proportionnellement au nombre des vecteurs, mais la complexité des comparaisons est liée au nombre d'arcs.

Une vectorisation à précisions multiples est possible, elle associerait au modèle "fidèle aux données", un modèle résultant d'une approximation grossière pour l'efficacité des traitements. Ce modèle doit toutefois conserver la topologie des régions.

LA NATURE DES OBJETS REPRÉSENTÉS ET LE MODE DE RENDU

Les modèles

Les objets du monde réel sont des volumes, mais leur représentation utilise des abstractions en surfaces et en lignes. Dans ce cas, le système de reconnaissance de dessin ne peut fonctionner en appliquant exclusivement des règles de cohérence de solides, comme la règle de Moebius évoquée précédemment qui est utilisée dans Solid Constructor pour rejeter les organisations de faces non conformes.

Outre des composantes du langage graphique : annotations, système d'axe, axes de symétrie, lignes de construction, ligne d'horizon, etc. caractérisées parce qu'elles précèdent les axes ou sont ultérieures au croquis, et sont, si possible, tracées avec une qualité graphique (réelle ou annoncée) distincte, chaque croquis comporte des éléments solides, mais aussi des éléments de faible épaisseur représentés par une surface à bord libre, ou des éléments longilignes (poutres, tuyauteries..) représentables par des lignes.

Kanade a introduit la notion de surface et propose une labellisation des arêtes pour des objets mixtes. L'introduction de lignes nécessite, sans doute, une séparation préalable fondée sur un type de tracé.

Le mode de rendu

L'habillage des dessins, hachurage de parties coupées, ombres portées, textures, ou modénatures dessinées, sont autant d'éléments du graphique que l'on souhaiterait séparer du strict tracé de la morphologie. Là aussi, une séparation dans le temps, ou par l'épaisseur des traits peut se révéler indispensable.

Le rendu de matière ou de modelé par points rend délicat le nettoyage des petites taches généralement effectué en première étape du traitement.

Un hachurage de face tangentant ou mordant sur le contour est généralement cause de découpage excessif du contour, ou d'épaississement non squelettisé. Le suivi des éléments de contour est donc fortement handicapé par une texture qui, par ailleurs, permet globalement de l'identifier. Pour s'en convaincre, voir l'agrandissement d'un croquis fig. (8) particulièrement net de Frei Otto. Cet exemple est très spécifique, car les hachures indiquent l'évolution des génératrices d'une surface réglée. Dans ce cas, la recherche d'un squelette à demi épaisseur de trait serait efficace ; toutes les hachures joignent le trait sans déborder.

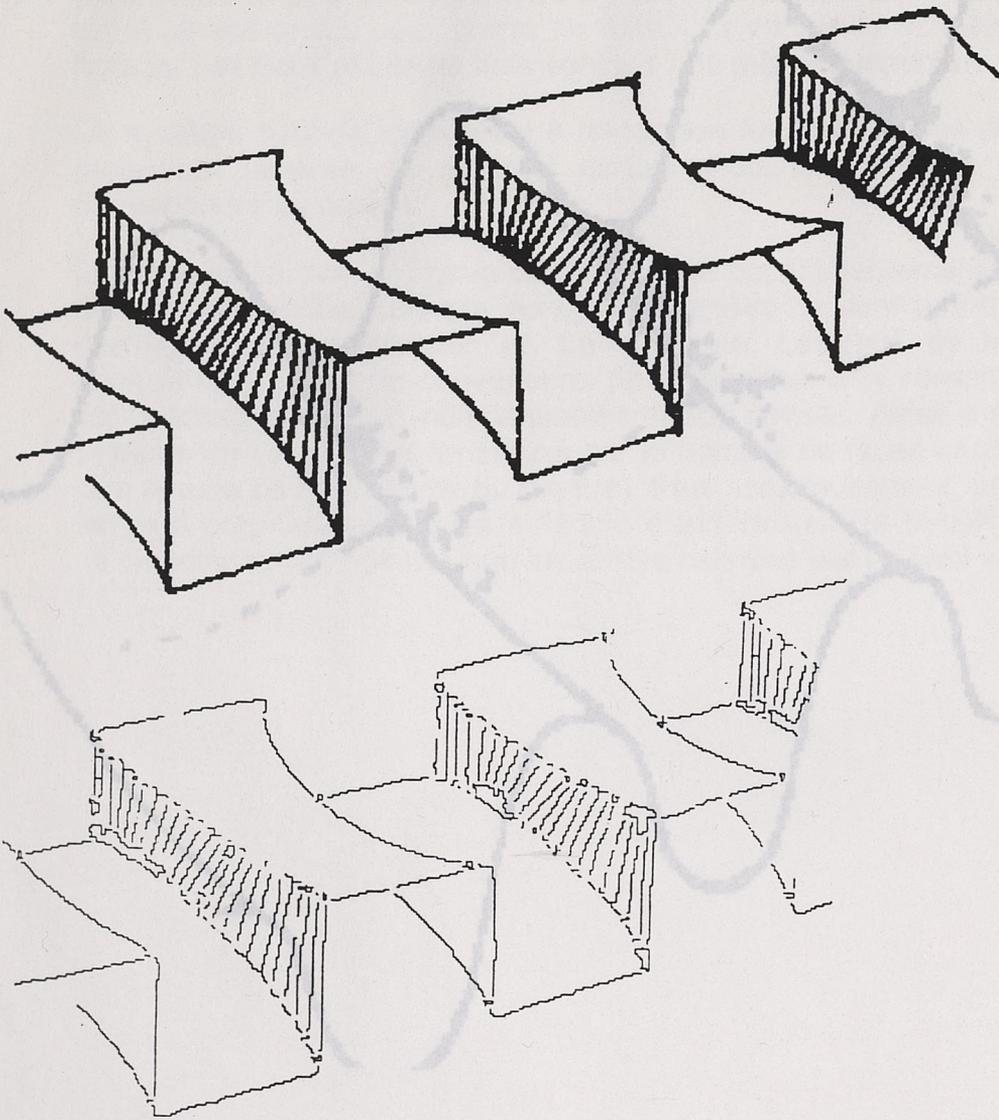


Fig. (8) [OTTO] page 83

Les hachures ne sont pas parallèles, elles représentent un réseau de câbles.

Le mode de visualisation

Le mode de visualisation considéré ici, est la perspective que l'architecte sait tracer à main levée. Cela ne peut constituer une définition, chacun a son savoir faire. Nous écartons la perspective cavalière qui est souvent construite à partir de plans préexistants.

Il s'agit, le plus souvent, de constructions conventionnelles, déterminées par la donnée (dessinée) de trois axes et échelles. Rappelons qu'il s'agit de projections obliques, éventuellement d'axonométries orthogonales.

Les vraies perspectives sont rarement vraiment construites. Le mode de perspective le plus communément pratiqué est la construction au point de vue. La perspective à deux points de fuite, les verticales sont les verticales de l'image. Les deux points de fuite sont sur une même horizontale.

Un système hybride, qui consiste à tracer les fuyantes d'une coupe en projection parallèle, est parfois pratiqué. Aucune projection ne peut alors correspondre au dessin.

La présence ou non de lignes cachées est considérablement prise en compte dans la construction en perspective. Lorsque les lignes cachées ne sont pas tracées, il reste des lignes qui ne sont pas des lignes de construction en perspective. Le tracé de lignes cachées pourrait faire l'objet de conventions plus précises. La compréhension de la scène lorsqu'elle est indispensable est une préoccupation. Ainsi, a été proposé un système de caractérisation indexé sur le nombre de faces cachantes (comme cela résulte de l'angle d'un miroir). Plus récemment, une étude sur le langage graphique menée à l'école d'architecture de MADRID suggère de ne caractériser qu'un point, que les arêtes cachées par un seul volume.

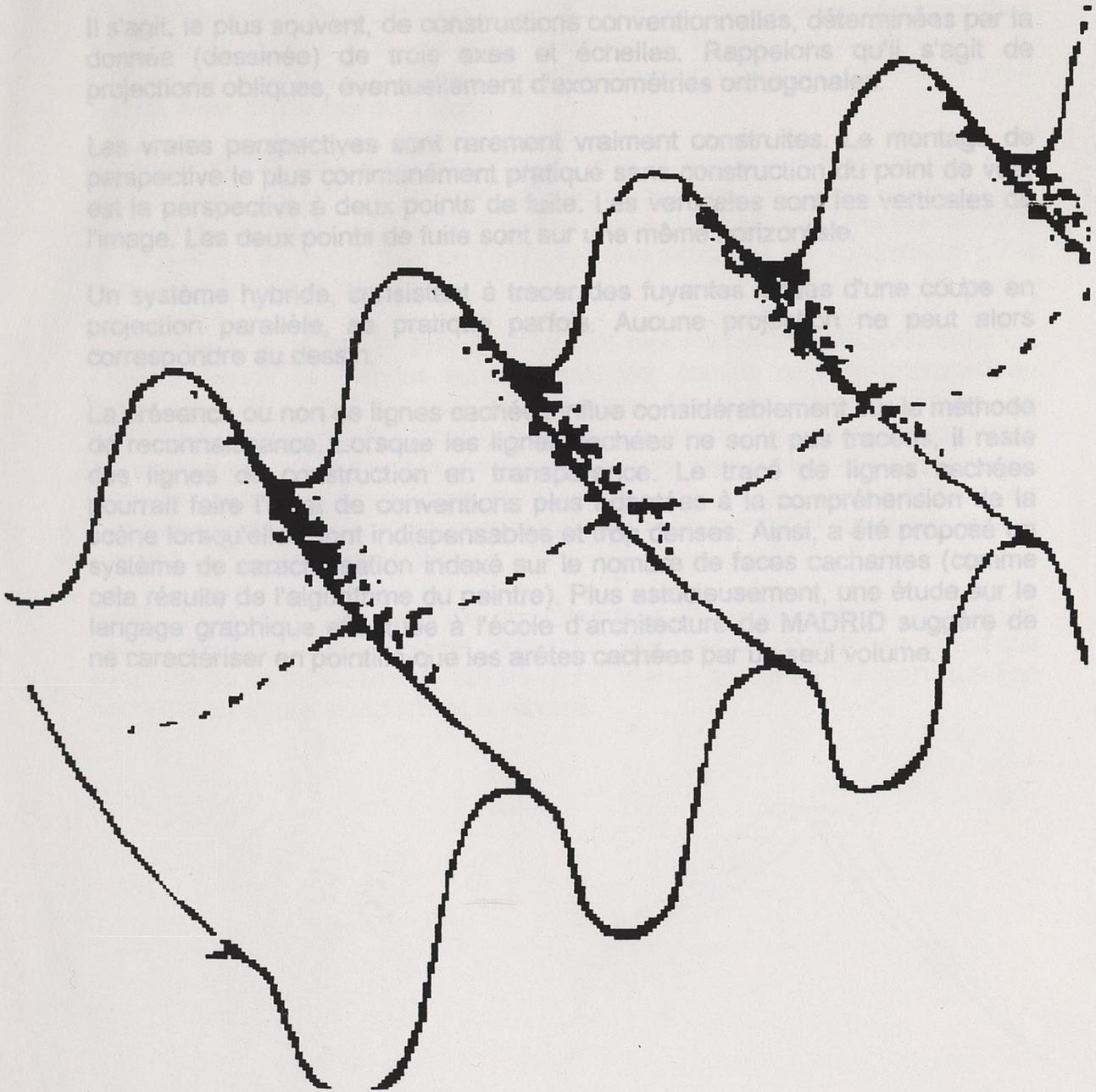


Fig. (9) [OTTO] page 83 - agrandissement -

Un rendu en pointillés est utilisé pour exprimer la courbure continue d'une toiture. L'extraction de l'arête est plus problématique que précédemment.

Le mode de visualisation

Le mode de visualisation considéré ici, est la perspective que l'architecte sait tracer à main levée. Cela ne peut constituer une définition, chacun a son savoir faire. Nous écartons la perspective cavalière qui est souvent construite à partir de plans préexistants.

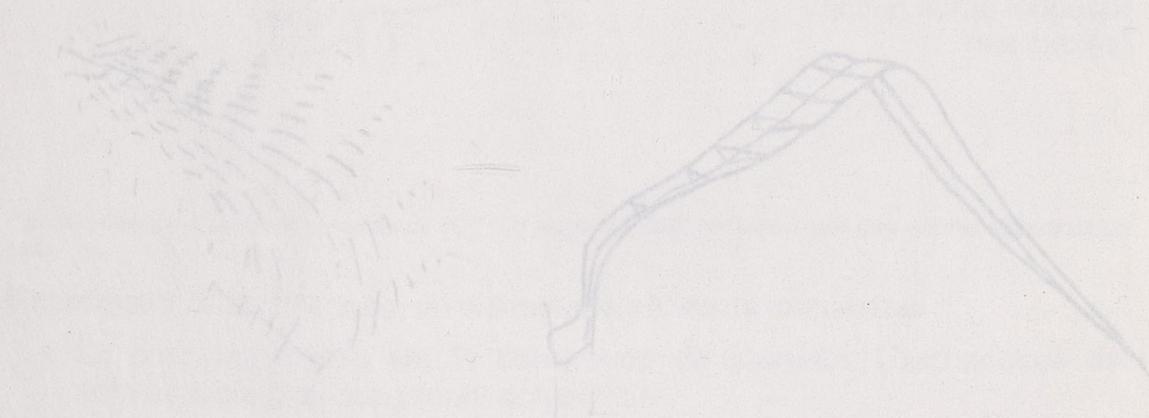
Il s'agit, le plus souvent, de constructions conventionnelles, déterminées par la donnée (dessinée) de trois axes et échelles. Rappelons qu'il s'agit de projections obliques, éventuellement d'axonométries orthogonales.

Les vraies perspectives sont rarement vraiment construites. Le montage de perspective le plus communément pratiqué sans construction du point de vue, est la perspective à deux points de fuite. Les verticales sont les verticales de l'image. Les deux points de fuite sont sur une même horizontale.

Un système hybride, consistant à tracer des fuyantes issues d'une coupe en projection parallèle, se pratique parfois. Aucune projection ne peut alors correspondre au dessin.

La présence ou non de lignes cachées influe considérablement sur la méthode de reconnaissance. Lorsque les lignes cachées ne sont pas tracées, il reste des lignes de construction en transparence. Le tracé de lignes cachées pourrait faire l'objet de conventions plus adaptées à la compréhension de la scène lorsqu'elles sont indispensables et trop denses. Ainsi, a été proposé un système de caractérisation indexé sur le nombre de faces cachantes (comme cela résulte de l'algorithme du peintre). Plus astucieusement, une étude sur le langage graphique effectuée à l'école d'architecture de MADRID suggère de ne caractériser en pointillé que les arêtes cachées par un seul volume.

On saurait reconstituer exactement le modèle.



La feuille de fougère présentée ci-dessus est un cas intéressant. Bien que découpée en plusieurs niveaux de structures arborescentes, elle respecte globalement une surface. Il n'y a pas discontinuité de la torsion le long de la lige centrale. Pour une feuille non découpée, les oscillations de la bordure sont perçues comme des variations de la torsion. Pour mieux le comprendre, ou pour en faire un dessin, on trace ces génératrices ; ce qui revient à mettre en relation le paramétrage de deux courbes : la nervure centrale et la bordure.

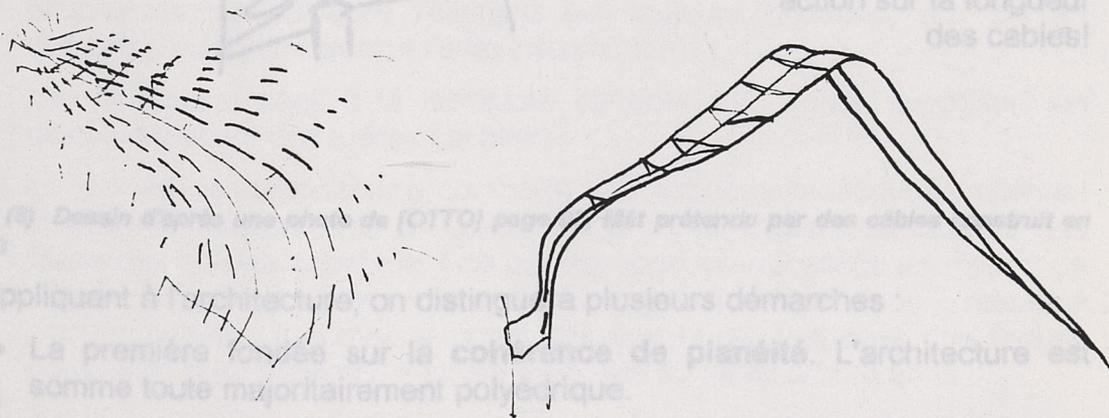
V - RECONSTRUCTION DE VOLUMES À PARTIR D'UNE SEULE VUE

Une projection ne permet pas, en principe, de définir un objet de l'espace à trois dimensions. Pour chaque point, il manque une donnée de profondeur pour passer de 2 à 3 dimensions. Néanmoins, lorsque nous observons un croquis, il nous semble comprendre suffisamment ce qui y est représenté pour ne pas avoir de doutes sur l'objet.

La stéréovision restitue la profondeur. Une succession d'images, lors d'un déplacement, peut être également utilisée à cette fin. Les variations de teintes ou de textures permettent d'identifier des faces (homogènes dans leur texture) et de déduire de la variation de l'ombrage une indication sur l'orientation de la normale, donc de la courbure.

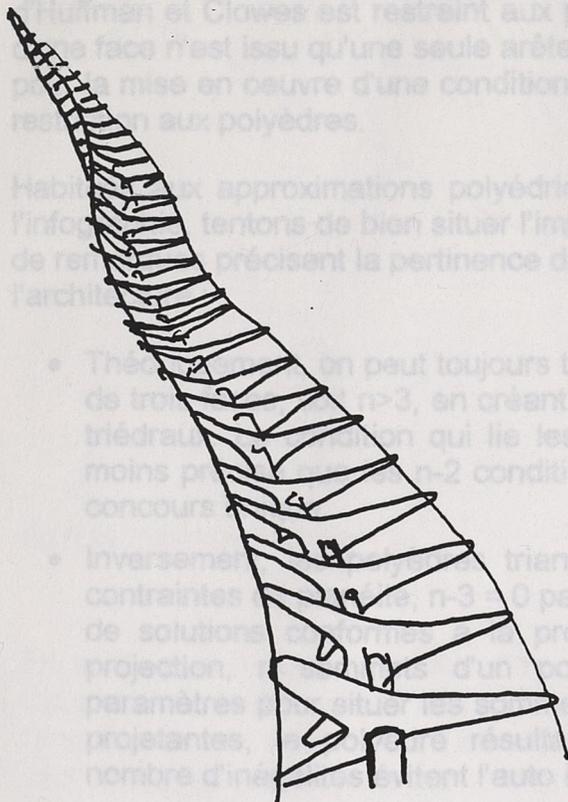
Mais notre propos est le dessin. Il ne faut pas s'attendre à trouver dans un croquis d'étude des rendus au lavis calculés, comme cela se pratiquait au temps de Pillet. Encore moins de dessiner des vues stéréoscopiques. La restriction du dessin à main levée à une seule vue n'est pas un principe, mais on distinguera un ensemble de vues montrant des parties distinctes, avec zone de raccordement, qui sont une suite de vues uniques, contrairement aux conventions de la géométrie descriptive qui supposent que chaque point est présent sur les deux projections.

Faute de mesure physique de la profondeur, l'interprétation du dessin ne permet d'inférer une troisième dimension que par la compréhension d'une structure du dessin. Ainsi le dessin d'une plante donne-t-il l'illusion que l'on saurait reconstituer exactement le modèle.



La feuille de fougère présentée ci-dessus est un cas intéressant. Bien que découpée en plusieurs niveaux de structures arborescentes, elle respecte globalement une surface. Il n'y a pas discontinuité de la torsion le long de la tige centrale. Pour une feuille non découpée, les oscillations de la bordure sont perçues comme des variations de la torsion. Pour mieux le comprendre, ou pour en faire un dessin, on trace ces génératrices ; ce qui revient à mettre en relation le paramétrage de deux courbes : la nervure centrale et la bordure.

La donnée arbitraire d'une loi de variation de l'abscisse curviligne est suffisant pour définir la courbe dans l'espace sur la surface conique que détermine la projection. De là à restituer la plante complète, par ajout de contraintes globales liant les paramètres des lignes isolées, la difficulté est grande. Il y aura autant de règles à trouver que de cas d'espèce, mais surtout, la sensibilité de la solution à la moindre variation du tracé est incompatible avec des données dessinées à main levée. Cela est également vrai pour le traitement de la symétrie appliqué à la restitution de surfaces courbes. Ce problème a été étudié par P. Macé, (rapport interne du LIMSI).



Concernant les structures

constructives, le mat dessiné par Frei Otto relève d'autres lois.

Les éléments comprimés sont équilatéraux (symétrie ternaire supposée), et la décroissance de leur taille est régulière. Par ailleurs, la tension dans les câbles est uniforme.

Notons que ce bras change de forme par action sur la longueur des câbles!

Fig. (8) Dessin d'après une photo de [OTTO] page 92, Mât prétendu par des câbles construit en 1963

S'appliquant à l'architecture, on distinguera plusieurs démarches :

- La première fondée sur la **cohérence de planéité**. L'architecture est somme toute majoritairement polyédrique.
- La deuxième s'appuie sur le procédé de tracé. Elle se fonde sur la cohérence d'**horizontalité et de verticalité**.
- La troisième approche cherche à reconnaître la **structure des opérations** qui ont présidé à la mise en forme : formes de translation ou de révolution, trames, symétries.
- La quatrième, consiste à identifier dans le dessin des **éléments connus**, ou plus précisément dont le mode de représentation est connu.

1°) COHÉRENCE DE PLANÉITE

Dès 1971, Huffman a posé le problème de la reconnaissance de polyèdres tracés de façon conventionnelle par la projection de leurs arêtes. L'étude préalable des dessins impossibles, c'est à dire qui ne sauraient être la projection d'aucun polyèdre, est fondamentale, au delà de l'application qui en est faite d'éliminer d'office toutes les voies qui ne peuvent aboutir.

L'étiquetage des arêtes, en arêtes concaves (-), convexes (+), ou de contour apparent orienté, a été systématiquement repris par la suite. Le monde d'Huffman et Clowes est restreint aux polyèdres triédraux. Ainsi, d'un sommet d'une face n'est issu qu'une seule arête extérieure à la face. Cela est essentiel pour la mise en oeuvre d'une condition sur la planéité des faces, qui traduit la restriction aux polyèdres.

Habitués aux approximations polyédriques imposées par les algorithmes de l'infographie, tentons de bien situer l'importance de cette hypothèse. Cette liste de remarques précise la pertinence des polyèdres triédraux pour représenter l'architecture :

- Théoriquement, on peut toujours tronquer chaque sommet incident à plus de trois faces, soit $n > 3$, en créant une face supplémentaire et n sommets triédraux. La condition qui lie les arêtes issues de ces n sommets est moins précise que les $n-2$ conditions traduisant l'existence d'un point de concours unique.
- Inversement, les polyèdres triangulés ne permettent pas d'écrire des contraintes de planéité, $n-3 = 0$ partout ! Ils sont l'exemple de la multitude de solutions conformes à la projection. Soit l'oeil et, sur le plan de projection, n sommets d'un polyèdre triangulé. On peut choisir n paramètres pour situer les sommets de l'espace sur chacune des droites projetantes, le polyèdre résultant est toujours possible, (un certain nombre d'inégalités évitent l'auto intersection).

Les conditions liées à la fermeture correcte d'un solide supposent un dessin exhaustif des arêtes cachées.

- Le monde de l'architecture comporte des espaces redécoupés relevant d'une modélisation multi cellulaire, car la représentation exhaustive des faces des solides constituant ce qui est construit nécessite un niveau de détail, dans le dessin, parfois suggéré mais non respecté rigoureusement. Il comporte aussi des ouvertures (espaces non fermés ou coupés pour illustrer). Il existe alors des surfaces à bord libre.

En 1976, Kanade [KANADE] a étendu l'analyse d'Huffman au "monde d'Origami", c'est à dire des pliages. En fait, il ne s'agit pas de la géométrie des surfaces développables, mais de l'extension des situations de jonctions valides dans le monde restreint des polyèdres triédraux d'Huffman et Clowes, à des scènes hybrides comportant des polyèdres et des surfaces planes. Dans tous les cas, ces études portent sur des dénombrements de configurations locales viables dénombrées, et tentent de reconnaître et propager l'étiquetage des lignes en arêtes convexes ou concaves.

Sugihara a étudié un processus de reconstruction donnant une base théorique à l'existence et au dénombrement des solutions dans le cadre stricte des polyèdres. Une dualité entre les faces et leur normale est introduite, associant à chaque face du polyèdre la direction de sa normale. Une étape préalable à la reconstruction 3D consiste à corriger le dessin pour assurer la cohérence de planéité, pour cela la condition de planéité d'Huffman est reprise.

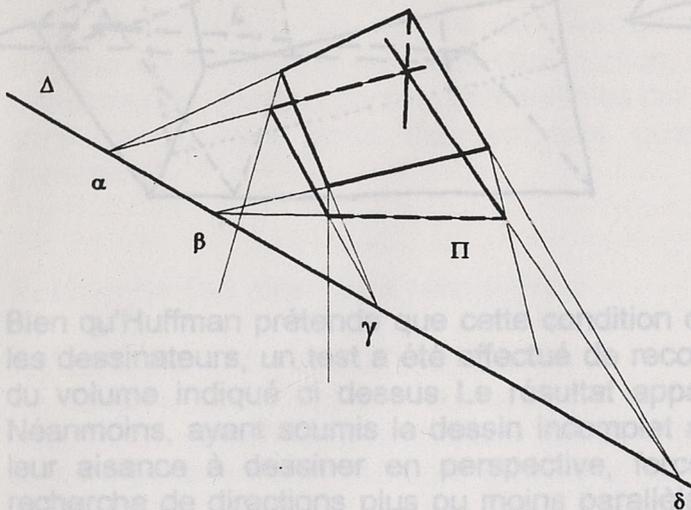


Fig (11a) Théorème de Steiner

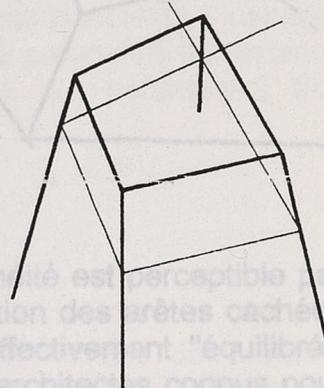
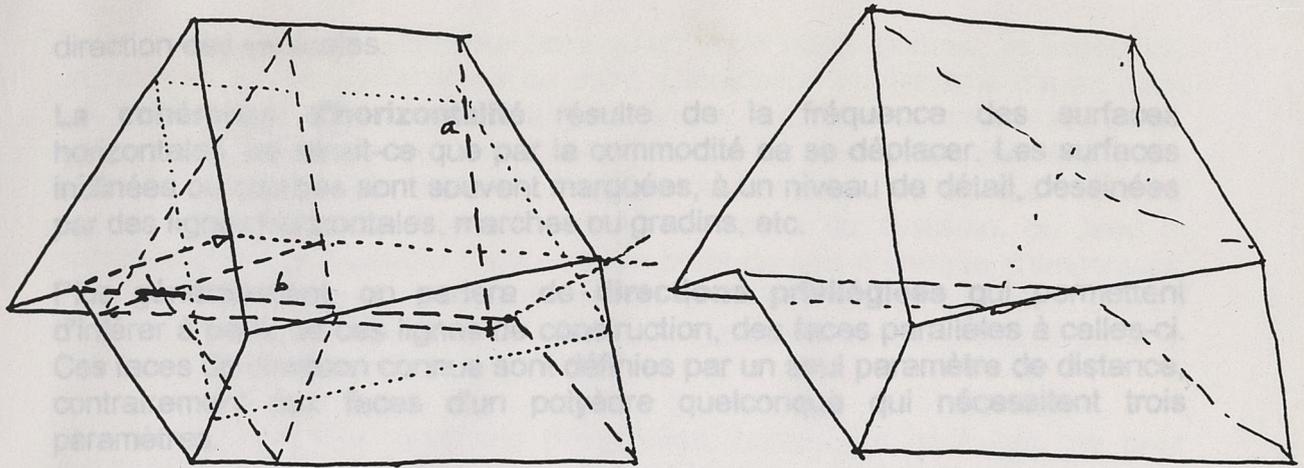


Fig. (11b) Construction d'Huffman

En effet, la cohérence imposée par des polyèdres est la planéité des faces. Coupons les arêtes issues des n sommets d'une face F par un plan Π . Soit Δ l'intersection de F et de Π . Les arêtes de F et les côtés homologues de la section par Π se coupent sur Δ , Fig. (11a). Huffman propose la construction simplifiée lorsque F et Π sont parallèles, les côtés successifs sont parallèle, Fig. (11b). Cette remarque permet de détecter la non planéité des faces et donne une mesure du défaut de planéité du cycle de faces connexes à une face donnée. (On remarquera que cela s'effectue sur la projection sans même qu'il soit nécessaire de connaître le système de projection). Ainsi, des arêtes de directions impossibles peuvent être rectifiées avant toute tentative de reconstruction. Ou bien, une arête manquante pour raison de visibilité peut être tracée en conformité avec l'hypothèse de planéité.

Remarquons que la construction proposée est une application directe d'un théorème attribué à Steiner en géométrie de position. Ce théorème de géométrie projective, implique le théorème des pivots connu en statique graphique. Les approches de reconstruction de polyèdres sur la base de figures réciproques complètent cette analogie. La figure réciproque d'un monde polyédrique triédral est une enveloppe triangulée connue pour son isostaticité interne.



Bien qu'Huffman prétende que cette condition de planéité est perceptible par les dessinateurs, un test a été effectué de reconstruction des arêtes cachées du volume indiqué ci dessus. Le résultat apparaît effectivement "équilibré". Néanmoins, ayant soumis le dessin incomplet à des architectes connus pour leur aisance à dessiner en perspective, force a été de constater que la recherche de directions plus ou moins parallèles prime sur la reconstruction. Des écarts de plus de 30° ont été constatés !

Dans cette même lignée de travaux, citons actuellement la collaboration de l'Université de Barcelone et de l'Ecole des Télécommunications de Paris. [MARTI] .

2°) RECONNAISSANCE DE STRUCTURE DU DESSIN

La deuxième approche se fonde sur la pratique du dessin. Pour situer un point dans une perspective il faut des repères, des lignes tramant l'espace. La dimension qui manque pour la restitution fait tout autant défaut pour tracer. Pour atteindre la perspective d'un point, le dessinateur chemine le long de directions d'axe, au moins mentalement, éventuellement en laissant la trace de la construction. L'usage d'une trame en plan et d'une échelle de hauteur est le procédé le plus trivial.

Retrouver cette "logique du tracé" est d'autant plus essentiel qu'une trame globale imprécise, si elle existe, sert de référence locale. Aucun dessinateur ne construit tous les points d'une perspective, mais seulement quelques lignes qui servent de guides. On pourrait envisager de "redresser" le croquis, ou plutôt le volume reconstruit par une sorte de "morphing."

On qualifiera de **cohérence de verticalité**, l'assertion selon laquelle dans toute construction où les charges de pesanteur sont prépondérantes, la direction verticale est dominante. Cela signifie que toute ligne se projetant suivant la direction de la verticale sera a priori réputée verticale. On désignera par fausses verticales les arêtes non verticales qui se projettent dans la

direction des verticales.

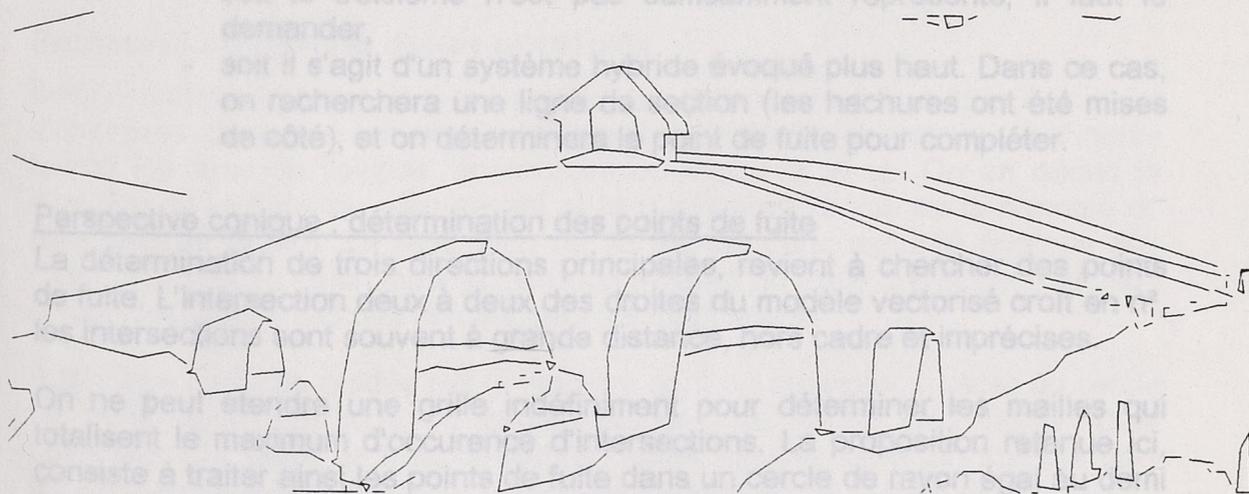
La **cohérence d'horizontalité** résulte de la fréquence des surfaces horizontales, ne serait-ce que par la commodité de se déplacer. Les surfaces inclinées ou courbes sont souvent marquées, à un niveau de détail, dessinées par des lignes horizontales, marches ou gradins, etc.

Plus généralement, on parlera de **directions privilégiées** qui permettent d'inférer à partir de ces lignes de construction, des faces parallèles à celles-ci. Ces faces de direction connue sont définies par un seul paramètre de distance, contrairement aux faces d'un polyèdre quelconque qui nécessitent trois paramètres.

Recherche des directions privilégiées

Détermination des directions principales

La détermination correcte du système de visualisation est de première importance. Cela n'est pas toujours facile. Regardons l'exemple de la fig. (9), un pont dessiné par A Laprade, toute la construction sous-jacente est faite de parallèles aux axes du croquis, mais peu de ces axes sont visibles sur le dessin, sauf l'axe des X dans le sens du courant. En ce sens la détermination des circulaires est ici essentielle.



*après vectorisation
original page 18.*

Fig. (12) [LAPRADE] Croquis de pont

Dans la vie courante, il est fréquent d'avoir à préciser le système de vue, "c'est en plan", "je dessine pour toi", ce qui montre bien que la convention n'est pas évidente !

Aussi, n'essayons pas de mieux faire qu'un observateur humain, et acceptons un coup de pouce interactif sur ce point. L'indication du système d'axes dans une zone isolée de la page est le plus simple. Cela est d'autant plus justifié, qu'une fois identifié, le système de visualisation est destiné à servir lors d'une série d'acquisitions. En effet, ou bien les nouveaux points de vue résultent d'une vue calculée par l'ordinateur, donc connue du système, ou bien le dessinateur devra expliciter à nouveau le point de vue à chaque changement. L'identification relative des vues est un problème autrement plus délicat. L'expérience du dialogue autour des vues rabattues de Solid Constructor le démontre.

La détermination des directions privilégiées, hormis les hachures, ne peut résulter d'un simple histogramme donnant à tous les vecteurs le même poids. Il faut ne retenir, ou pondérer fortement, les lignes longues et particulièrement celles qui présentent des débords longs. (Les lignes courtes ne sont pas significatives sauf dans des dessins très soignés). Selon le nombre de directions émergeant de l'histogramme :

- Si trois axes sont prépondérants, l'hypothèse est proposée et une validation est requise.
- Si plus de trois axes sont présents, on choisira de préférence la verticale écran si elle existe. A l'utilisateur de désigner les directions à retenir.
- Si deux axes sont retenus,
 - soit le troisième n'est pas suffisamment représenté, il faut le demander,
 - soit il s'agit d'un système hybride évoqué plus haut. Dans ce cas, on recherchera une ligne de section (les hachures ont été mises de côté), et on déterminera le point de fuite pour compléter.

Perspective conique : détermination des points de fuite

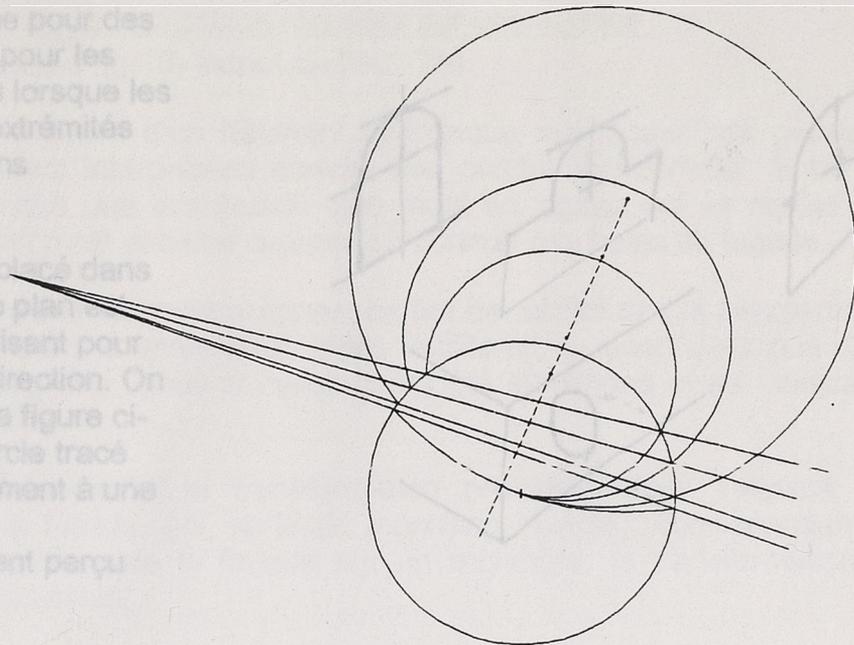
La détermination de trois directions principales, revient à chercher des points de fuite. L'intersection deux à deux des droites du modèle vectorisé croît en n^2 , les intersections sont souvent à grande distance, hors cadre et imprécises.

On ne peut étendre une grille indéfiniment pour déterminer les mailles qui totalisent le maximum d'occurrence d'intersections. La proposition retenue ici, consiste à traiter ainsi les points de fuite dans un cercle de rayon égal au demi-cadre, puis à procéder à une inversion. Les droites sont transformées en cercles passant par le centre. Soit l'inverse d'un point de fuite, les droites qui y concourent sont transformées en un faisceau de cercles dont les centres sont situés sur la médiatrice du segment joignant le centre à l'inverse du point de fuite.

Pour chaque droite, soit r, θ les coordonnées polaires du pied de la perpendiculaire issue du centre. $1/r, \theta$ est l'inverse du centre. La transformée de Hough de ces centres inverses permet d'identifier trois alignements et les points de fuite.

il en va de même pour des
demi cercles et pour les
quart de cercles lorsque les
tangentes aux extrémités
sont de directions
privilegiées.

Ainsi un cercle placé dans
une face dont le plan
indéfini, est suffisant pour
déterminer sa direction. On
constatera sur la figure ci-
contre qu'un cercle tracé
perpendiculairement à une
façade est
incontestablement perçu
comme tel.



Sur la figure un arc de courbe sépare un cercle en deux, disposition courante
d'une face cylindrique vue de l'intérieur. Pour étiqueter le cylindre, l'arc est trop
court, et il n'existe pas arêtes cylindriques. On ne peut que faire l'hypothèse
d'un cylindre s'il existe une translation amenant l'arc sur le contour, ou un cône

Fig. (13) Une inversion pour déterminer les points de fuite.

Dans la plupart des croquis examinés, l'arc intérieur est assez mal tracé.

Recherche des cercles d'axes privilégiés

Soit un cercle en perspective axonométrique. Sa squelettisation fournit un trajet d'épaisseur constante (un pixel en moyenne). La recherche des axes d'inertie fournit les axes de l'ellipse, approchant au mieux le tracé. On en déduit la direction de la trace du plan sécant et le cosinus de l'angle de la normale du plan avec le regard. La restitution du cercle est donc assurée quelque soit l'orientation de son plan mais la méthode requiert un tracé correct de l'ellipse ; ce qui n'est pas le cas des cercles tracés à main levée.

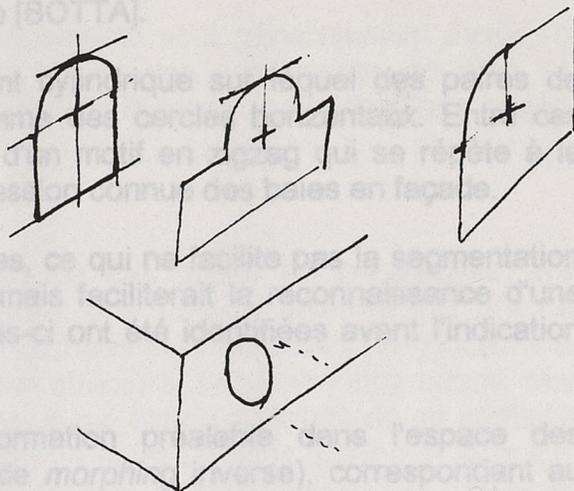
Aussi, une méthode guidée par la manière dont on enseigne à tracer un cercle en perspective, (conique ou axonométrique), se révèle plus fiable. Quel dessinateur, à partir de trois directions d'axes, saurait tracer un triangle dont les axes sont les hauteurs pour trouver les directions des grands axes ?

L'inscription d'une courbe fermée dans un parallélogramme, tangente au milieu des côtés est un tracé plus commun. C'est donc la propriété des diamètres conjugués qui sera retenue.

Soit une courbe fermée, menons les parallèles aux trois directions d'axes. Si cette courbe est bien la projection d'un cercle dans un plan normal à une des directions d'axe, deux des directions sont diamètres conjugués. Le troisième diamètre, (grand axe), est perpendiculaire à la dernière direction d'axe. Il est remarquable de constater que cette méthode s'applique à des tracés assez peu soignés.

Il en va de même pour des demi cercles et pour les quart de cercles lorsque les tangentes aux extrémités sont de directions privilégiées.

Ainsi un cercle placé dans une face dont le plan est indéfini, est suffisant pour déterminer sa direction. On constatera sur la figure ci-contre qu'un cercle tracé perpendiculairement à une façade est incontestablement perçu comme tel.



Sur la figure un arc de courbe sépare un cercle en deux, disposition courante d'une face cylindrique vue de l'intérieur. Pour étiqueter le cylindre, l'arc est trop court, et il n'existe pas arêtes cylindriques. On ne peut que faire l'hypothèse d'un cylindre s'il existe une translation amenant l'arc sur le contour, ou un cône si la transformation est une homothétie.

Dans la plupart des croquis examinés, l'arc intérieur est assez mal tracé.

Ainsi la reconnaissance des arcs de cercle, réputés plus complexes que les droites, fournit un étiquetage direct plus précis des plans des faces que l'analyse des faces connexes.

3°) RECONNAISSANCE DE STRUCTURES DANS L'OBJET

La troisième approche consiste à reconnaître la structure de l'objet. Elle a été évoquée en introduction lors de la discussion du croquis de la fig.(1).

Les lignes de l'existant ont été mises en place par l'ordinateur. Au lieu de retrouver les lignes de construction comme ci-dessus, le système identifie les lignes qu'il a tracées. Les éléments ajoutés ont été placés, relativement à ces lignes, selon un rythme régulier. A ce niveau d'étude, c'est le rythme et l'échelle des éléments qui sont en jeu. Chaque élément est par ailleurs suggéré par un ensemble de traits qui ne sont pas destinés à produire une morphologie.

Bien que cela paraisse ardu (d'un point de vu informatique), il faut reconnaître que le fait d'indiquer une composition avant d'étudier la forme exacte des composants constitue une spécification recevable. A titre d'exemple, citons la transformée de Hough qui permet de retrouver des alignements de points parmi des données dispersées et non ordonnées.

Reconnaissance d'une distribution régulière sur une surface

Examinons le croquis fig. (6) extrait de [BOTTA].

On y trouve l'indication d'un bâtiment cylindrique sur lequel des paires de lignes courbes sont interprétées comme des cercles horizontaux. Entre ces lignes, on reconnaît une distribution d'un motif en zigzag qui se répète à la verticale. Ce motif n'est pas une expression connue des baies en façade.

Le symbole est placé entre deux lignes, ce qui ne facilite pas la segmentation si le dessin est scanné après coup, mais faciliterait la reconnaissance d'une distribution le long des lignes si celles-ci ont été identifiées avant l'indication des baies.

A moins de procéder à la transformation préalable dans l'espace des paramètres de la façade, (ici, sorte de *morphing* inverse), correspondant au développé du cylindre de la façade sur un rectangle, la transformation de Hough est peu utilisable.

Sur ce même dessin, une symétrie est suggérée. Aussi, au lieu de pouvoir exploiter la symétrie pour restituer la troisième dimension, l'architecte place le lecteur en situation de compléter la partie symétrique, qui est vraiment esquissée au minimum pour que la symétrie soit comprise. Dans un contexte interactif, l'indication de traits d'axe manquants pourrait facilement être fournie.

Reconstruction d'arêtes 3d avant de chercher la symétrie

On a vu que la contrainte de planéité permet de retrouver la direction projetée d'arêtes cachées. La détection des sommets d'où une arête "peut être lancée" peut s'effectuer par une exploration qui reste locale à chaque face vue, complétant ainsi le sous graphe à comparer. La construction effective de l'arête permet de valider une hypothèse de symétrie.

4°) RECONNAISSANCE DE FORMES CONNUES

La dernière approche, consiste à reconnaître des formes architectoniques dans un croquis.

Le pendant de cette démarche est la reconnaissance de *form-feature* en mécanique. Elle consiste à identifier dans un modèle B-Rep un sous-ensemble de faces connexes caractéristique de la *feature*. En effet, c'est la forme 3d qui est recherchée.

Symboles 2D

La reconnaissance de symboles isolés dans des schémas a fait l'objet de nombreux travaux. Cela s'applique à des symboles de *feature* en plan. A la différence des schémas pour lesquels le dessinateur a la latitude de disposer les symboles pour la meilleure lisibilité, dans le dessin technique ou d'architecture, les situations sont imposées par la projection. Il en résulte

d'inévitables superpositions.

Les symboles de la plupart des équipements sont généralement inclus, ou accolés au contour d'une face. Seul le cas des percements, en plan, fait interférer la représentation symbolique avec le tracé, mais dans une relation standardisée.

Feature 3D

La représentation de la morphologie de ces objets en perspective avec élimination des lignes cachées, produit une grande diversité de graphes planaires. En représentant les arêtes cachées et en éliminant les jonctions en X qui en résultent, on peut extraire une structure de graphe intrinsèque. Mais ce type de croquis ne se pratique pas, aussi est-on contraint de se contenter de rechercher le maximum d'isomorphisme entre un sous graphe et le graphe de référence. En 3D la reconstruction d'arêtes cachées à partir des sommets d'une face (contrainte de planéité vue en 1) permet, dans le cas de volumes simples, de restituer pratiquement la totalité des arêtes donc le graphe.

(On comparera cette approche qui permet une variation continue d'attitude, avec la reconnaissance de graphe de la figure projetée ce qui suppose un nombre restreint de configurations possibles).

METRIQUE ET TOPOLOGIE

On comparera le rôle joué par le tracé des arêtes dans les approches précédentes.

Solid Constructor construit un méta-fil de fer qui comporte des arêtes surabondantes, mais toutes les arêtes du modèle sont obligatoirement présentes.

Dans le cas d'un tracé en perspective des arêtes, vues et cachées, on dispose d'un fil de fer exact en projection, si la vue n'est pas ambiguë. A savoir : un trait n'est la projection que d'une seule arête ; les jonctions en X ne sont jamais de vrais sommets.

Dans le cas d'un dessin avec lignes cachées éliminées, les faces sont incontestablement associées aux régions. Les arcs limitant une région doivent cependant être étiquetés en arêtes de la face et en arêtes de contour apparent cachant la face. Cette détermination ne peut résulter des seules configurations des jonctions. Tout solide accolé devant un autre peut être déplacé dans la direction du regard sans modification de la projection. Lorsqu'il y a contact, les arêtes de contour apparent deviennent des arêtes concaves de l'assemblage.

On opposera à cette démarche, qui reste proche de ce qui est dessiné, à savoir les arêtes, les démarches cherchant à privilégier la régularité des surfaces (reconnaître une formulation B-Rep). L'hypothèse de planéité des faces, en est l'exemple le plus classique qui peut s'étendre aux cylindres ou

autres surfaces canoniques.

Faisant l'hypothèse de faces planes :

- soit une inconnue par noeud (sommet projeté).
- soit trois inconnues par face (deux pour l'orientation de la normale et une de distance).

On écrit, pour chaque sommet, autant d'équations d'appartenance aux faces que de faces incidentes dans la représentation.

Dans l'hypothèse d'une face cylindrique s'appuyant sur le parallélisme de deux arêtes, un paramètre complétant ce plan, le rayon, suffit à définir le cylindre. Soit 4 paramètres au lieu de 3.

Lorsqu'une solution a été obtenue, il reste à vérifier la conformité des projections des arcs d'intersection avec le dessin.

LA DÉTECTION DES ERREURS ET AMBIGÜITÉS

La recherche des arêtes manquantes

L'expérience des erreurs de dessin dans les dessins techniques fournis en entrée de Solid Constructor nous a amenés à rechercher des processus de reconstruction d'arêtes manquantes dans le modèle.

Par exemple, identifier deux circuits ouverts partageant les mêmes extrémités. L'arête manquante candidate permettant de fermer deux faces est complètement déterminée par l'intersection des surfaces.

Malencontreusement, dans le cas de Solid Constructor, il s'est avéré que la recherche de toutes les faces incomplètes possibles sur un méta-fil de fer était d'une trop grande complexité, et que la détection de l'échec dans la recherche du solide ne permet pas de localiser les faces critiques.

Sur le croquis de cheminée de la page suivante [LAPRADE], il manque une arête concave (angle dièdre entre l'avaloir et la partie droite). Sans tomber dans le piège de la confusion de l'arête inclinée qui se trouve presque dans un plan vertical passant par l'oeil, la détermination de la planéité des trois arêtes de la face avant de l'avaloir, ne peut être assurée directement. Le positionnement relatif des blocs inférieurs et supérieurs par recherche de symétrie devrait forcer le choix. Constatant sur le plan que le bloc cheminée n'est pas perpendiculaire au bâtiment, on conviendra que la saisie s'appuie sur une métrique erronée pour interpréter une morphologie qui doit être transformée, (on n'ose dire rectifiée) ultérieurement.

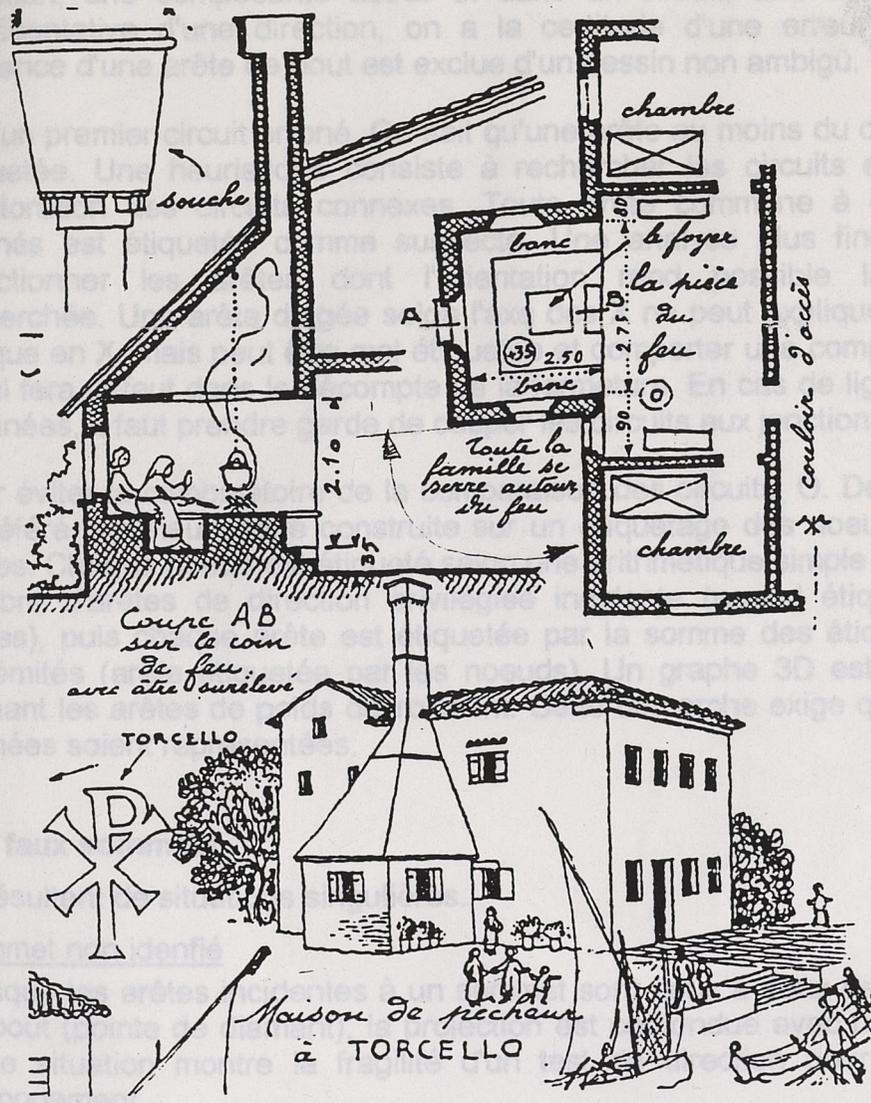


Fig. (11) Maison de pêcheur à Torcello [LAPRADE]

Les fausses arêtes

Au contraire, dans le cas de recherche de circuits filaires utilisant des directions privilégiées, on peut constater des incohérence locales. Elles résultent du non respect de la règle de fermeture des circuits. Les sommes des différences selon X, Y et Z des arêtes d'un circuit doit s'annuler. Si tel n'est

pas le cas, à moins d'une erreur métrique grossière, c'est que le circuit en projection ne constitue pas un circuit dans l'espace, ou bien, que certaines des arêtes étiquetées de direction privilégiée, ont dans le plan de bout de cette direction, une composante autre. Si dans un circuit, une seule arête est représentative d'une direction, on a la certitude d'une erreur logique. La présence d'une arête de bout est exclue d'un dessin non ambigu.

Soit un premier circuit erroné. On sait qu'une arête au moins du circuit est mal étiquetée. Une heuristique consiste à rechercher les circuits erronés dans l'exploration des circuits connexes. Toute arête commune à deux circuits erronés est étiquetée comme suspecte. Une analyse plus fine permet de sélectionner les arêtes dont l'orientation rend possible la correction recherchée. Une arête dirigée selon l'axe des X ne peut expliquer une erreur logique en X, mais peut être mal étiquetée et comporter une composante Y ou Z qui fera défaut dans le décompte de la fermeture. En cas de lignes cachées éliminées, il faut prendre garde de couper les circuits aux jonctions en T.

Pour éviter la combinatoire de la comparaison des circuits, O. Desté [DESTE] a préféré une heuristique construite sur un étiquetage des noeuds, puis des arêtes. Chaque noeud est étiqueté selon une arithmétique simple découlant du nombre d'arêtes de direction privilégiée incidente (noeud étiqueté par les arêtes), puis chaque arête est étiquetée par la somme des étiquettes à ses extrémités (arête étiquetée par les noeuds). Un graphe 3D est construit en prenant les arêtes de poids décroissant. Cette démarche exige que les arêtes cachées soient représentées.

Les faux sommets

Ils résultent de situations singulières.

Sommet non identifié

Lorsque les arêtes incidentes à un sommet sont deux à deux dans des plans de bout (pointe de diamant), la projection est confondue avec un croisement. Cette situation montre la fragilité d'un test de direction pour identifier un prolongement.

Si le croisement est vrai, les lignes sont dessinées d'un seul tenant, la continuité est parfaite localement. Elle peut l'être moins sur les deux demi-cordes. Là aussi, l'ordre de tracé lève toute ambiguïté.

Faux sommet

Inversement, le faux sommet correspond à la juxtaposition d'un sommet et d'une arête. Sur le dessin d'Alvaro Siza qui suit, la ligne au sol qui rejoint malencontreusement un sommet concave forme en projection un trièdre convexe.

Plus rarement, deux sommets vrais sont situés sur une droite de bout. Une erreur d'étiquetage d'un sommet se traduit par un reliquat en X, Y ou Z partagé par tous les circuits incident au sommet. Cette arithmétique : deux circuits erronés identifient une fausse arête, trois circuits un faux sommet, est une heuristique qui ne tient pas compte d'une possible compensation des erreurs.

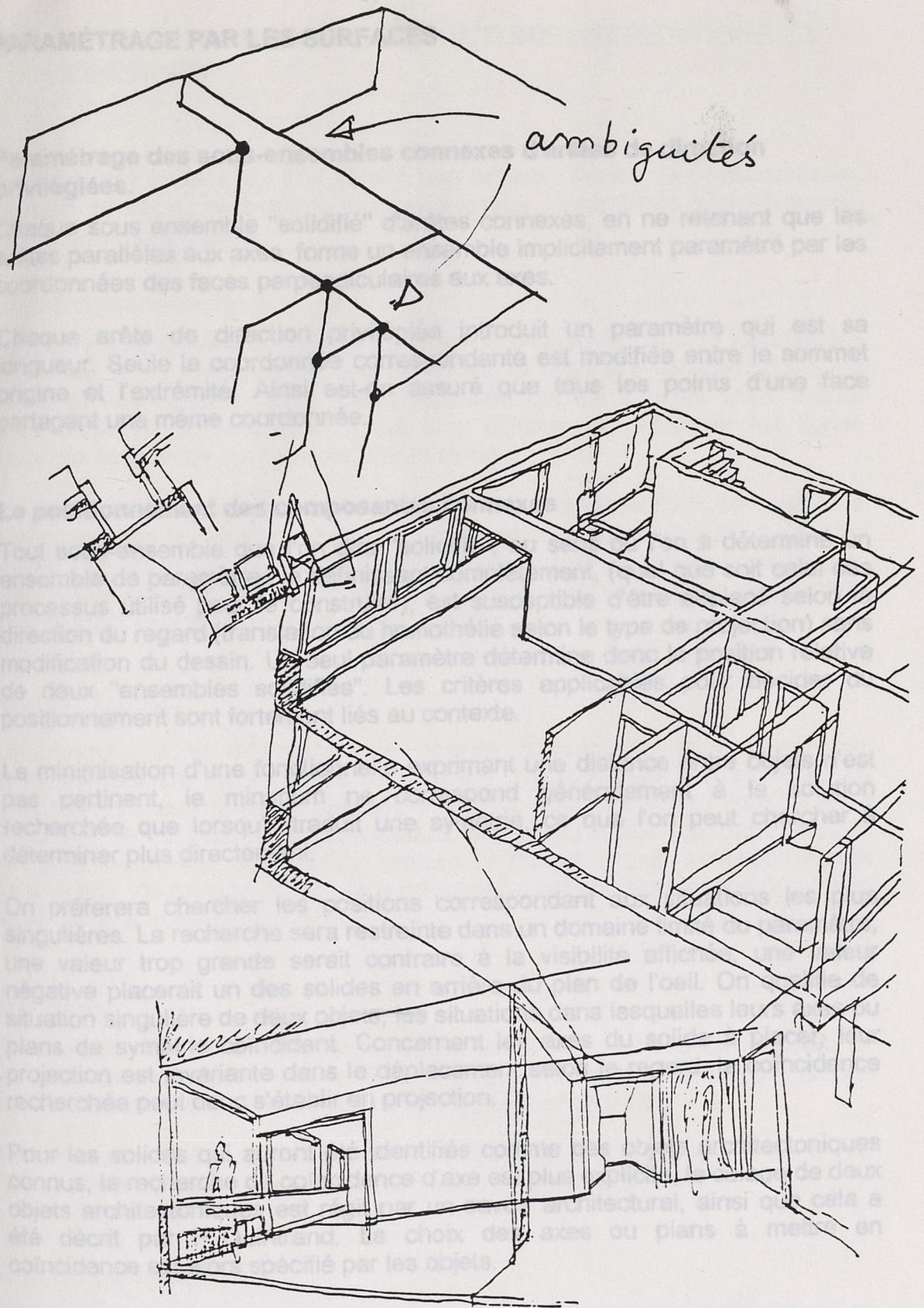


Fig. (12) Alvaro Siza, *Architecture d'Aujourd'hui*, Juillet 89.

PARAMÉTRAGE PAR LES SURFACES

Paramétrage des sous-ensembles connexes d'arêtes de direction privilégiées.

Chaque sous ensemble "solidifié" d'arêtes connexes, en ne retenant que les arêtes parallèles aux axes, forme un ensemble implicitement paramétré par les coordonnées des faces perpendiculaires aux axes.

Chaque arête de direction privilégiée introduit un paramètre qui est sa longueur. Seule la coordonnée correspondante est modifiée entre le sommet origine et l'extrémité. Ainsi est-on assuré que tous les points d'une face partagent une même coordonnée.

Le positionnement des composantes connexes

Tout sous-ensemble que l'on dira "solidifié", au sens où l'on a déterminé un ensemble de paramètres le définissant complètement, (quel que soit celui des processus utilisé pour le construire), est susceptible d'être déplacé selon la direction du regard (translation ou homothétie selon le type de projection) sans modification du dessin. Un seul paramètre détermine donc la position relative de deux "ensembles solidifiés". Les critères applicables pour décider du positionnement sont fortement liés au contexte.

La minimisation d'une fonctionnelle exprimant une distance entre objets n'est pas pertinente, le minimum ne correspond généralement à la solution recherchée que lorsqu'il traduit une symétrie, ce que l'on peut chercher à déterminer plus directement.

On préférera chercher les positions correspondant aux situations les plus singulières. La recherche sera restreinte dans un domaine limité du paramètre, une valeur trop grande serait contraire à la visibilité affichée, une valeur négative placerait un des solides en arrière du plan de l'oeil. On qualifie de situation singulière de deux objets, les situations dans lesquelles leurs axes ou plans de symétrie coïncident. Concernant les axes du solide à placer, leur projection est invariante dans le déplacement selon le regard, la coïncidence recherchée peut donc s'établir en projection.

Pour les solides qui auront été identifiés comme des objets architectoniques connus, la recherche de coïncidence d'axe est plus explicite, le calage de deux objets architectoniques est régi par un savoir architectural, ainsi que cela a été décrit par P. Quinrand. Le choix des axes ou plans à mettre en coïncidence est alors spécifié par les objets.

VI - LES INFORMATIONS DE STRUCTURE : RÉPÉTITIONS ET SYMÉTRIES

Données autres que le stricte tracé des arêtes : lignes de constructions, axes de symétrie, ombrages, ombres portées, contraintes géométriques, vues complémentaires.

Lignes de constructions

Elles sont assimilées à des lignes de direction privilégiées et sont identifiables au niveau de la classification des objets par la propriété caractéristique, de posséder des débords longs. Cette propriété, qui est souvent vraie, mérite d'être indiquée à l'utilisateur. Il est plus efficace de prolonger les lignes significatives que de les marquer ultérieurement.

Une autre application de cette convention, est la possibilité de mailler le dessin par des lignes de construction. Une déformation ultérieure du dessin guidée par les mailles (sorte de *morphing*) respectant les dispositions locales dans chaque maille, est un moyen de permettre l'interprétation de dessins globalement faux et localement assez exactes.

Axes de symétrie

Les croquis, à la différence des dessins techniques, ne montrent pas systématiquement les éléments de symétrie. On a vu que les propriétés de symétrie sont exploitées de diverses manières, soit pour inviter l'ordinateur à compléter ce qui peut n'être qu'esquissé, soit pour restituer des données 3D, soit pour déterminer une position précise de calage. Aussi l'indication d'axes de symétrie, de rotation ou de plans de symétrie est-elle l'annotation graphique la plus utile à la compréhension.

Ombrages

L'exploitation de l'ombrage d'objets réels est difficile car elle se heurte à la juxtaposition de l'ombre et de la texture. S'agissant de dessins, l'ombre propre est conventionnelle et les nuances ne sont pas exploitables.

On ne peut qu'inviter le dessinateur à scanner son croquis, avant le tracé des ombres, afin de permettre une segmentation incontestable.

Ombres portées

Les ombres portées sont, au contraire en ce qui concerne l'architecture, un mode conventionnel d'expression de la troisième dimension, la hauteur, sur un plan.

Les couples visibles d'arêtes séparatrices et de limites d'ombre portée sont relativement peu nombreux et le tracé de l'ombre n'apporte qu'un petit nombre d'informations 3D. D'autre part, le tracé des ombres comporte des erreurs fréquentes, sauf dans des cas de tracés connus (où d'autres méthodes sont efficaces).

Vues complémentaires

L'expérience des vues complémentaires dans Solid Constructor a permis d'apprécier qu'il n'est pas facile de trouver un processus interactif évident pour expliquer le positionnement relatif de deux objets.

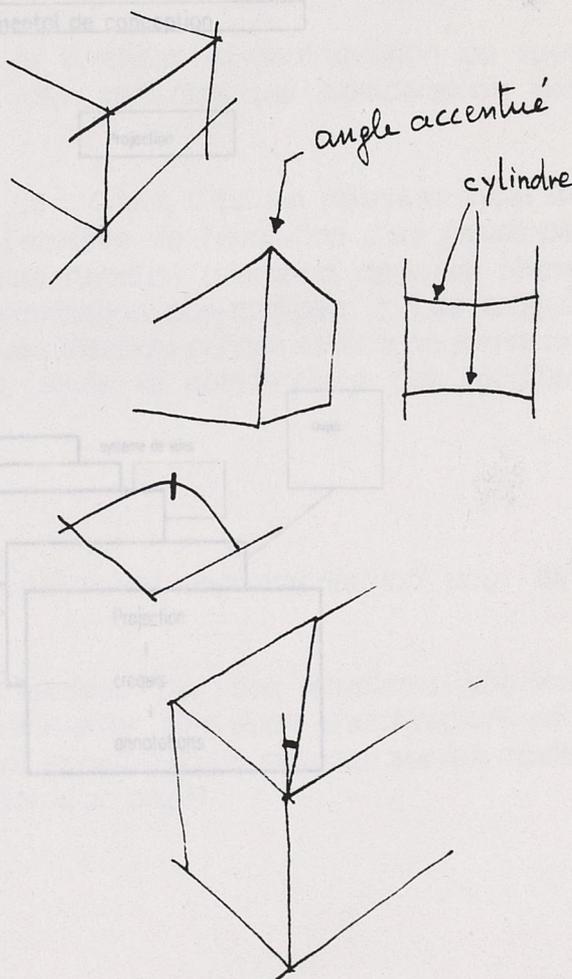
Le tracé de section plane directement sur la vue est incontestable.

Les intentions du tracé

C'est un sujet lié à l'ergonomie de l'interface. On définira comme intention exprimée par le tracé et de façon restreinte au seul tracé, les légères entorses au tracé rigoureux qui, loin d'être des maladresses, permettent une meilleure lecture. Il s'agit d'exagérations de propriétés.

Ainsi par exemple :

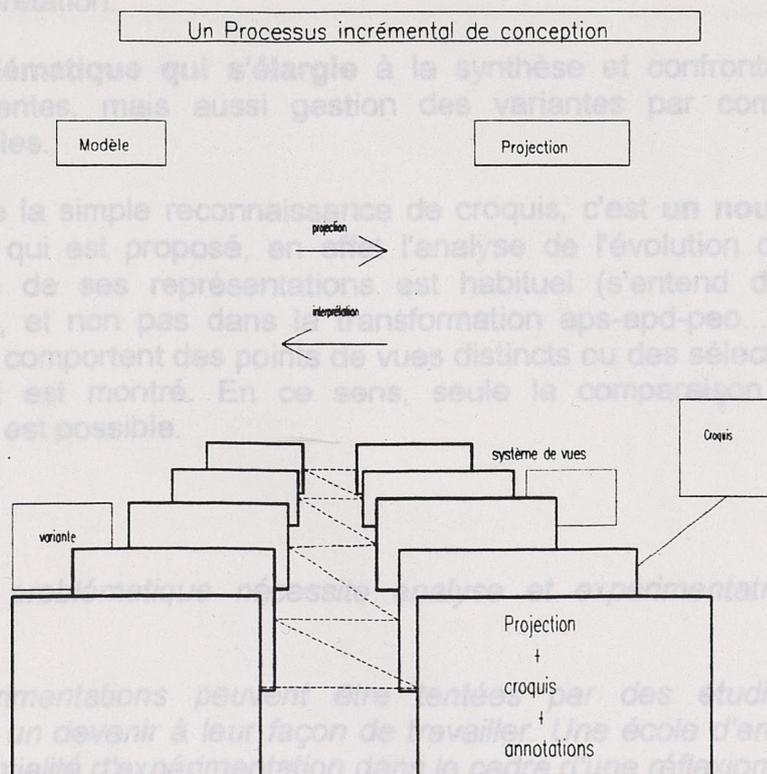
- Un trait sera prolongé au delà de la jonction par un léger débord lorsque la direction est significative ; un grand débord pour une ligne de construction.
- Une arête sera légèrement concave afin d'exagérer la projection d'un angle dièdre
- Une liaison en L sera exagérée ou même marquée.
- Une jonction en X correspondant à un vrai sommet sera déformée pour expliciter l'angle presque plat.
- Une fausse arête sera inclinée, quitte à s'incurver pour rejoindre son autre extrémité, et une arête vraie incidente au même noeud sera prolongée pour marquer la différence d'angle.



VII - INTERACTIVITÉ ET DIALOGUE GRAPHIQUE

Concernant l'interactivité d'un système de reconnaissance de croquis, citons un article ancien de Negroponte [NEGROPONTE], appliqué au dessin d'architecture. Bien avant que l'on puisse disposer de la puissance des micro ordinateurs actuels et avant l'apparition des scanners ou caméra vidéo de haute définition, la saisie du dessin à main levée, s'effectuait en temps réel avec une tablette permettant la mesure de la pression du crayon. La vitesse du tracé était mémorisée comme un paramètre essentiel, permettant de déterminer un facteur de précision du dessin adapté à la façon dont le croquis était tracé, trait par trait.

- Interactivité déjà analysée.
- Un langage d'expression graphique à inventer : une proposition de recueil de signes proposée en annexe.
- Cela conduit à conclure sur l'interactivité d'un processus de conception incrémental.



VIII - CONCLUSION

Dans un cadre général d'une **communication multimodale**, il convient de redonner à l'expression graphique une place prépondérante dans les tâches de conception, et plus particulièrement dans la conception d'architecture ou l'aménagement d'espaces en général.

Les principes suivants devront être respectés :

- L'expression graphique du croquis doit être compéle par **une symbolique** à base d'annotations, clef d'un langage graphique indépendant du dispositif interactif choisi.
- **Une paramétrisation implicite** par interprétation du croquis et **explicite** par les annotations.
- **Le refus de limiter les composantes du dessin** à celles que le système sait reconnaître. Le prix en est un supplément de dialogue pour aider à identifier les objets.
- **Une problématique de conception incrémentale**, par cycle projection interprétation.
- **Problématique qui s'élargie** à la synthèse et confrontation de vues différentes, mais aussi gestion des variantes par comparaison des modèles.

Au-delà de la simple reconnaissance de croquis, c'est **un nouveau type de modeleur** qui est proposé, en effet l'analyse de l'évolution d'un projet par l'historique de ses représentations est habituel (s'entend dans la phase d'esquisse, et non pas dans la transformation aps-apd-peo...). Les croquis successifs comportent des points de vues distincts ou des sélections distinctes de ce qui est montré. En ce sens, seule la comparaison des modèles successifs est possible.

Une telle problématique nécessite analyse et expérimentation pour être spécifiée.

Les expérimentations peuvent être tentées par des étudiants soucieux d'imaginer un devenir à leur façon de travailler. Une école d'architecture offre cette potentialité d'expérimentation dans le cadre d'une réflexion sur les modes de représentation et le suivi de l'évolution d'un projet.

ANNEXE 1

EBAUCHE DE CLASSIFICATION DES OBJETS DE LA RECONSTRUCTION DEPUIS LES PRIMITIVES VECTORIELLES DE PLUS BAS NIVEAU JUSQU' AUX ENTITES ARCHITECTONIQUES

Données de base issues de la vectorisation. Ces données devraient être partagées par les tracés issus des ardoises ou de la caméra et, avec moins de finesse, dans la gestion de scanner.

Conventions d'écriture pour le synoptique ci dessous :

<i>En italique</i>	les attributs
{...}	liste
parmi, entre	spécifie la dimension
[]	décrit une construction de prototype
cp	prop

ANNEXES

INTITULE DU PROTOTYPE	DESCRIPTION SOMMAIRE	COMMENTAIRE
Un-point 2D	coordonnée-X réel coordonnée-Y réel	
Une-direction 2D	angle réel	
Une direction-principale	[direction] direction parmi {X, Y, Z}	
Une direction de hachurage	[direction] contour	
Un point de fuite	[point] direction parmi {X, Y, Z}	
Un centre	[point] objet parmi {cercle, transf.}	
Un vecteur	point-origine [point2D] point-extrémité [point2D]	
Un vecteur isolé	[vecteur]	
Un vecteur de ligne	[vecteur] ligne ligne	
Un vecteur de connexion	[vecteur]	
Un vecteur extrémité	[vecteur]	

ANNEXE 1

EBAUCHE DE CLASSIFICATION DES OBJETS DE LA RECONSTRUCTION DEPUIS LES PRIMITIVES VECTORIELLES DE PLUS BAS NIVEAU JUSQU'AUX ENTITES ARCHITECTONIQUES

Données de base issues de la vectorisation. Ces données devraient être partagées par les tracés issus des ardoises ou de la caméra et, avec moins de finesse, dans la datation de scanner.

Conventions d'écriture pour le synoptique ci dessous :

<i>En italique</i>	<i>les attributs</i>
{...}	liste
parmi, entre...	spécifie le domaine
[]	décrit une spécialisation de prototype
opt	propriété optionnelle

INTITULE DU PROTOTYPE	DESCRIPTION SOMMAIRE	COMMENTAIRE
Un-point 2D	coordonnée-X réel coordonnée-Y réel	
Une-direction 2D	angle réel	
Une direction-principale	[direction] direction parmi {X, Y, Z}	
Une direction de hachurage	[direction] contour	
Un point de fuite	[point] direction parmi {X, Y, Z}	
Un centre	[point] objet parmi {cercle, transf.}	
Un vecteur	point-origine [point2D] point-extrémité [point2D]	non connexe à des lignes (#jonction)
Un vecteur isolé	[vecteur]	point isolé, point d'un semis (ombrage)
Un vecteur de ligne	[vecteur] ligne	ligne tireté symbole, annotation
Un vecteur de connexion	[vecteur]	
Un vecteur extrémité	[vecteur]	participe du graphe 2D

Une ligne		
Une ligne droite	[ligne]	
Une ligne courbe	[ligne]	
Un arc de cercle	[ligne]	
Un arc-X	[arc de cercle]	
Un arc-Y	[arc de cercle]	
Un arc Z	[arc de cercle]	
SITUATION DES LIGNES DANS LE GRAPHE		
Ligne isolée	[ligne]	ses 2 extrémités sont libres
Ligne liée	[ligne]	ses 2 extrémités sont liées
Ligne pendante	[ligne]	une extrémité liée, l'autre pendante.
Un vecteur de tireté	[vecteur]	
Un débord	[vecteur]	ligne pendante courte, en prolongation
LES TYPES DE TRACE COMME ATTRIBUTS OPTIONNELS		
Ligne continue		
Ligne en tireté		
Ligne pointillée		
Trait d'axe		
Ligne fine		
Ligne épaisse		
Autres attributs : la datation du tracé	rang du tracé levé de plume sur ardoise ⁵ discontinuité du tracé rang de la saisie si scanner	
Un vecteur de connexion	[vecteur de ligne]	après raccordement on ajoute des vecteurs de connexion, la ligne a le statut de ligne interrompue. Un vecteur de connexion d'extrémité détermine un attribut à la jonction : ⁶
*Une tache		
Un contour de tache	[tache] contour [ligne-fermée]	
Une tache isolée	[tache]	non connexe à des lignes (#jonction) point isolé, point d'un semis (ombrage) tireté, symbole, annotation
*Une jonction		
Un noeud	[jonction]	participe du graphe 2D

⁵ après identification d'un tireté, affecter le même rang à tous les tirets.

⁶ cela peut être une indication de visibilité inspirée des conventions de dessins d'éclatés de pièces mécaniques.

CLASSIFICATION DES JONCTIONS, ATTRIBUTS POSSIBLES		
Jonction-en X	<ul style="list-style-type: none"> - croisement causé par la visibilité (si lignes cachées tracées et non caractérisées) - coïncidence en projection - noeud à 4 branches, dans deux plans de bout 	
Jonction-en Y	Le noeud triédrique classique, concave ou convexe	
Jonction-en W		
Jonction-en L	détection incertaine	
Jonction en-T	ligne cachée face de bout	
*Une région ⁷	ligne fermée	une composante blanche. contour projeté formé de portions du contour vrai et arêtes de contour apparent cachantes
LES ENSEMBLES STRUCTURES		
Un ensemble	liste de primitives liées par une opération	2D ou 3D, associés
Un ensemble connexe	[ensemble] région associée	composante noire incluse dans une région et non connexe au contour extérieur
Un alignement	[ensemble] liste d'éléments liste de points	
Une distribution	[ensemble] le motif la ligne support	
Une répétition	[ensemble] le motif la transformation	
Une répartition	[ensemble] le motif la surface support	
Un couple parallèle	[ensemble] deux lignes	méthode pour détecter des lignes parallèles. limiter à des arcs d'une même région
Un couple homothétique	[ensemble] deux lignes	idem. recherche de conicité
Un couple translaté	[ensemble] deux lignes	idem. recherche de prismes
Un couple symétrique	[ensemble] deux lignes	attention symétrie 3D, diagnostiquer une symétrie sur la projection

⁷est issue des composantes blanches de l'image après segmentation et extraction des textures

Une ligne de construction	[ligne] longueur, domaine (>lmin) prolonge ligne pendante	
Un axe	[ligne] type de trait= "trait d'axe" type d'axe parmi {rot, sym}	
Un-trait de coupe	[ligne fermée] hachurée trait épais	
SIGNES D'OPERATEURS, PRIMITIVES GRAPHIQUES PERMETTANT DE DECRIRE OU DE RETROUVER UNE ACTION		
Un opérateur de translation	[vecteur] marqué d'une flèche	acquis en interactif est utilisé comme aide à l'identification de structures
Un opérateur de rotation	[arc] marqué d'une flèche	
Un opérateur de répétition	suite d'arcs, le dernier marqué d'une flèche	
LES ANNOTATIONS		
Annotation angulaire	[arc] liaisons en T aux extrémités rayon domaine (rmin, rmax)	
Annotation d'orthogonalité	polyligne à deux vecteurs liaisons en T aux extrémités vecteurs parallèles	
Une marque d'angle	[marque] placée sur une annotation angulaire	
Une marque de longueur	[marque] placée sur une ligne	
Une marque de non orthogonalité	[marque de négation] placée sur une marque d'orthogonalité	
Une marque de non bissection	[marque de négation] placée sur une annotation angulaire	
Une marque de répétition		
Une ligne de fuite	[ligne de construction] converge vers un point de fuite le point de fuite	
Une verticale	[ligne de fuite] point de fuite = Fz	

Une fuyante x	[ligne de fuite] point de fuite = Fx	on ne distinguera pas une fuyante à point de fuite à distance finie, de la direction d'axono
Une fuyante y	[ligne de fuite] point de fuite = Fy	idem

LES OBJETS DE LA RECONSTRUCTION 3D

Un point 3D	coordonnée X coordonnée Y coordonnée Z	
Une arête	[ligne 3D] sommet origine [un point] sommet extrémité [un point] face à gauche [une face] face à droite [une face] arc 2D [un arc]	
Un sommet	[point 3D]	

CES DEUX ENTITES DE BASE SUFFISENT POUR DECRIRE UN FIL DE FER, GRAPHE 3D DONT LA PROJECTION EST LE GRAPHE 2D FORME DES SEULES LIGNES ET NOEUDS.

LES LIGNES DU MODELE

Une arête vive	[arête] opt : angle dièdre	par opposition à arête de tangence angle dièdre établi sans connaître nécessairement de quel côté est la matière
Une arête de tangence	[arête] type tireté	peut être construite dans l'espace alors que son tracé a été omis en projection
Une arête convexe		
Une arête concave		
Une arête de contour apparent		
Une ligne de contour apparent		
Une arête cachée	[arête vive]	peut être inférée par la cohérence de planité
Un vecteur3D	sommet origine sommet extrémité	
Un arc3D	sommet origine sommet extrémité centre rayon	
Une courbe3D	sommet origine sommet extrémité Arc2D	

LES LIGNES TRACÉES		
Arc frontière de zone	[arc] région hachurée (ou autre)	
Une séparatrice d'ombre	[arc frontière]	séparatrice d'ombre et lumière. distinguer du contour apparent jonction tangente sur CA vrai jonction en T sur arête vive jonction PSI sur arête de tangence cas limite, jonction sur sommet.
Une ombre-portée	[arc frontière]	distinguer de la séparatrice d'ombre : jonction en T sur CA vrai jonction en t sur arête vive jonction PSI sur arête de tangence jonction en L dans une face, dans ce cas on doit trouver un sommet dans la direction des rayons lumineux
Une ligne de section		
LES LIGNES DE L'HABILAGE		
Une hachure	[ensemble de lignes] direction des hachures écartement domaine (emin, emax) un contour	régularité de la structure plus que parallélisme : chaque composante blanche est un circuit de deux hachures parallèles et de deux vecteurs de ligne
Une hachure de section	[hachure] le contour est épais	En principe une section de coupe est vue entière
Une hachure d'ombre	[hachure]	
Une hachure de caractérisation	[hachure]	
Un maillage de face	[ensemble de lignes]	réseau d'iso-u et iso-v
Une ligne de décor ⁸		Ce qu'on ne sait interpréter.
CLASSIFICATION DES SOMMETS		
Un sommet convexe		
Un sommet concave		
Un sommet mixte		
Un sommet indéfini		

⁸ ou ensemble de lignes non identifiées. on met sous cette rubrique ce qui n'est pas raité. par exemplr un dessin de "grouyot" ou d'arbre.

CLASSIFICATION DES FACES

Classement par nature de la surface support

Une -face	surface support région2D circuit extérieur circuit intérieurs type {troué, simple}	
Une-face plane	[face] normale [direction]	
Une face cylindrique	[face] axe rayon	
Une face conique	[face] opt sommet	
Une face torique	[face]	
Une face sphérique	[face]	
Une face sculptée	[face]	

Classement simultané par la courbure et le coté de la matière

Une face convexe		
Une face concave		
Une face a double courbure		
Une face réglée		
Une fausse arête		arête dans un plan projetant une direction privilégié, sans être dans cette direction
Un faux sommet		arête joignant une jonction, sans joindre le sommet correspondant dans l'espace

RESULTAT

Une image binaire, éventuellement un repère de temps	Une image de micro-vecteurs
--	-----------------------------

¹ Les lignes d'épaisseur inférieure au pixel ont disparu ou apparaissent en traits (variation quasi périodique de la distance de la ligne au centre du pixel) les traits de telle inférieure au pixel selon la réaction d'échelle qui constitue le rapport de la taille du pixel doit à négliger relativement à la taille du pixel on procède habituellement à un nettoyage de l'image binaire et à un lissage des contours.

² concept introduit ici pour montrer le parallélisme entre les deux dispositifs d'interaction envisagés.

ANNEXE 2

LES ETAPES D'UN PROCESSUS DE RECONNAISSANCE

Acquisition comparé des données graphiques avec des dispositifs pour acquérir des croquis, et un système d'acquisition temps réel du dessin..

PHOTO, CAMERA VIDEO HD	SCANNER A MAIN, SCANNER A PLAT	ARDOISE ELECTRONIQUE
Résolution totale limitée adaptable à la taille du document. S'adapte à la saisie de documents diversifiés	Résolution maximale fixe dans un format défini. S'adapte à un format de papier et à une épaisseur de trait	Une suite de positions fournit directement une vectorisation, même si un lissage s'impose. Acquisition du temps et éventuellement de la pression qui peut être assimilée à une épaisseur
Image binaire plutôt que niveaux de gris	Image binaire, éventuellement niveaux de gris utilisés pour un étalonnage	Adaptation de la cadence d'échantillonnage à la vitesse de l'utilisateur
La résolution et le seuil de binarisation : ⁹ - ne doivent pas faire disparaître les lignes les plus fines, - ne doivent pas faire fusionner 2 lignes distinctes.		Séparation automatique par l'ordre de tracé Echo du tracé de résolution insuffisante pour permettre des tracés soignés (des parallèles proches)
Suivi de l'ordre du tracé mémorisé dans un <i>chrono-buffer</i> ¹⁰	Dessin terminé et plus précis	Séparation par l'ordre de tracé, les levés de plume, essentiel
RESULTAT		
Une image binaire, éventuellement un repère de temps		Une image de micro-vecteurs

⁹ Les lignes d'épaisseur inférieure au pixel ont disparu ou apparaissent en tiretés (variation quasi périodique de la distance de la ligne au centre du pixel) les taches de taille inférieures au pixel selon le facteur d'échelle qui constitue le rapport de la taille du plus petit détail à négliger relativement à la taille du pixel on procède habituellement à un nettoyage de l'image binaire et à un lissage des contours.

¹⁰ concept introduit ici pour montrer le parallélisme entre les deux dispositifs d'interaction envisagés.

Nettoyage L'élimination de petites taches isolées en général de l'ordre de un pixel. ¹¹	suppression de micro coupures (levés de plume),
Pré traitement à la squelettisation ou au suivi de contour : filtrage des contours. obtenu en général par un épaissement suivi d'un amincissement.	

L'ETAPE SUIVANTE CONDUIT A LA RECHERCHE DES PRIMITIVES GRAPHIQUES

L'objectif de cette étape est d'identifier des arcs, des contours et des jonctions. Les arcs, sont des sous ensembles de composantes connexes noires ne dépassant pas une épaisseur maximale. Tout pixel de l'arc doit donc être distant au plus d'une demi-épaisseur d'un pixel blanc. Une distance de Manhattan est suffisante pour cette évaluation.

En principe le nettoyage de la phase précédente élimine les inclusions des composantes blanches d'un pixel d'épaisseur. Les composantes qui persistent séparent l'arc en plusieurs branches

Plusieurs méthodes sont possibles :

1) Squelettisation

C'est la méthode la plus courante, elle donne d'assez bons résultats si les lignes ont une épaisseur suffisante en pixels, de l'ordre de 5 pixels. En dessous, on risque des interruptions ; au dessus, le nombre de passes devient pénalisant. C'est donc une méthode qui convient à des dessins tracés avec une épaisseur constante, ce qui est le cas fréquent des dessins d'architectes. (On remarquera que 5 pixels est la taille d'un trait de 0.3 mm numérisé à 400 DPI.) pour cette épaisseur à 100 DPI la simple binarisation fait disparaître des parties de traits.

Cette méthode très simple consiste à marquer les pixels de bordure dans une première passe, et dans des passes analogues à marquer les pixels connexes à ceux marqués lors de la passe précédente. On dessine ainsi en quelque sorte la carte des lignes de niveau de talus d'égale pentes s'appuyant sur les contours des composantes noires.

Le squelette est en première approximation la ligne de faite du talus.

On considère comme contour les parties dont le sommet n'a pas été atteint dans un nombre de passe maximal fixé à la moitié de l'épaisseur limite.

Les logiciels qui ne restituent que les lignes de crête maximales restituent des lignes interrompues au moindre manque d'épaisseur, et s'arrêtent une demi

¹¹ Les lignes en pointillés fins, les points d'un trait d'axe, et le rendu d'ombrage par points, sont susceptibles de disparaître dans cette opération.

épaisseur avant leur extrémité dans le meilleurs des cas. La figure (9) montre quelques exemples de ces lacunes.

Dans le mémoire d'O. Deste, il a été montré que l'on pouvait trouver la ligne de pente maximale (passant par le col) joignant deux crêtes, cela corrige les interruptions, mais ne fournit pas une terminaison correcte aux extrémités.

Le traitement des croisements est problématique, les jonctions de quatre extrémités de crêtes maximales dans une jonction en X par exemple est par cette méthode trop sensible aux irrégularités du contour de la jonction. L'agrandissement de toute jonction tracée à l'encre montre des élargissements.

On se retrouve donc devant trois solutions :

- Soit ne retenir que ce qui peut être reconnu comme fiable, à savoir les lignes de crête, et revenir aux données raster pour établir la 8-connexité des crêtes, cela autorise une jonction automatique si il n'y a que deux brins [DESTE].
- Dans le cas des jonctions plus complexes, une méthode pourrait consister à trouver un "centre" de jonction, par exemple le centre de gravité du contour constitué du contour de jonction et des perpendiculaires aux arcs en extrémité de ligne de crête.

Se pose alors un problème assez délicat, qui encore une fois relève d'un facteur d'échelle à établir entre l'épaisseur des traits et l'imprécision des jonctions. Une jonction correcte de traits épais peut fusionner en un seul contour au sens indiqué ci dessus, à savoir il existe des pixels d'altitude supérieure au maximum prévu.

Néanmoins les axes de ces traits peuvent se joindre exactement en plusieurs noeuds selon une topologie correcte dont la fusion en une seule jonction ne rend pas compte.

Le cas particulier du tracé exclusif avec un instrument d'épaisseur calibrée devrait permettre après étalonnage plus de fiabilité au procédé (cohérence d'épaisseur).

Pour cela lors d'une exploration préalable, qui n'est pas à renouveler à chaque dessin, procéder à un échantillonnage systématique du dessin en vue de retrouver des épaisseurs de traits. Par exemple une grille de masques quasi circulaires de 9 pixels de diamètre, sur une image en 256 niveaux de gris a été présentée dans []. Cette méthode coûteuse en calcul (eu égard à une squelettisation élémentaire), repose sur le calcul rapide des moments et du centre de gravité des pixels du masque. On en déduit la distance, la direction et l'épaisseur d'une hypothétique droite traversant le masque.

Soit connue l'épaisseur des lignes (par cette méthode ou une autre plus simpliste au pixel près), et la certitude de leur constance, peut on s'appuyer sur cette connaissance pour faciliter la squelettisation. Par un bon choix de l'épaisseur maximum, évidemment. Mais aussi pour déterminer les cas de traits proches se chevauchant réellement, ou fusionnant du fait de la binarisation ou des nettoyages effectués. Ainsi, le suivi d'un contour au delà de la partie squelettisée permet de prolonger le squelette à demi épaisseur en suivant le seul bord disponible. Cette situation est fréquente dans les jonctions en T, un

squelette continu peut alors être inféré à partir de la bordure continue.

Par ailleurs les lignes blanches partiellement présentes après binarisation pourrait être déduites de l'épaisseur de la double ligne, si ce traitement des lignes doubles s'impose vraiment.

Un cas important est celui des contours hachurés, en cas de hachures serrées, il ne reste plus de portions de squelette pour le contour, mais une bordure extérieurs est détectable. Suivant quel critère peut on alors maintenir une ligne à demi épaisseur d'un contour? Est-ce un taux de présence de pixels blancs à l'épaisseur cherchée ?

La détermination des contours permet de garder trace de ce qui n'a pu être squelettisé, ces contours sont susceptible de représenter les jonctions, les traits fusionnée.

2° Appariement de contours de traits et détermination des jonctions.

Une autre approche consiste à déterminer les contours des composantes noires et à chercher à apparier les côtés des traits. Cette méthode convient pour des traits épais ou d'épaisseur variable, et ne rompt pas la connexité établie au niveau des pixels.

Lorsque le suivi des deux côtés d'un trait ne peut se poursuivre, on peut soit alterner avec un traitement de jonctions, (méthode dite de tour d'horizon) ou simplement déterminer tous les arcs dans une première phase et chercher à établir les jonctions par proximité des extrémités.

Cette dernière méthode, appliquée à un traitement des petites erreurs de jonctions dans des dessins DAO complexes (plus de 100000vecteurs) a montré son efficacité. Le recours à l'image numérique est encore possible pour valider les hypothèses de jonctions.

On souhaiterait pouvoir démarrer de cet état, structure de donnée décrite comme un graphe, constitué de noeuds et d'arcs. Une vectorisation donnant une approximation sous forme de lignes polygonales, constituées de vecteurs assez courts pour garantir le respect des données raster permettrait de ne plus avoir recours ultérieurement au modèle raster. Cela n'est généralement pas le cas des systèmes de vectorisation en usage.

Dès lors une structure de donnée adaptative se révèle indispensable pour étiqueter progressivement les éléments graphiques. Une méthode de relaxation discrète semble suffisante,

En première étape après vectorisation, trois types d'éléments à identifier à part

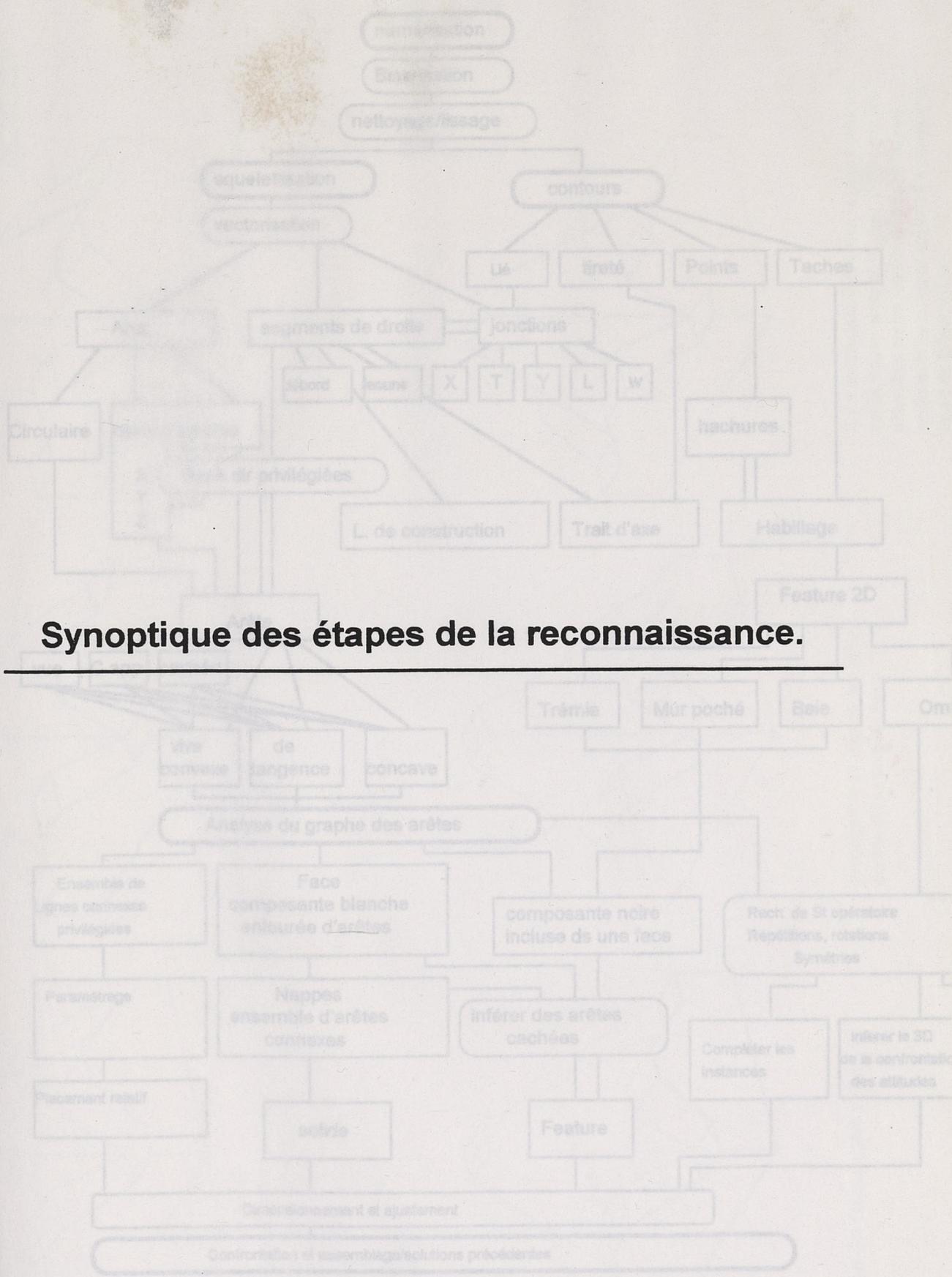
- Les points isolés, le très petits vecteurs isolés, chercher à les regrouper en taches de points ou en lignes
- Les annotations, les petits symboles
- Les hachures

Dans une deuxième étape les lignes restantes seront classifiées par leur longueur et leur relation au reste du modèle :

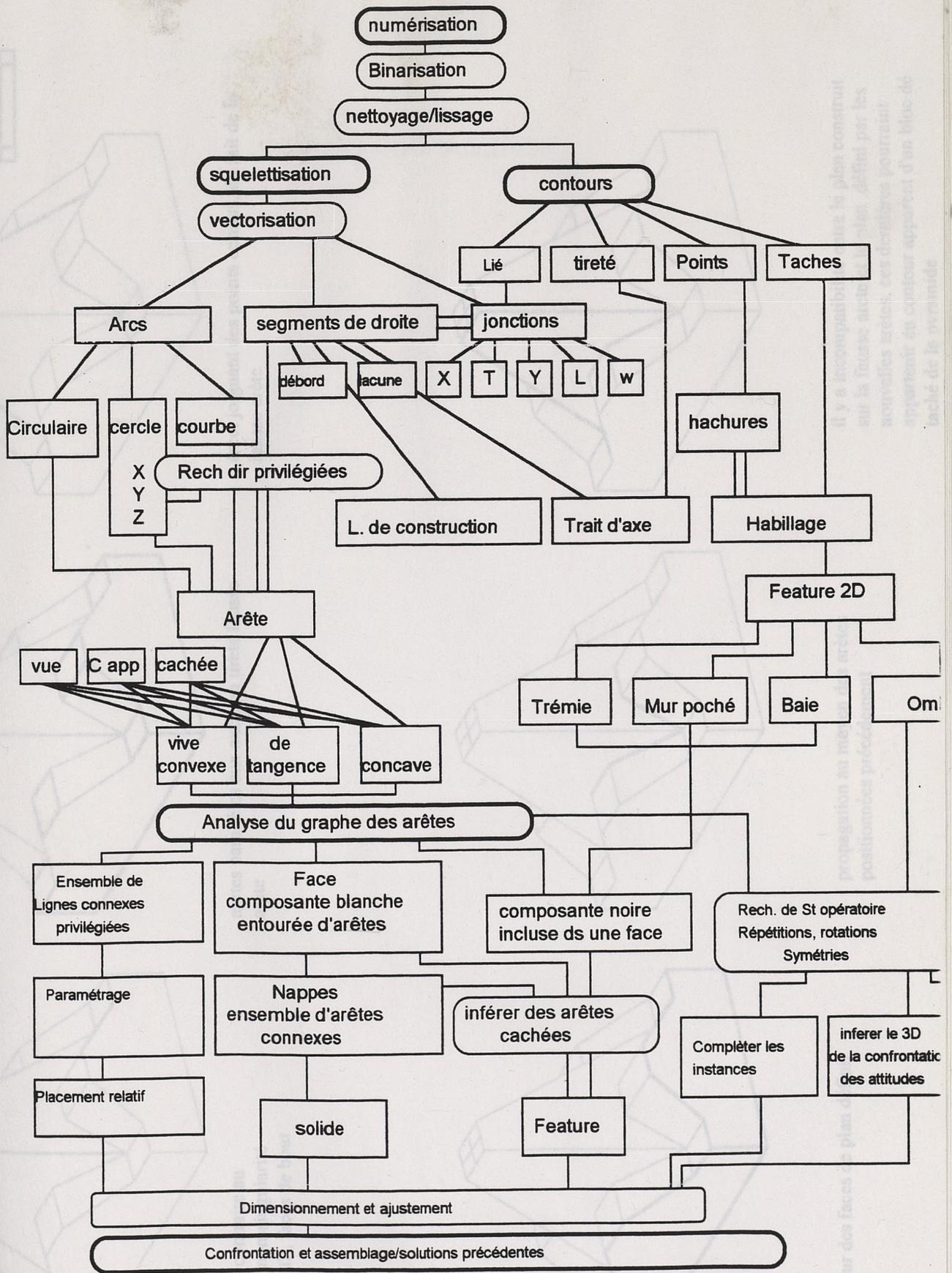
- || les vecteurs courts appartenant à un arc
- || les vecteurs longs isolés
- || les vecteurs courts pendants
- || les vecteurs longs pendants
- || les vecteurs longs libres
- || les vecteurs longs entre deux jonctions

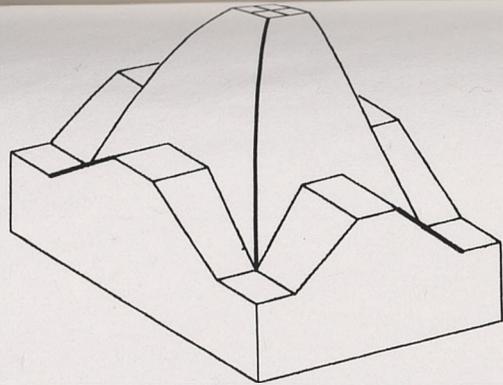
Les vecteurs longs sont classés par direction (représentation polaire) et un histogramme est réalisé

Synoptique des étapes de la reconnaissance.

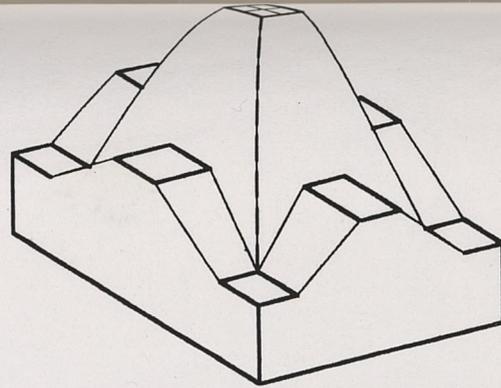


Synoptique des étapes de la reconnaissance.

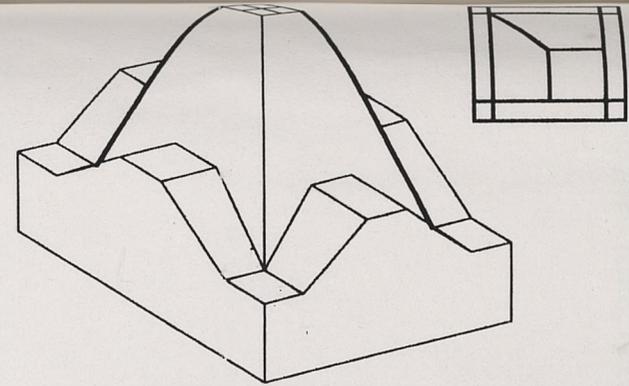




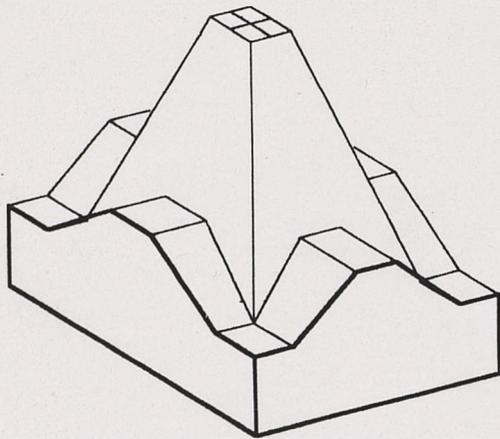
Point de vu contraire au principe de non-singularité arête de profil, faces de bout



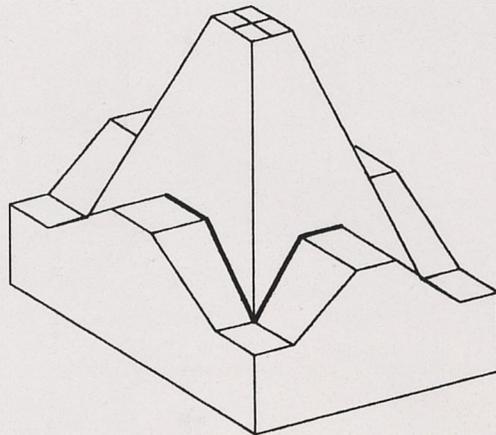
arêtes parallèles aux axes, en tireté fausse arête



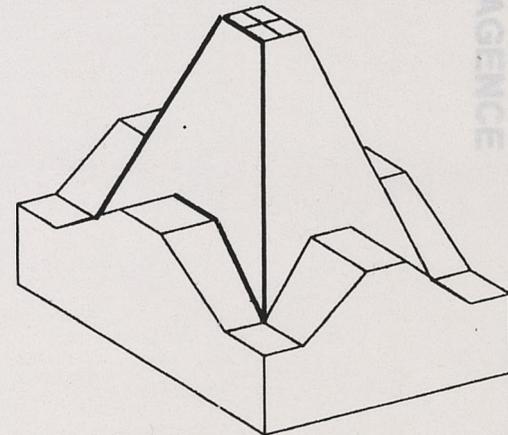
arête joignant des points connus, du fait de la fausse arête



circuits sur des faces de plan défini.



propagation au moyen des arêtes positionnées précédemment



il y a incompatibilité entre le plan construit sur la fausse arête et le plan défini par les nouvelles arêtes, ces dernières pourraient appartenir au contour apparent d'un bloc détaché de la pyramide.

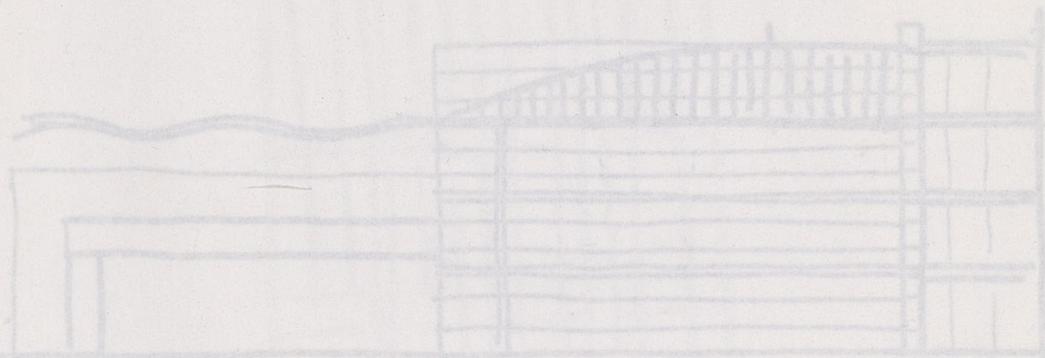
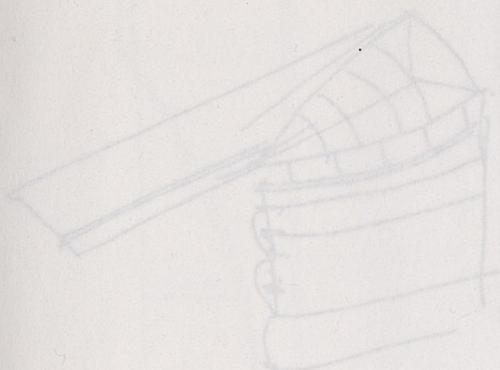
PRODUIS D'AGENCE
ANNEXE 3

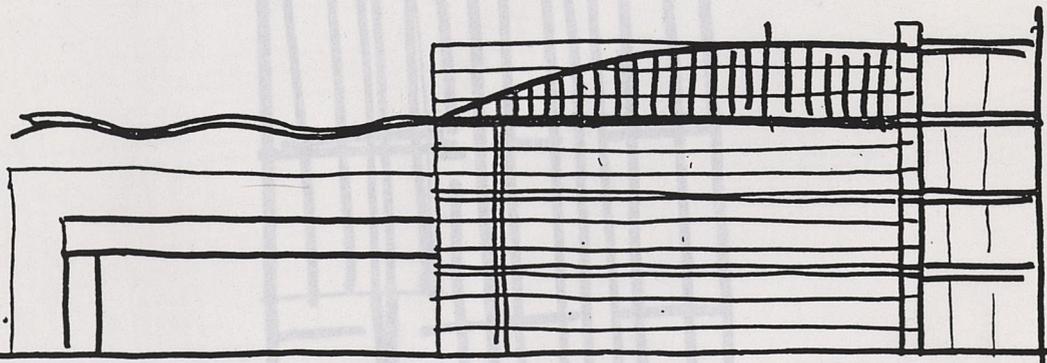
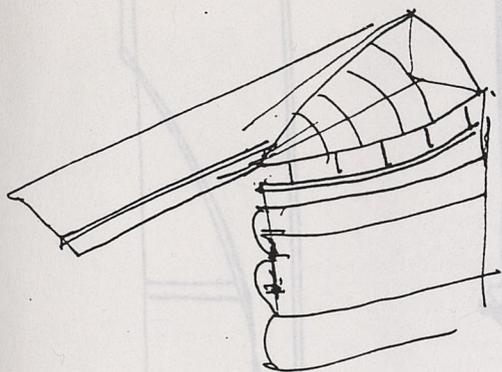
ANNEXE 3

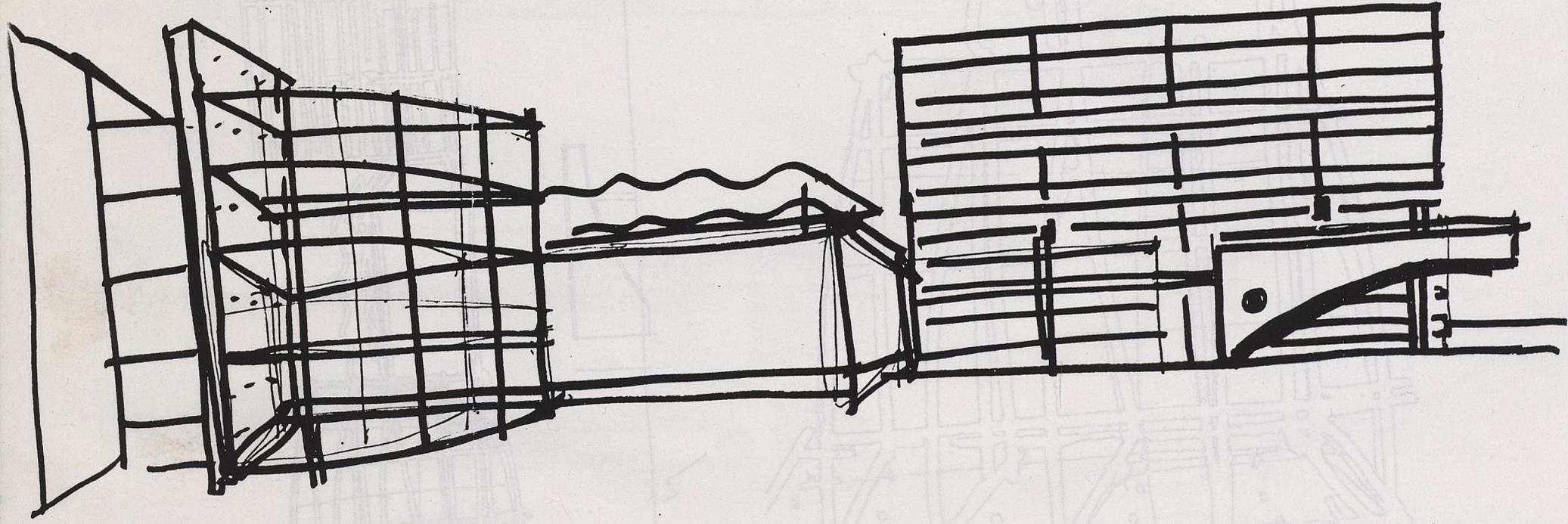
Agence NMS, Nicolas SERAGUI

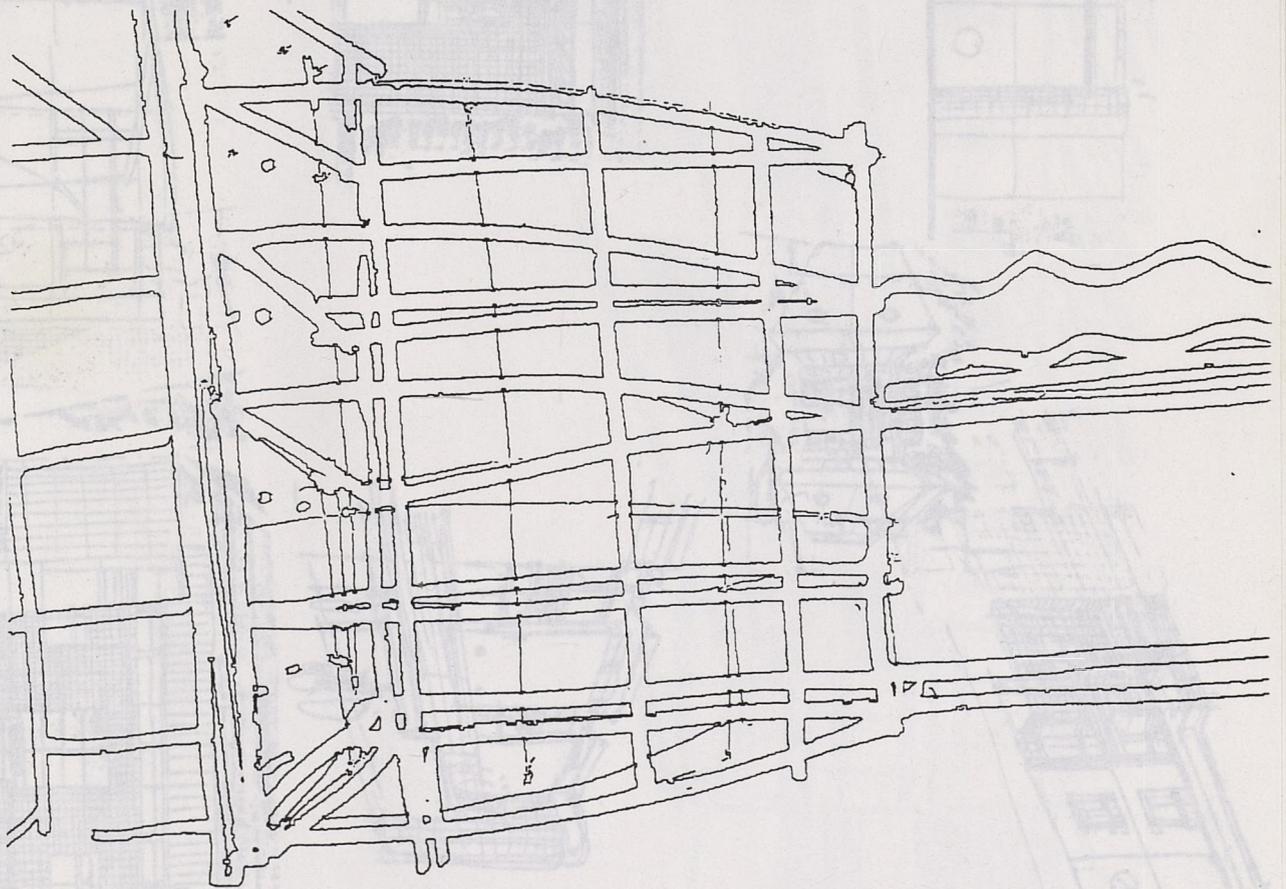
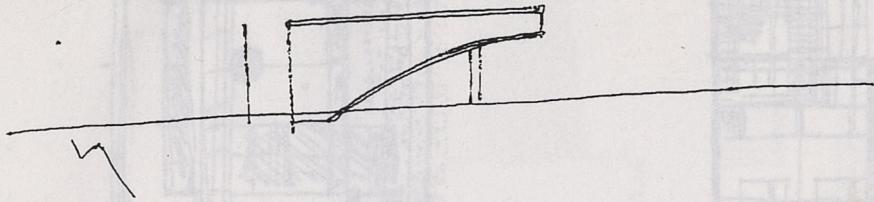
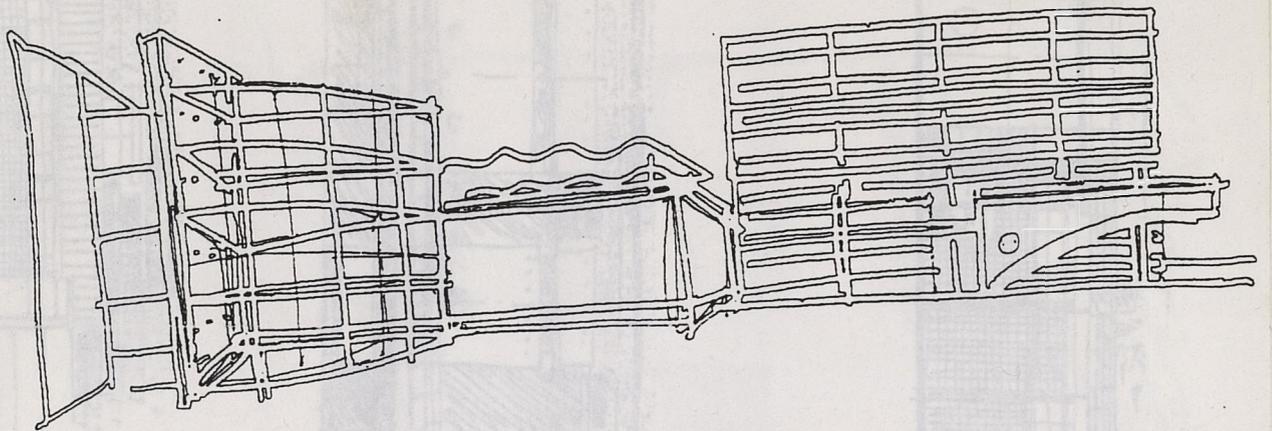
CROQUIS D'AGENCE

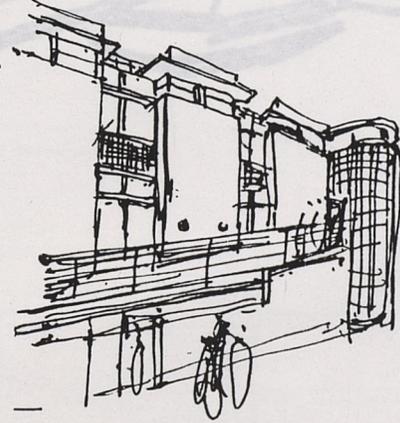
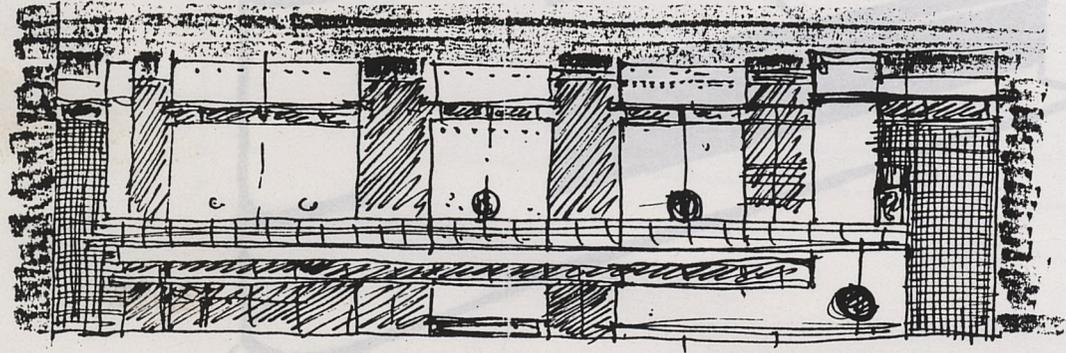
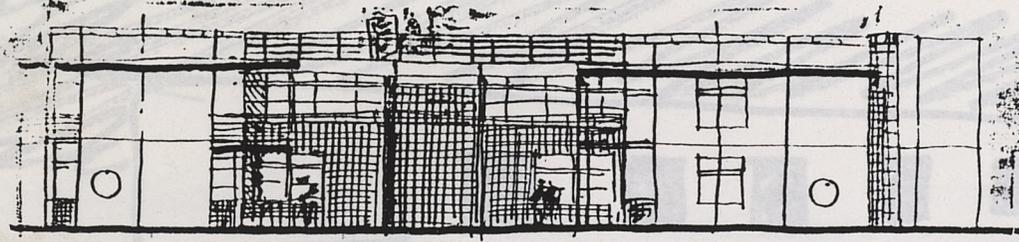
Agence NMS, Nicolas MALIVEL SERAQUI



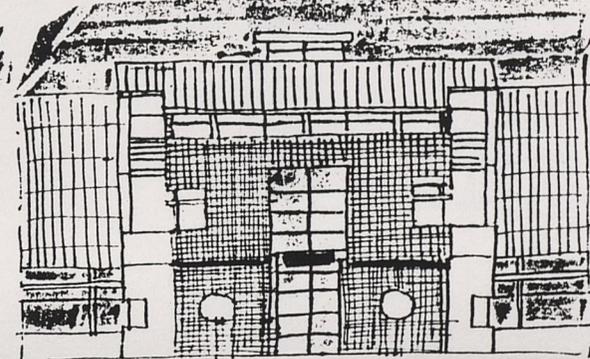
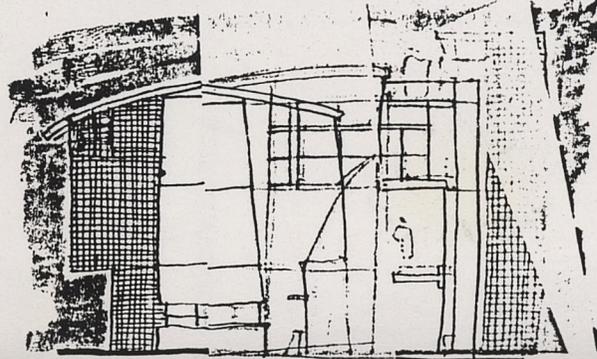
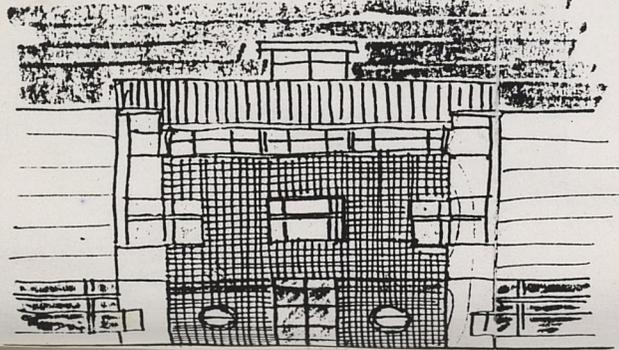


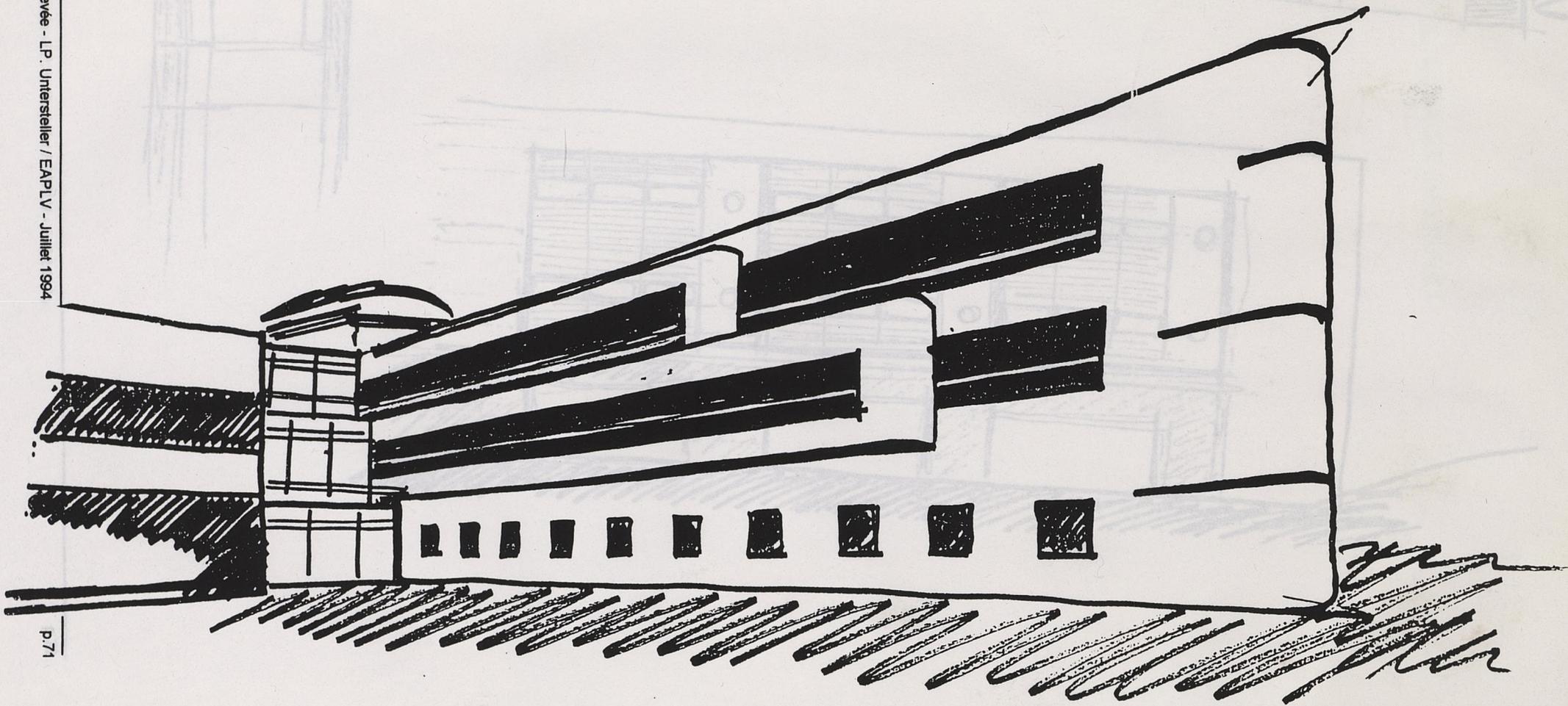


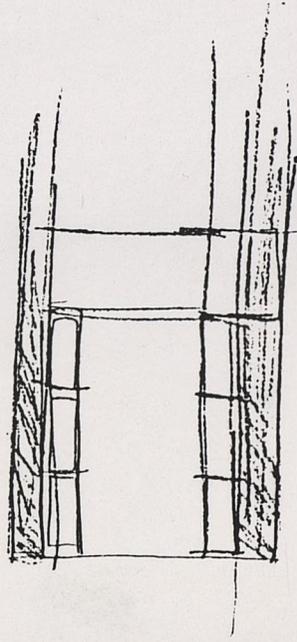
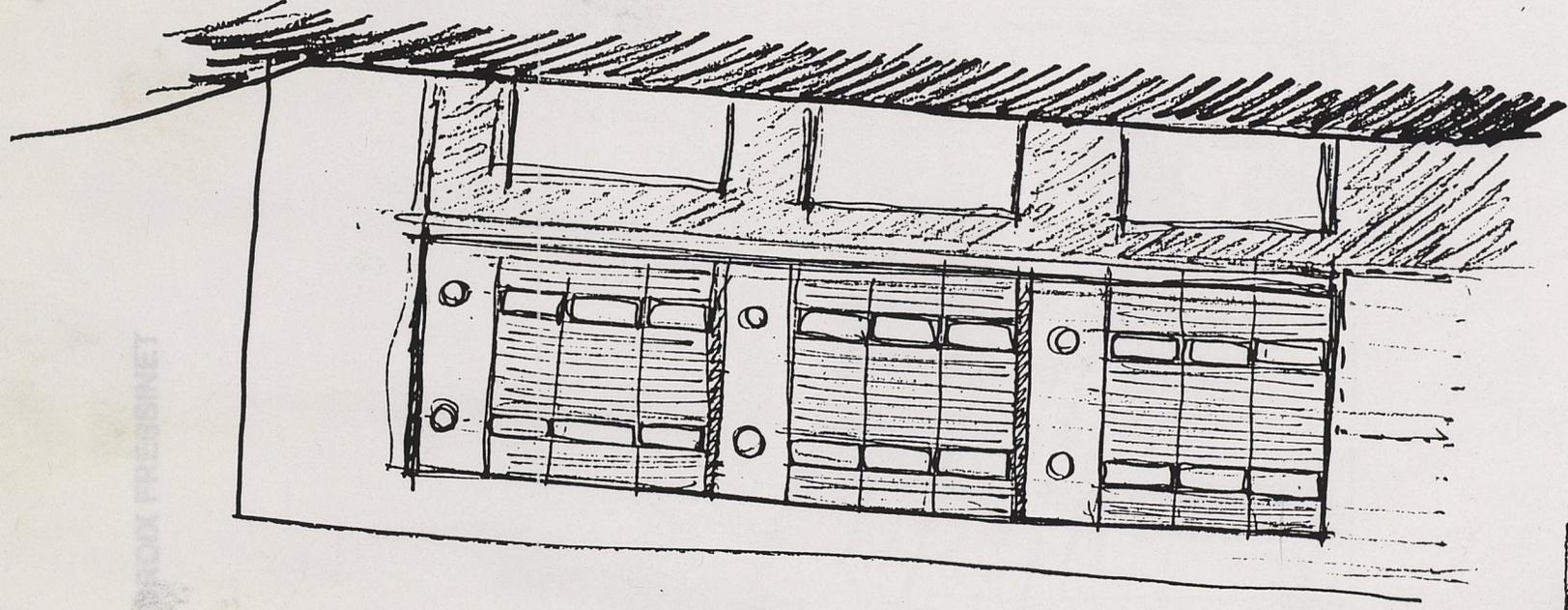
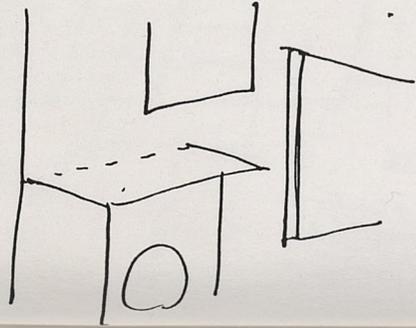
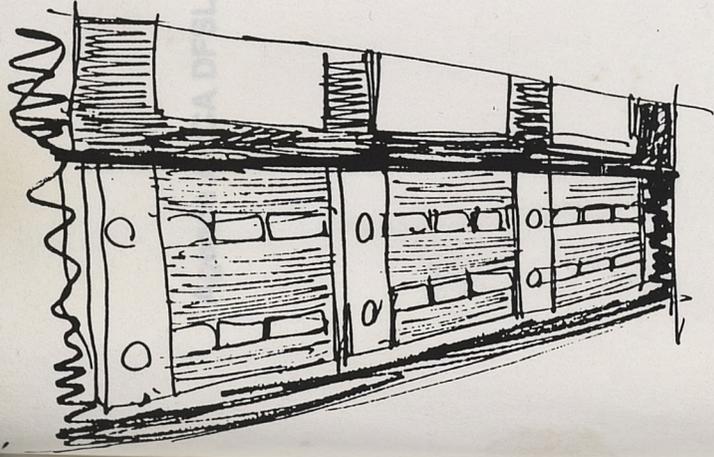




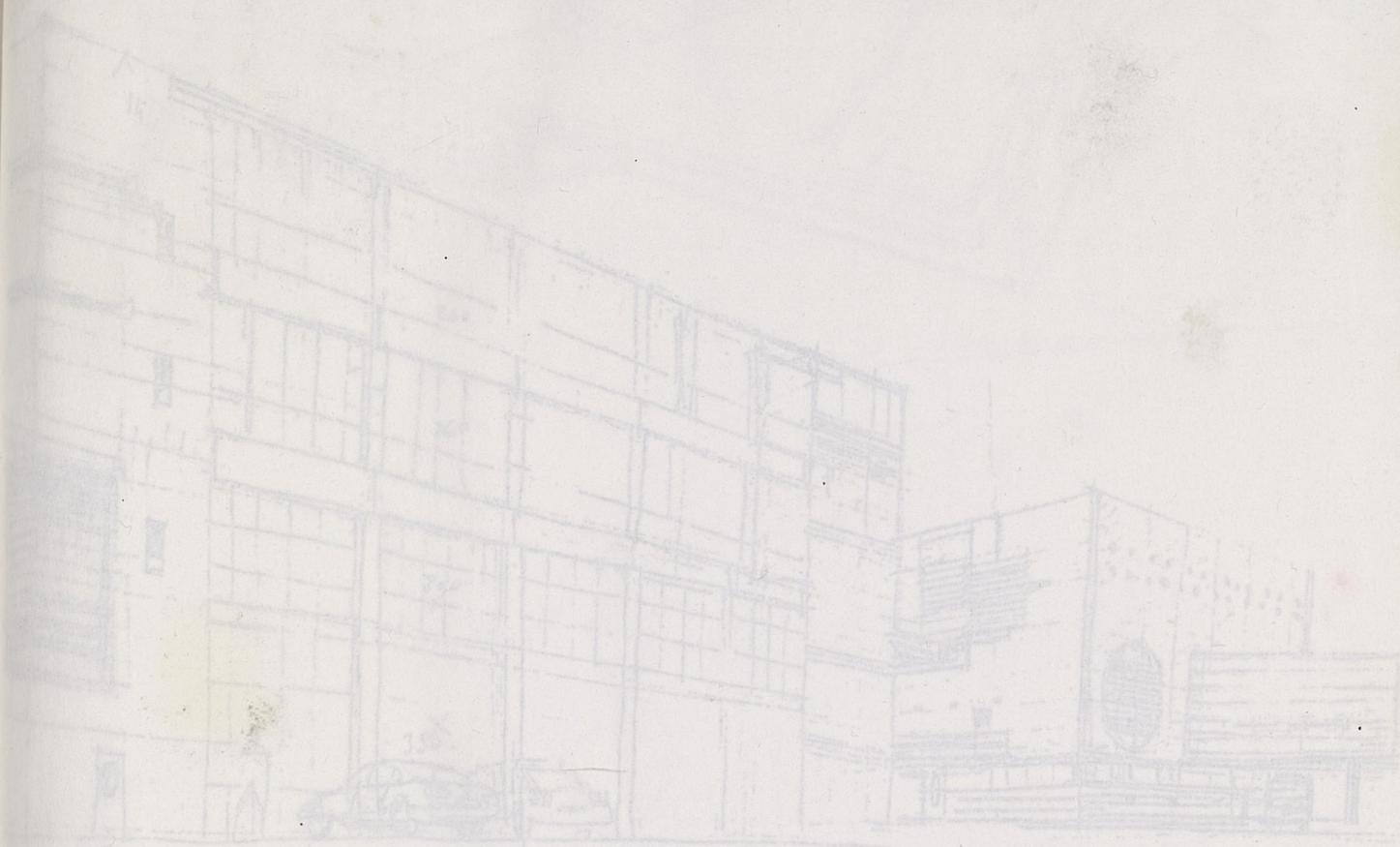
②

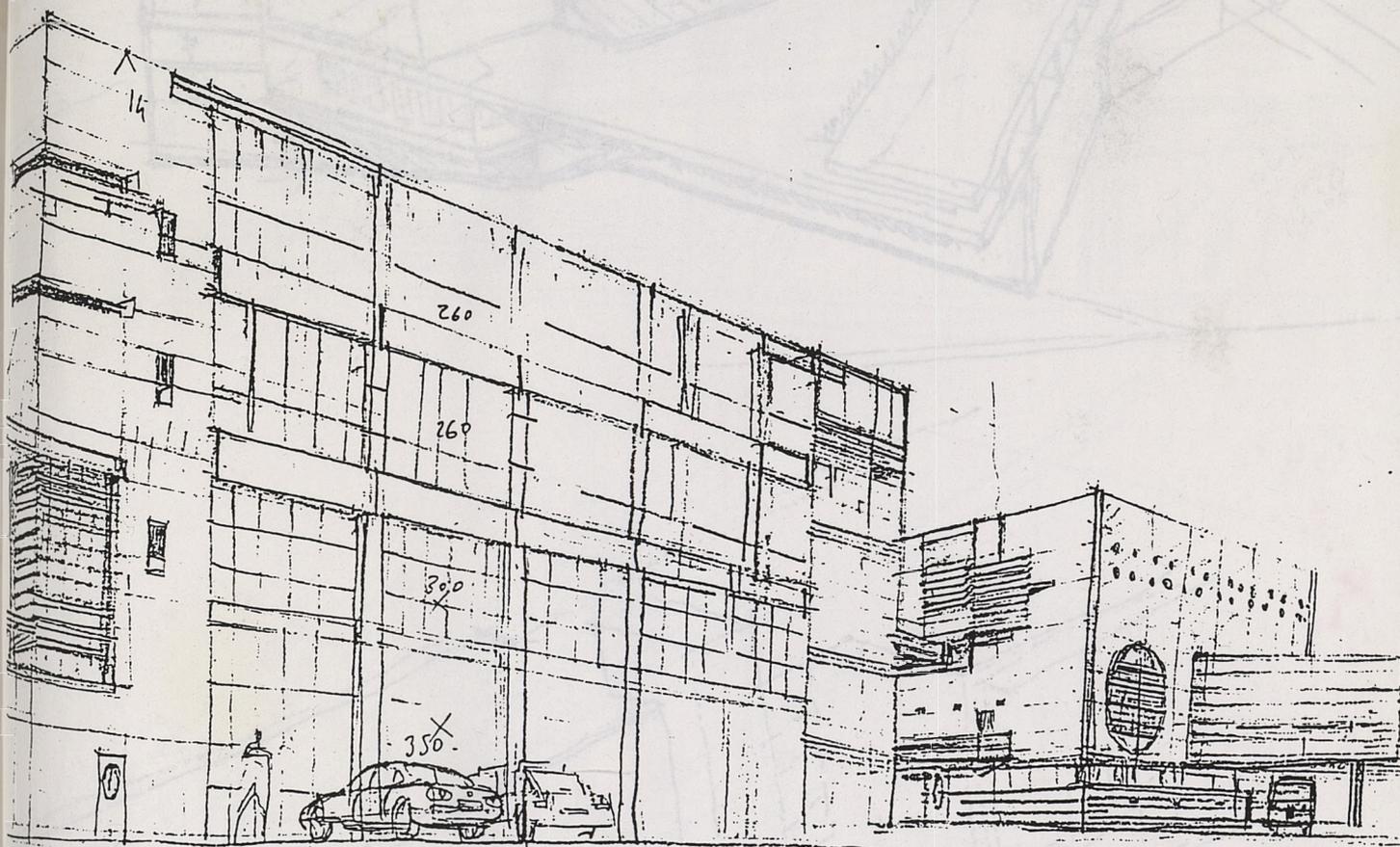


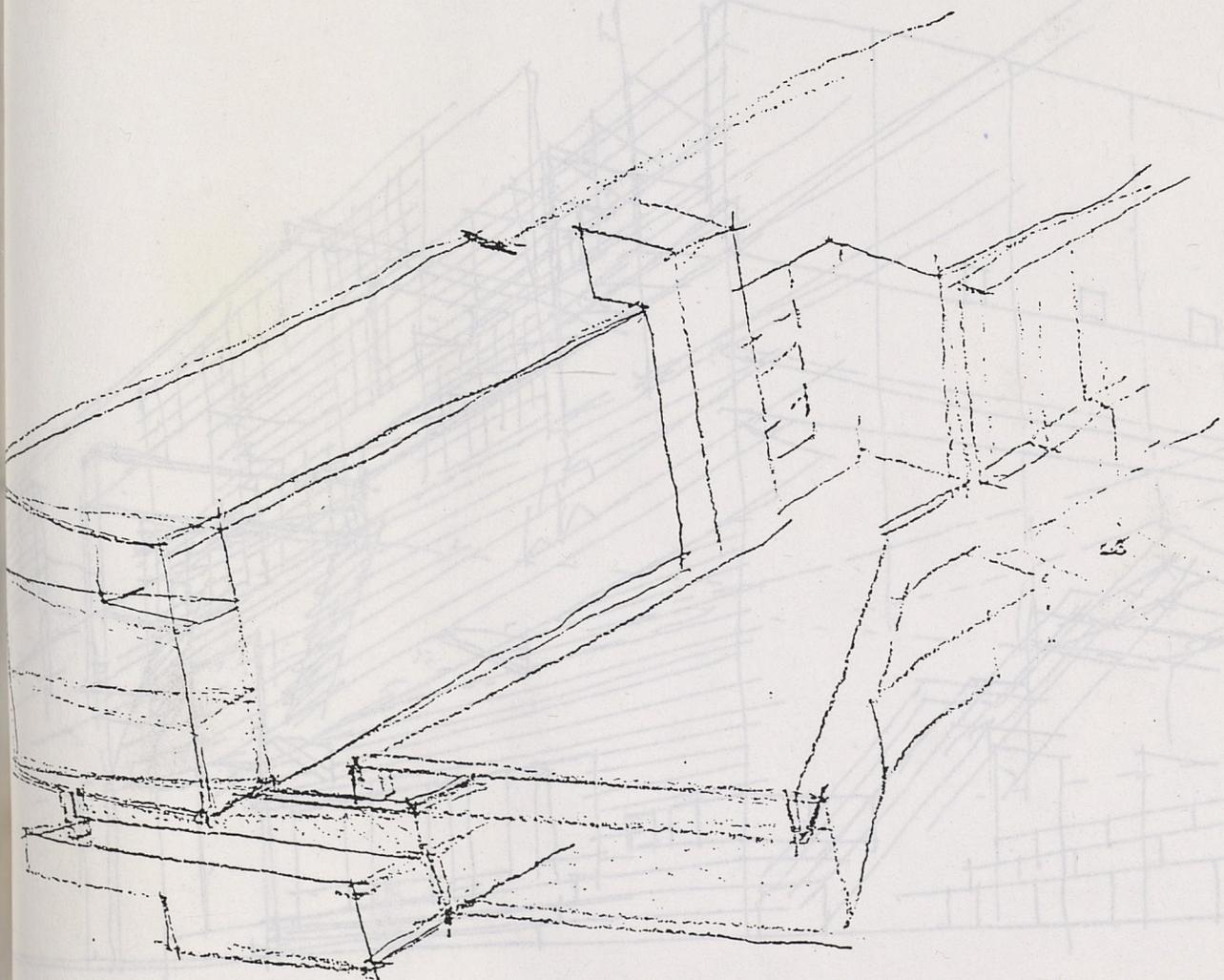
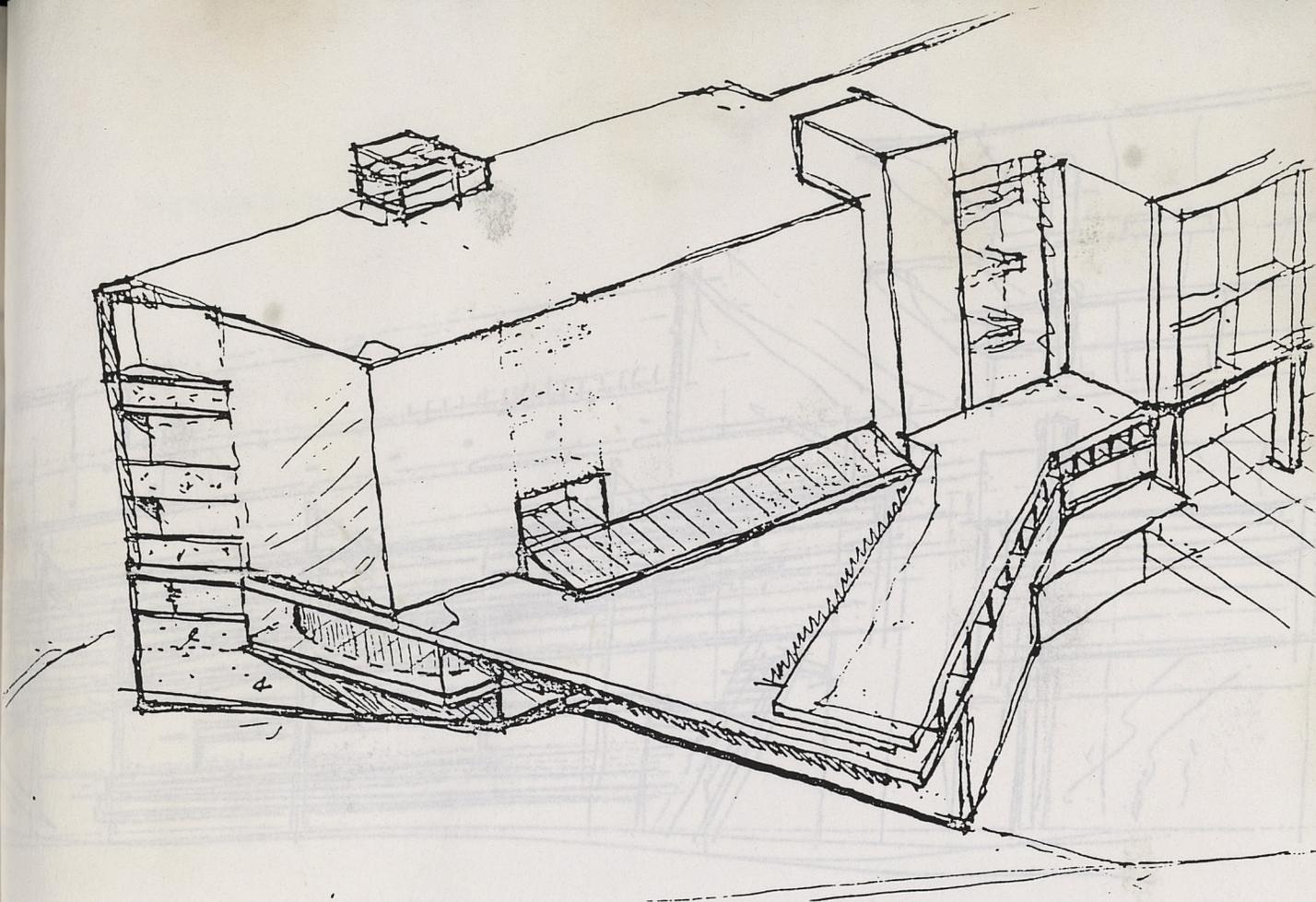


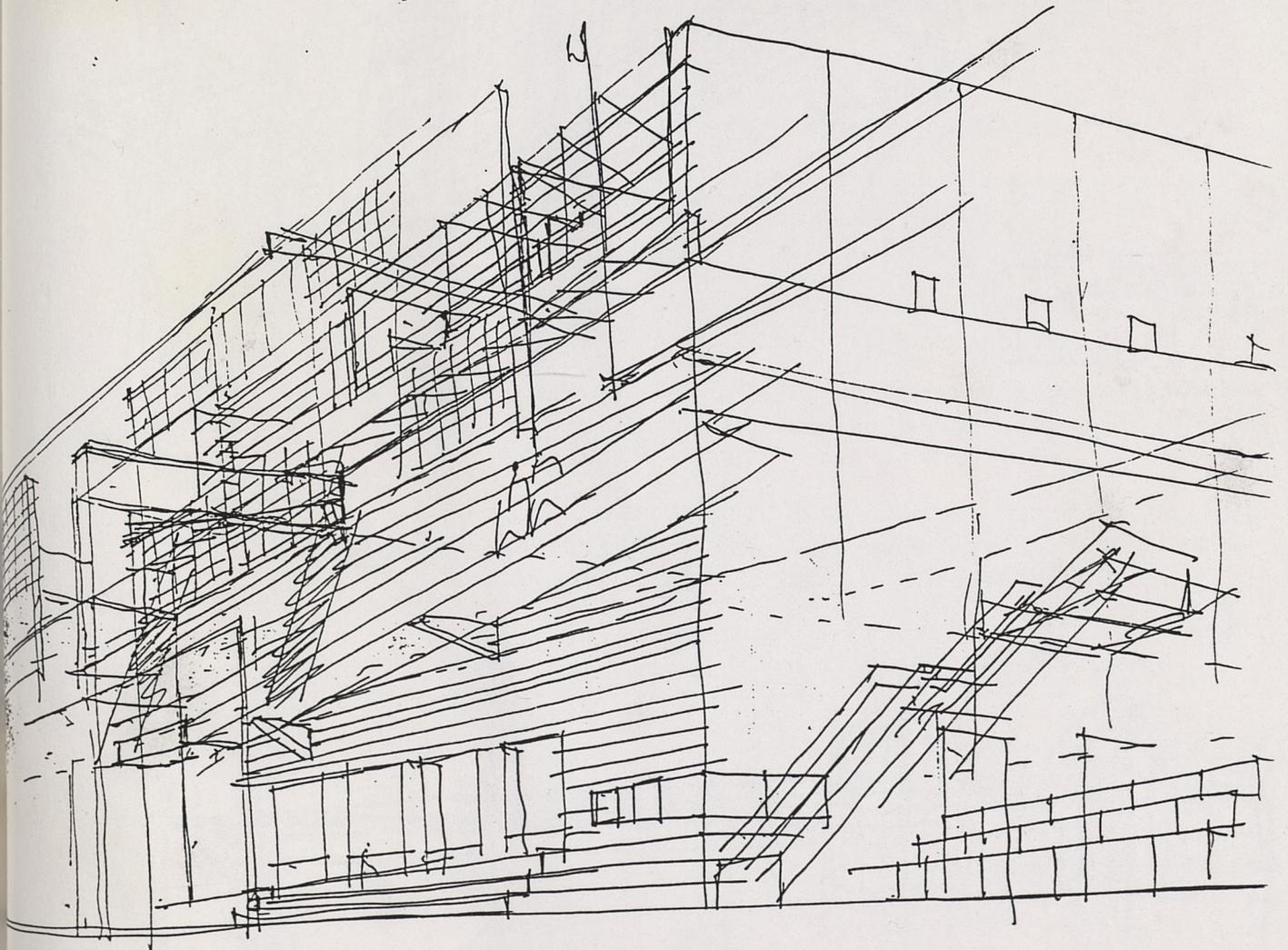
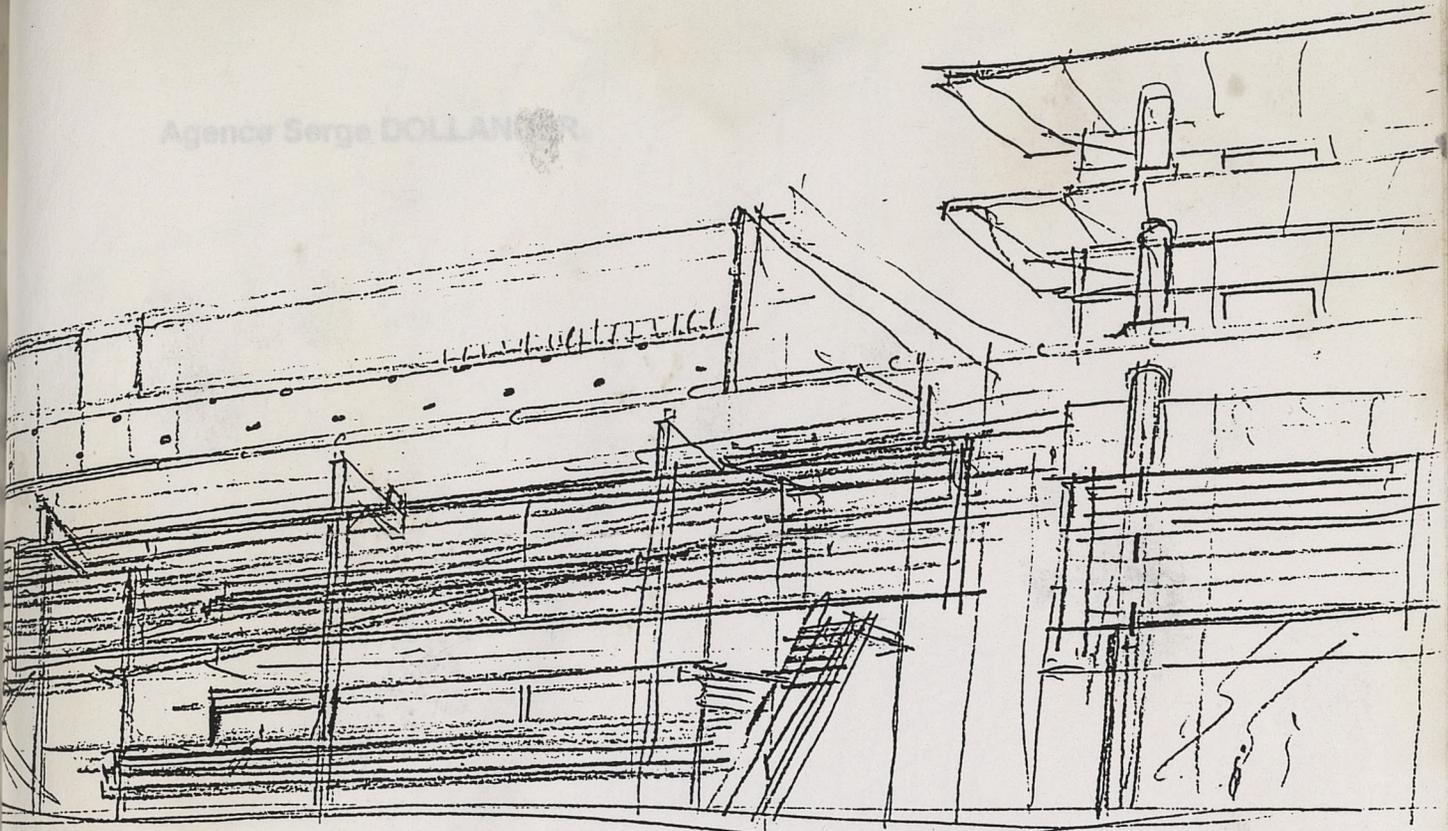


Agence ARCA DFSL, LACROIX FRESSINET

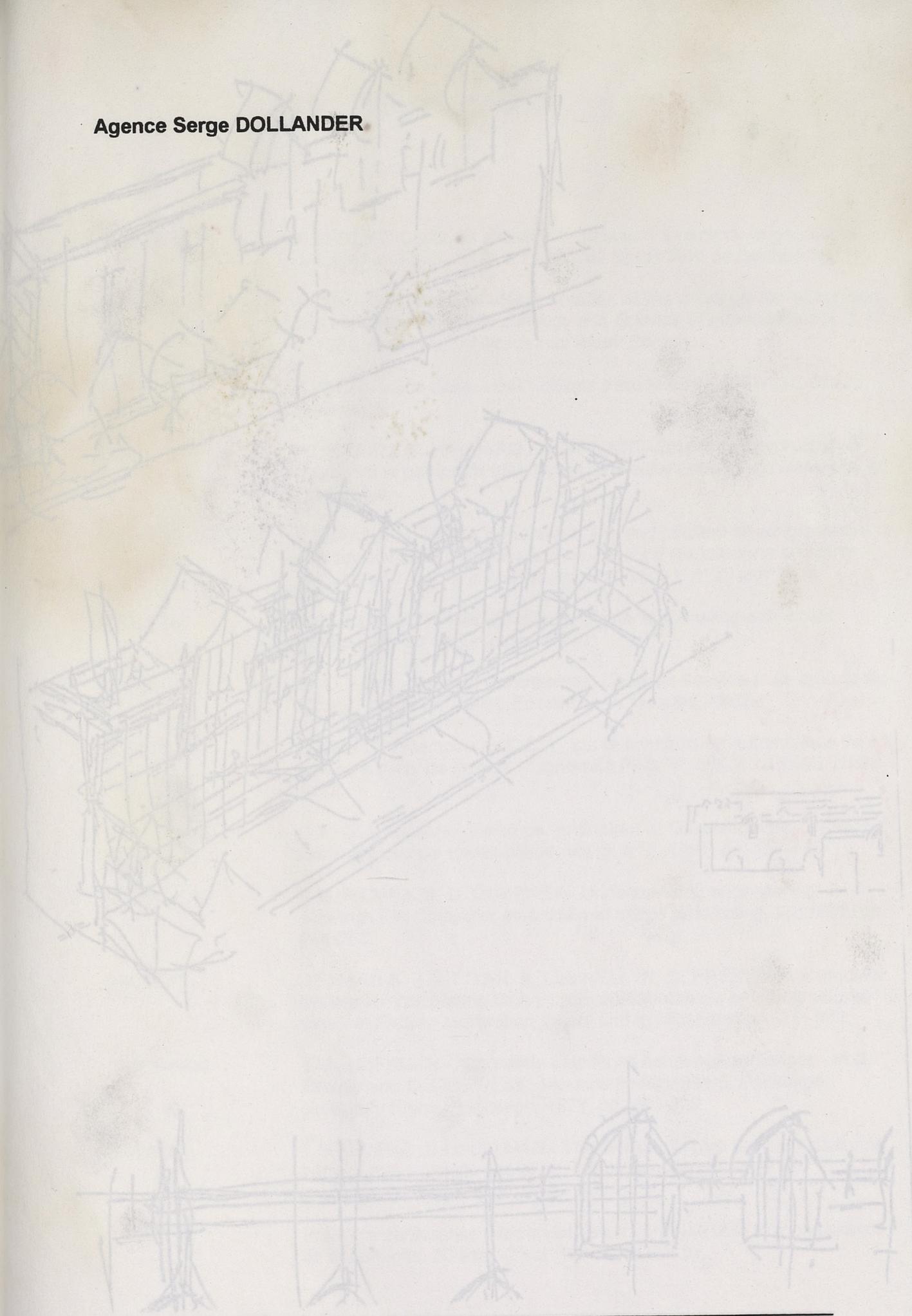


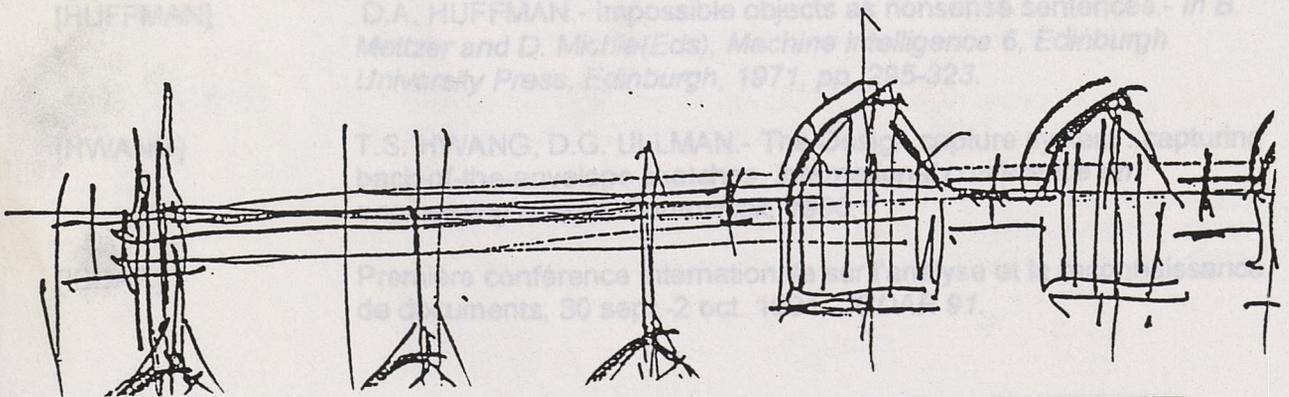
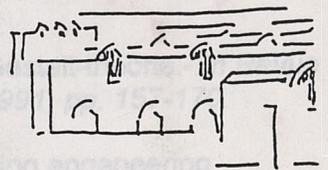
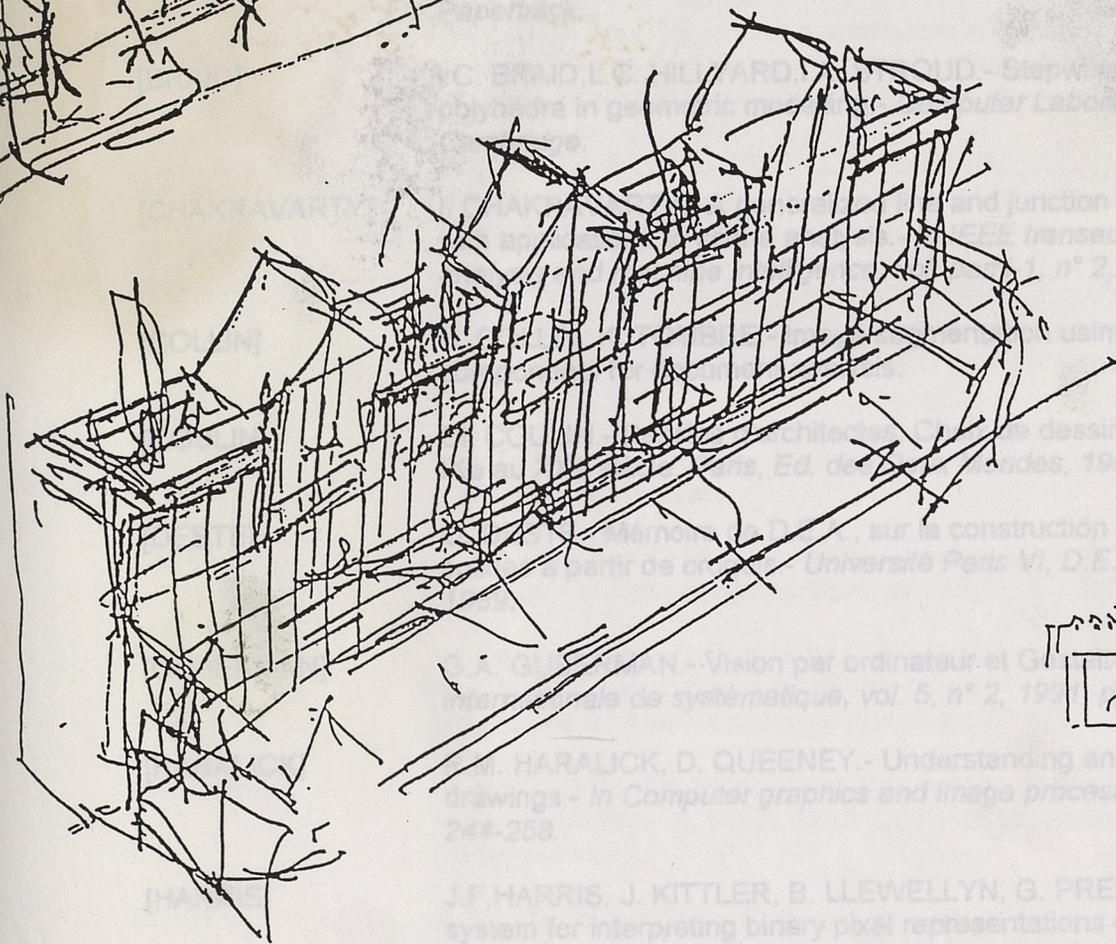
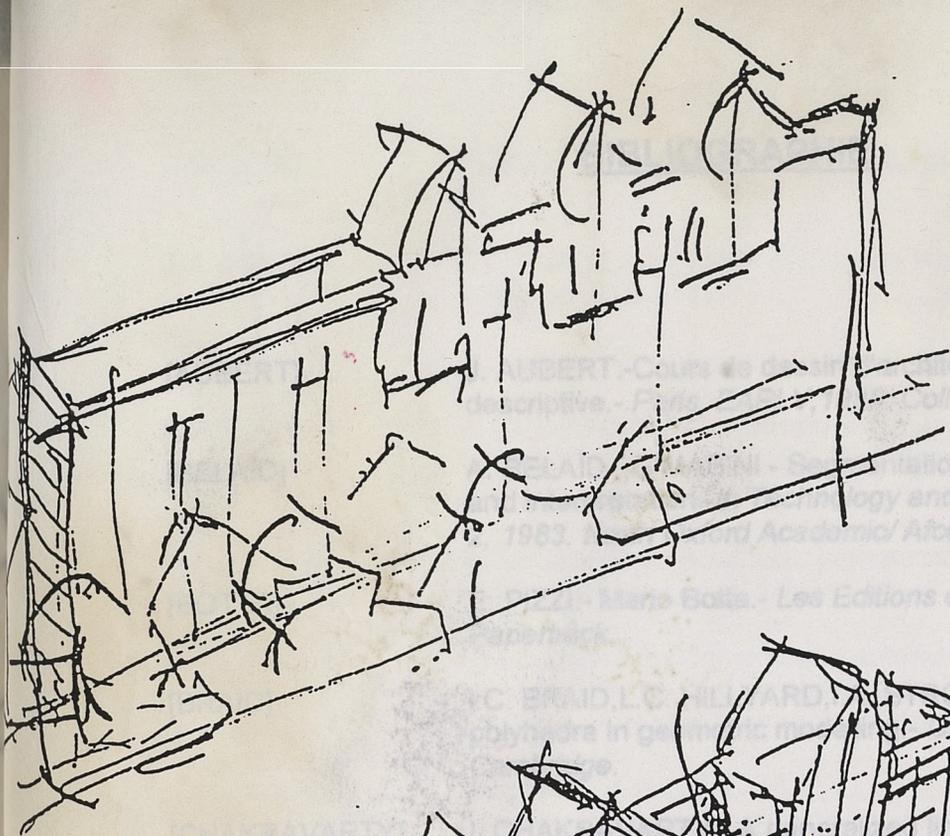






Agence Serge DOLLANDER





BIBLIOGRAPHIE

- [AUBERT] J. AUBERT.-Cours de dessin d'architecture à partir de la géométrie descriptive.- Paris, EAPLV, 1980. Coll *Savoir faire de l'architecte*.
- [BELAÏD] A. BELAÏD, G MASINI - Segmentation of line drawings for recognition and interpretation.-In *Technology and Science of Informatics*, vol. 1, n° 2, 1983. North Oxford Academic/ Afcet/ Bordas.
- [BOTTA] E. PIZZI.- Mario Botta.- *Les Éditions d'architecture 1991*. Coll. *Studio Paperback*.
- [BRAID] I.C. BRAID, L.C. HILLYARD, I.A. STROUD.- Stepwise construction of polyhedra in geometric modelling.- *Computer Laboratory, University of Cambridge*.
- [CHAKRAVARTY] I. CHAKRAVARTY.- A generalized line and junction labeling scheme with applications to scene analysis.- *In IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. pami-1, n° 2, avril 1979.
- [COLLIN] S. COLLIN, K. TOMBRE.- Image segmentation using connected components for document analysis.
- [COULIN] Cl. COULIN.- Dessins d'architectes. Choix de dessins et de croquis du IX^e au XX^e siècle. Paris, Ed. des Deux Mondes, 1962.
- [DESTE] O. DESTE.- Mémoire de D.E.A., sur la construction automatique de solides à partir de croquis.- *Université Paris VI, D.E.A. IARFAG, 1988-1989*.
- [GUBERMAN] G.A. GUBERMAN.- Vision par ordinateur et Gestalt-théorie.- *In Revue internationale de systématique*, vol. 5, n° 2, 1991, pp. 157-170.
- [HARALICK] R.M. HARALICK, D. QUEENEY.- Understanding engineering drawings.- *In Computer graphics and image processing*, 20, 1982, pp. 244-258.
- [HARRIS] J.F.HARRIS, J. KITTLER, B. LLEWELLYN, G. PRESTON.- A modular system for interpreting binary pixel representations of line-structured data.- *In Pattern recognition theory and applications*, pp. 311-351.
- [HUFFMAN] D.A. HUFFMAN.- Impossible objects as nonsense sentences.- *In B. Mettzer and D. Michie(Eds), Machine intelligence 6, Edinburgh University Press, Edinburgh, 1971, pp. 295-323*.
- [HWANG] T.S. HWANG, D.G. ULLMAN.- The Design capture system : capturing back-of-the-envelope sketches. *International conference on engineering design, Dubrovnick, 1990*.
- [ICDAR] Première conférence internationale sur l'analyse et la reconnaissance de documents, 30 sept.-2 oct. 1991.- *ICDAR 91*.

- [JAEGER,] F. JAEGER, J.-M. LABORDE.- Interprétation de dessins de graphes.-
In
- [KANADE.] T. KANADE.- A Theory of Origami World.- *In Artificial intelligence 13, 1980, pp. 279-311.*
- [LAPRADE] A. LAPRADE.- Croquis.-Vincent Fréal et Cie Paris
- [LEBAHAR] J. Cl. LEBAHAR.- Le Dessin d'architecte, simulation graphique et réduction d'incertitude.- *Ed. Parenthèses, 1983. Coll. Architecture/Outils.*
- [LEQUETTE] R. LEQUETTE.- Automatic construction of curvilinear solids from wireframe views.- *In CAD, vol. 20, n° 4, mai 1988.*
- [LEQUETTE] R. LEQUETTE.- Construction automatique de solides à partir de vues orthogonales de type dessin industriel.- *Thèse de l'Université scientifique, technologique et médicale de Grenoble, 26 oct. 1987.*
- [MARTI-93] E. MARTI, J. REGINCOS, J. LOPEZ-KRAHE, J.J. VILLANUEVA.- Hand line drawing interpretation as three-dimensional objects.- 1993, *Elsevier Science Publishers B.V.*
- [MARTI] E. MARTI, J. REGINCOS, J. LOPEZ-KRAHE, J.J. VILLANUEVA.- Interprétation de dessins faits à la main comme scènes tridimensionnelles pour l'entrée de données dans systèmes CAO. ICDAR 91
- [MASINI] G. MASINI, K. TOMBRE.- La Relaxation discrète pour l'interprétation de documents techniques.
- [MASINI] G. MASINI, R. MOHR .- Mirabelle, a system for structural analysis of drawings.- *In Pattern Recognition, vol. 16, n° 4, 1983. pp. 363-372.*
- [MAYOR] La Expresion arquitectonica de la Playa Mayor de Madrid a traves del lenguaje grafico. Catedra de dibujo, curso 77/78.-*Collegio oficial de arquitectos de Madrid, coleccion Catedras, n° 1.*
- [MILGRAM] M. MILGRAM.- Reconnaissance des formes. Méthodes numériques et connexionnistes.- *A. Colin, 1993. Coll. Acquis Avancés de l'Informatique.*
- [MOHR] R. MOHR, G. MASINI.- Good old discrete relaxation.- *In Proceeding of the 8th European Conference on Artificial Intelligence, p. 651-656, Munchen, Germany, 1988.*
- [MOHR] R. MOHR.- A general purpose line drawing analysis system.-
- [NEGROPONTE] N. NEGROPONTE.- Recent advances in sketch recognition.- in National Computer conferences, p.663"-675, 1973
- [OTTO] F. OTTO, Fr.-K.SCHLEYER.- Tensile structures, vol. 2. Basic concepts and survey of tensiles structures, by F. Otto. Analysis of cables, cable nets, and cable structures, by Fr.-K. Schleyer.-*The M.I.T. Press, 1969.*

- [ROGERS] D.F. ROGERS, J. ALAN ADAMS.- Mathematical elements for computer graphics.
- [SMITH] R.W. SMITH.- Computer processing of line images : a survey.- *In Pattern Recognition, vol. 20, n° 1, pp. 7-15, 1987.*
- [SRIRAMAN] R.SRIRAMAN, J. KOPLOWITZ, S. MOHAN.- Tree searched chain coding for sub pixel reconstruction of planar curves.- *In IEEE transac Pattern analysis, vol. 11, n° 1, janvier 1989.*
- [STEWART] I. STEWART.- D'où a été prise la photo ?.- *In Pour la science, n° 148, février 1990.*
- [SUGIHARA] K. SUGIHARA.- Mathematical structures of line drawings of polyhedrons - toward man - machine communication by means of line drawings.- *In IEEE transactions on Pattern analysis and machine intelligence, vol. 1, pami-4, n° 5, sept. 1982.*
- [TOMBRE] K. TOMBRE, D. ANTOINE.- Analysis of technical documents using a priori knowledge. *In Proceeding of IAPR Workshop on syntactical and structural Pattern recognition, pp. 178-189, 1988.*
- [TOMBRE] K. TOMBRE.- La Saisie automatisée de documents composites: reconnaissance, codage et interprétation des parties graphiques. Thèse de Doctorat de l'I.N.P.L.- Nancy, I.N.P.L., C.R.I.N., 1987.
- [VERROUST] A. VERROUST.- Construction d'objets géométriques définis par des contraintes. *In Bigre 67, janvier 1990.*

