

**LA TRAME COMME OUTIL D'AIDE
À LA CONCEPTION ARCHITECTURALE
PROTOTYPAGE D'UN GÉNÉRATEUR DE TRAMES**

**TRAVAIL PERSONNEL DE FIN D'ÉTUDES
MÉMOIRE**

Diplôme présenté par : **Olivier MALCURAT**

Jury composé de :

- **M. Jean-Claude BIGNON**, rapporteur extérieur,
- **M. Daniel LÉONARD**, enseignant de l'école d'architecture de Nancy,
- **Mme Françoise SCHATZ**, enseignante de l'école d'architecture de Nancy,
- **M. Gilles ROCHETTE**, personnalité extérieure.

Date de la soutenance publique : lundi 15 décembre 1997, 14 heures.

INTRODUCTION

Le rythme est la trace première d'une intelligence créatrice. Il s'accomplit en architecture au travers de la notion de trame. La trame serait alors une mise en forme du rythme se découvrant à nos yeux par une disposition caractéristique des objets architecturaux, aussi bien les ouvrages que les espaces.

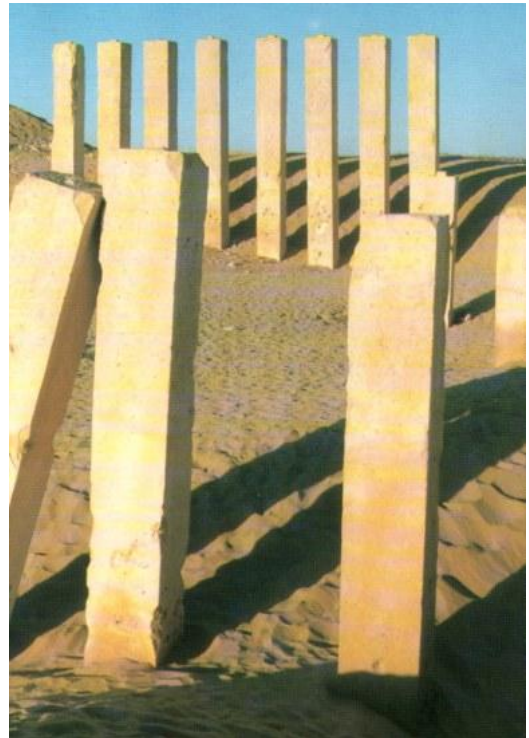
Le terme de trame lui-même, longtemps réservé au domaine du textile, n'apparaît que tardivement au milieu du XVIIIe siècle avec le sens de " structure d'un réseau ", bientôt récupéré par les urbanistes et architectes. Le mot est récent mais l'idée est ancienne. Que nous, spectateurs modernes, portions notre regard sur, par exemple, les agglomérations de maisons au Proche-Orient (Çatal Hüyük ou Hacilar en Anatolie du Sud au VIIe millénaire avant J.-C.) ou les réalisations actuelles en matière d'immeubles de logements en France, la présence de trames s'avère une évidence (comme nous le montre la photographie ci-contre représentant les ruines du temple Awan au Yémen). La trame se trouve être le support d'éléments de toutes dimensions, déclinée à toutes les tailles imaginables, depuis la plus modeste mosaïque de carreaux jusqu'au tracé urbain le plus gigantesque. Il est entendu que bien que nous réservions cette étude au domaine de l'architecture, nous n'en limiterons pas la portée à son seul champ constructif (trame porteuse).

Tous les architectes n'emploient pas de trames. Encore faut-il savoir ce que l'architecte désigne par ce mot. Certains assurent que la trame de 5,80 m largement utilisée dans les logements collectifs n'est en pas une véritablement parce qu'elle est trop déterminée, d'autres qu'un pavement n'en est pas une non plus parce qu'il n'a pas de rôle structurel... Autant de manières de voir que d'architectes.

Il nous faut dépasser ces définitions particulières, et chercher ce qui les rapproche pour aboutir à un modèle générique de trame. Plus générale, elle concernera alors un grand nombre de travaux d'architecture, mais certainement pas tous. Nous ferons néanmoins la vérification que son utilisation est bien plus répandue que nous l'avions d'abord cru.

La présence continue de la trame, entendue cette fois dans le sens d'un outil de conception parmi la panoplie du concepteur démontre toute l'attention dont nous devrions l'entourer. Curieusement, alors que les logiciels informatiques destinés aux architectes se développent et s'enrichissent, cette notion continue à être laissée de côté. Les grilles magnétiques, presque toujours présentes dans de tels logiciels, ne leur sont qu'un palliatif bien insuffisant. Incapables de prendre les formes parfois complexes et irrégulières des trames, elles n'interagissent faiblement avec les objets qu'elles supportent. La trame n'est pas considérée en tant qu'objet, elle n'existe que dans la tête du concepteur.

Cette lacune ne demande qu'à être comblée. Ce travail constitue une ébauche de solutions ;



son objectif étant de programmer un outil informatique capable de simuler des trames planes et l'influence de leur modification sur les objets d'architecture (ici, comme dans la suite, je désignerai par objet aussi bien les parois et équipements que les espaces, c'est-à-dire tout ce qui est pensé par l'architecte). Ce sera le rôle de la deuxième partie de cet exposé (Modèle informatique).

FIL DE CHAÎNE ET FIL DE TRAME

Notre exposé se construit sur deux problématiques générales : la conception et la composition, divisées en problématiques particulières. Une troisième problématique importante est constituée par la géométrie, celle-ci étant ici abordée à l'intérieur des deux problématiques précédentes. Nous ne pourrions nous prévaloir d'une continuité d'idées entre toutes ces problématiques. Le raisonnement à l'œuvre ici n'est donc pas une suite de déductions progressant des thèses simples aux thèses complexes. Donnant raison à la phrase de Poincaré, " le raisonnement syllogistique reste incapable de rien ajouter aux données qu'on lui fournit " (La science et l'hypothèse, 1908), alors, nous devons pour le faire avancer lui redonner du souffle au risque de brusquer le fil ténu des idées. Les citations et les documents graphiques qui illustreront le texte ont le rôle de fil de chaîne.

Nous nous refusons à bonne fin d'exploration à présupposer une connaissance préalable de la trame. Notre attitude sera d'embrasser, au risque d'une perte de précision, un large champ. La vision panoramique sait aussi s'arrêter quand il est besoin sur des zones plus denses et les scruter avec davantage de discernement.

La première partie n'a de but que de rappeler quelques généralités de la notion de trame. Nous ne nous sommes pas attelés à l'étude des trames " chez " un architecte particulier, ni à une époque choisie, le propos se voulant le plus général, le regard le plus lointain et le plus panoramique qu'il se puisse.

Une première problématique est celle de la composition dont le souci s'exerce à la fois sur les actes créateurs et sur le résultat de ces actes, les objets créés. La conception, à un niveau différent de la composition, s'intéresse à ce que nous pourrions appeler des actes créatifs (et non plus créateurs), c'est-à-dire des fondements des actes créateurs indépendamment de la réalité de leur action et de leur résultat. La géométrie, en rapport à la fois avec la composition et la conception, se penche sur l'objet créé en lui ôtant d'emblée toute signification architecturale.

Donnons ici un premier éclairage sur la trame à la lumière de ces trois problématiques. Nous appelons tramage l'opération de fabrication d'une trame. Le tramage est une opération de conception agissant dans l'espace du dessin, qui sert au dimensionnement et au positionnement des objets architecturaux, et qui pose le problème d'une mathématisation de la conception. Le tramage est aussi une opération de composition car il instaure un ordre, obéit à une règle. Il est en dernier lieu une opération géométrique et interroge sur le rapport de la géométrie à l'architecture, notamment au travers de la question de la différence entre la grille et la trame.

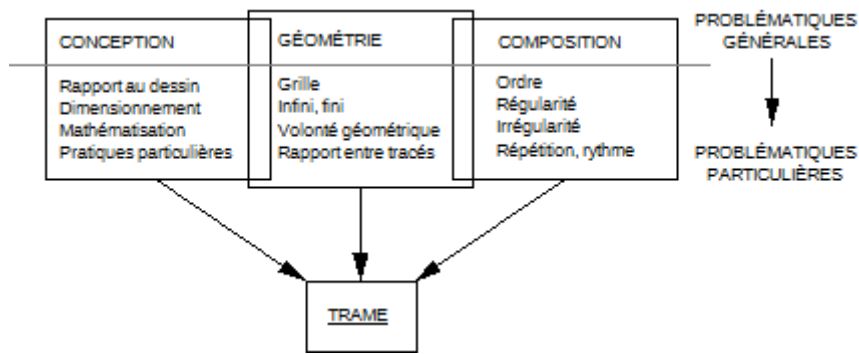


Schéma résumant l'ensemble des problématiques abordées.

MÉTHODE UTILISÉE

La première étape est l'acquisition d'une base de connaissances de deux natures différentes : les documents écrits (articles des revues, livres, interviews) et les documents graphiques (en général plans géométraux). La formulation d'hypothèses est alors possible, contrebalancée par une validation des hypothèses. Cette approche procède de manière discontinue, les informations apportées n'étant pas nécessairement en rapport avec les informations précédentes. Une autre source d'information, ponctuelle celle-là, a été les entretiens avec les architectes Laurent BEAUDOUIN, Christian FRANÇOIS et Bernard PIERREL.

La deuxième étape est l'établissement d'un modèle, d'abord logique, ensuite informatique. Seule la première phase (logique) permet encore des retours en arrière par la validation, la seconde étant l'écriture du programme exclue toute remise en cause. Le programme final peut à nouveau être testé.

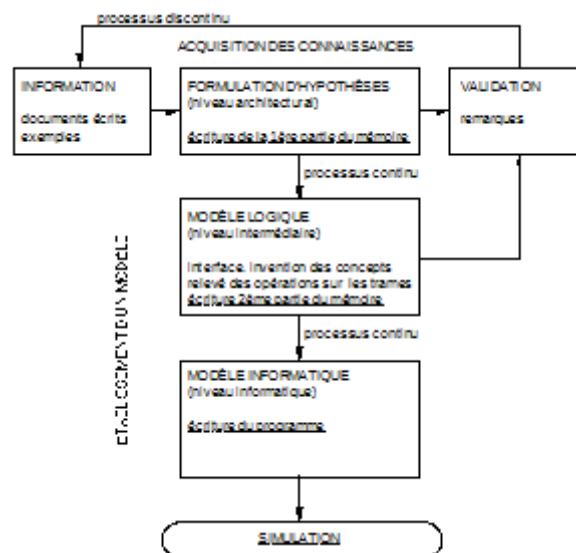


Schéma représentant la méthode utilisée pour cette étude.

Ce mémoire se compose de deux chapitres :

- Le premier chapitre fait un état de l'art sur la question de la trame ; c'est un ensemble de connaissances établi à partir d'un corpus (détaillé ci-après) et présenté sous l'éclairage de trois problématiques détaillées précédemment : la conception, la

composition, la géométrie.

Les trois ouvrages faisant la base de mon corpus sont : 1) Trames planes, de Jean ZEITOUN, le seul ouvrage spécifiquement consacré aux trames, 2) Dimensionnements, de Bernard HAMBURGER, Jean-Claude PAUL et Alain THIÉBAUD, 3) Simulation graphique et réduction d'incertitude, de Jean-Claude LEBAHAR.

- Le second chapitre est la mise au point d'un modèle logique. Il s'agit ici de mettre au jour des concepts (comme la règle, la mesure, la séquence, la période, etc.) qui puissent rendre compte d'un grand nombre de trames architecturales. C'est ce modèle logique qui sera ensuite utilisé pour établir le modèle informatique, lui-même utilisé pour la mise en œuvre du prototype informatique.
- Le programme informatique, à l'état de maquette, c'est-à-dire n'ayant pas la prétention d'être abouti, notamment pour ce qui concerne l'interface utilisateur. Il devrait néanmoins réaliser la plupart des opérations prévues par le modèle. Ce programme sera écrit en langage LISP et fonctionnera sous AutoCAD.

CONCEPTION

GÉNÉRALITÉS

L'architecte est un concepteur. La conception n'est ni un procédé, ni une méthode à la disposition éventuelle de l'architecte. Elle est partie indissociable de son activité. Elle est la fonction de l'architecte.

Si l'architecte peut prétendre enrichir avec l'expérience sa manière de concevoir, sa connaissance de la conception d'un point de vue épistémologique peut rester nulle sans d'ailleurs que soit mise en cause sa qualité d'architecte. Nous distinguons dans cet ordre de chose le savoir-faire rassemblé autour des trames par l'expérience ou par la théorie, du savoir de ce savoir-faire, que nous pourrions appeler un savoir-savoir, et qui ne se situe pas comme ce dernier sur un plan immédiatement utilitaire.

NIVEAUX D'APPRÉHENSION

Nous relevons au moins six niveaux d'appréhension de la trame. Parler de la trame, c'est pointer un de ces niveaux avant les autres.

- le concept que nous nous contenterons pour l'instant de définir comme la structure géométrique en réseau d'objets architecturaux,
- l'idiotisme, ou ce que ne peut recouvrir le concept, ce qui le déborde et n'appartient qu'à une personne ou un groupe. L'idiotisme inclut aussi les jugements de valeurs, les savoir-faire,
- l'outil méthodologique dont la particularité chez la trame est qu'il se fabrique dans le même temps qu'il fabrique.

Nous ajoutons trois niveaux sémiotiques :

- le signifiant, la trame graphique c'est-à-dire sa représentation sur un dessin d'architecte, par exemple les axes de la trame, ou bien l'alternance de bandes colorées, etc.
- le signifié, le contenu intellectuel qu'on place derrière le signifiant, ce que l'architecte nomme le projet de trame,
- le référent, la trame construite c'est-à-dire la réalité des objets que la trame dispose dans l'espace sensible. La puissance de la trame vient en partie de la dissociation du couple signifié/signifiant et du référent. Il est possible d'agir sur le premier sans compromettre le second.

FORME SYNTHÉTIQUE DE LA CONCEPTION

L'architecte, ayant à faire intervenir à l'intérieur de son espace de conception un nombre considérable d'éléments, regroupe par affinités ou proximités ces éléments en ensembles, ou pour être plus juste, établit des coupures entre ces ensembles afin que l'action sur l'un ne se répercute pas, ou se répercute dans une mesure appréciée, sur les autres. Il " définit des niveaux d'approche à partir desquels la conception se développe " appelés *niveaux de conception*.

Il faut donc considérer l'espace de conception comme un espace découpé en niveaux de conception qui coexistent, se recouvrent et qui s'accompagnent d'une versatilité des éléments pris en compte par le concepteur.

[BOU94]

La trame, en tant que fond et liaison de données diverses, articule plusieurs niveaux de conception et, dans le même temps, édifie le sien propre. Ainsi, comme le dit Jean ZEITOUN [ZEI77], elle "concourt à une forme synthétique de la conception". Elle s'oppose ainsi à une forme où les différents niveaux de conception s'élaborent en l'absence d'un dispositif coordinateur. Cela ne signifie pas, comme nous aurons l'occasion de le remarquer, que la trame exclue une forme plus libre, exploratoire et improvisatrice. Faisons bien la différence entre cette forme synthétique du point de vue de la conception de celle que nous pourrions trouver ensuite du point de vue de la composition. La première n'entraîne pas de manière inductive la seconde.

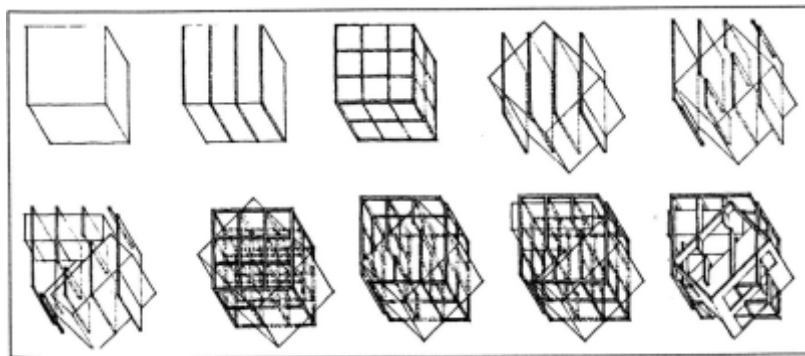
Fabricant de formes, le concepteur recherche l'intégrité (au sens d'unité) ; il essaie de former une unité, de synthétiser, de rassembler les éléments en un tout homogène. D'un autre côté, l'origine d'un programme de conception est analytique, et son effet est de fragmenter le problème.

[ALE64]

DIACHRONISME DE LA CONCEPTION

Une forme synthétique de la conception n'implique pas l'instantanéité du temps de conception. L'édifice créé se donne à la contemplation dans un état d'aboutissement. Mais il dissimule l'histoire de son enfantement, le détail de ses transformations successives. Le mystère de sa création reste entier. Les suppositions que nous faisons ont le défaut d'être efficaces, comme si informée du but qu'elle doit atteindre, la conception se mettait en quête d'un moyen d'y parvenir ; or la conception ne procède pas d'un algorithme, elle n'est pas infaillible, elle a besoin de temps.

La pratique des trames réclame plusieurs temps, elle est diachronique. Elle ne se définit pas en une fois à cause de sa nature complexe ; elle se cherche, s'affirme puis s'affine. L'importance de cette remarque tient au fait que pour établir un modèle logique de la trame, il nous faut tenir compte du fait que les paramètres qui la définissent sont susceptibles de modification en cours de conception.



House III pour Robert Miller, Lakeville, Connecticut, 1971.

Peter Eisenman.

La conception "expliquée". Du cube géométrique à la forme architecturale, décomposition par étapes.

INVENTION DE PROBLÈME

La situation du concepteur n'est pas seulement celle de quelqu'un qui aurait à répondre en vertu de ses connaissances et de son savoir-faire à un problème posé, comme ce que l'on attend d'un plombier intervenant pour une réparation. Le concepteur se heurte à la

difficulté de formaliser le problème, ce dernier étant insaisissable. Il doit répondre il est vrai à une demande, un programme étant établi et des normes devant être respectées. Mais ces données lui donnent davantage une grille de vérification de son projet plutôt qu'une véritable base génératrice .

L'activité de conception comporte une part de résolution de problèmes, ce que l'on peut observer par exemple dans le recours à des modèles architecturaux. Dans la conception technique, cette part est encore plus évidente; lorsqu'un problème est identifié, la connaissance des dispositifs techniques constituent des réponses possibles. Toutefois, nous ne saurions limiter la conception à une activité de résolutions.

[...] la conception a souvent été pensée en termes de résolutions de problèmes, n'est elle pas plutôt une situation d'invention de problème!
[CAA93]

Ces deux aspects de résolution et d'invention ne s'opposent pas, mais coexistent dans la conception.

RÉDUCTION D'INCERTITUDE

Les trames démultiplient l'effort de conception. Elles n'ont pas de valeur *génératrice*, on n'y trouve que ce que l'on veut bien y mettre. La volonté lui vient d'en haut, du concepteur qui lui a donné naissance. Cependant, parce qu'elle-même suscite puis gouverne la création, reconnaissons lui une valeur *générative*.

L'univers des possibles est alors réduit brutalement par une décision arbitraire que le dessin ne fait qu'illustrer, sous une forme iconique qui ne règle rien pratiquement, et dont est déduite l'esquisse de plan qui sera, elle, la véritable base graphique¹.
[LEB83]

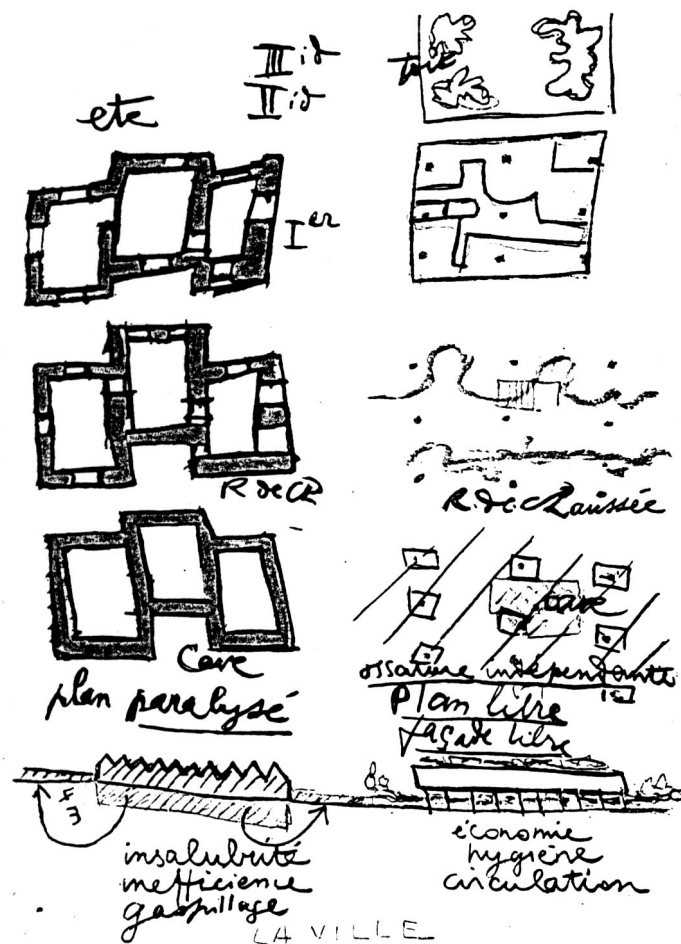
L'un des premiers caractères de la trame, c'est la limitation consciente qu'elle opère sur l'empire créatif du concepteur. Certaines situations du projet ne lui sont plus permises.

Pour s'aider lui-même à surmonter les difficultés de la complexité, le concepteur essaie d'organiser son problème. [...] Ce qui le tourmente n'est pas non plus la difficulté seule du problème. Le fardeau constant de la décision qui pèse sur lui, maintenant qu'il est libéré de la tradition, l'opprime. Aussi s'en délivre-t-il là où il le peut en usant de règles (ou de principes généraux) qu'il formule dans les termes de concepts qu'il a inventés. Ces principes sont la racine, le fondement de toutes les soi-disant "théories" de conception architecturale. Ce sont des prescriptions qui soulagent du fardeau de la conscience et d'une responsabilité trop grande. En fait, nous pourrions pratiquement prétendre qu'un problème n'exige un travail de conception que lorsqu'on ne peut recourir à la sélection pour le résoudre.
[ALE64]

PLAN-LIBRE

La réduction de l'univers des possibles devrait impliquer une aliénation partielle de la liberté du concepteur. Il se produit en réalité l'impression contraire. La trame fournit un cadre dans lequel la liberté du concepteur s'exerce.

¹ L'esquisse de *plan* n'est pas la seule forme de base graphique. Toute autre représentation est également susceptible de donner un départ à un projet (par exemple, ce que l'on appellent les partis de coupes)



Dessin tiré de Précision sur un état présent de l'architecture et de l'urbanisme.
Le Corbusier, Vincent, Fréal & Cie, Paris.

À propos des étages qui se superposent:

" Si je lis mes graphiques, je vois une pauvreté misérable à mes combinaisons architecturales. Pourquoi la salle de bains est-elle grande comme la cuisine, et la chambre des parents grande comme le salon? "

Le plan-libre n'est pas un plan anarchique. C'est un plan qui dissocie les éléments porteurs et les éléments séparateurs d'espace, concentrant les premiers en quelques points (selon un trame en général) et déployant les autres autour de façon libre.

La trame est le moyen privilégié du plan-libre. C'est par elle que la liberté de composer est possible. Elle permet la liberté autour d'elle.

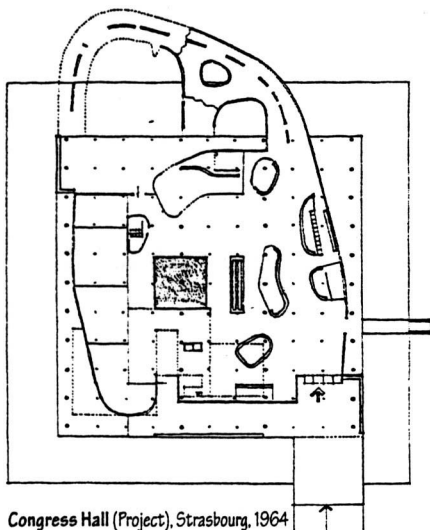
Une trame est par principe libre. Elle n'induit aucun systématisme dans sa répétition. Elle supporte le plan-libre. Grâce à ce dernier, on est libre à tous les étages. La trame n'est plus ce qui dispose les pièces.

Laurent BEAUDOUIN (entretien).

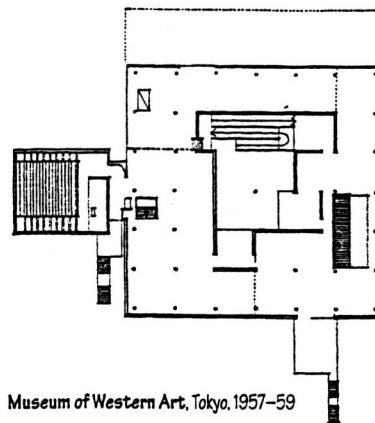
Le plan-libre se pose sur deux problématiques : celle de la composition bien sûr, la plus étudiée, mais aussi celle de la conception; comme l'explique Jean ZEITOUN dans le passage suivant [ZE177]. La trame hérite de cette double problématique; moyen de composition, elle est également moyen de conception.

Au delà de la formule de " plan-libre ", il y a toute une problématique très importante de la conception architecturale. Il s'agit des intentions entre les intentions et l'écriture, entre le choix de l'objet et les moyens de le concrétiser. (...) Le plan de composition libre est celui dans lequel les intentions et les moyens d'écriture se rejoignent.

[ZE177]



Congress Hall (Project), Strasbourg, 1964



Museum of Western Art, Tokyo, 1957-59

Projet pour le Palais des congrès de Strasbourg, 1964.

Le Corbusier.

Premier exemple de plan-libre :

La forme libre et la trame ne s'ignorent pas.

La première ne peut croître que grâce à la seconde.

Une résonance s'instaure entre elles.

Musée d'Art Occidental, Tokyo, 1957-59.

Le Corbusier.

Deuxième exemple :

Plus grande observance de la trame.

Les parois séparatrices reprennent la Direction et les positions données par la trame. La liberté est quand même présente : les salles d'exposition s'ouvrent les unes sur les autres et participent de la fluidité de l'espace.

CRITÈRES

Nous ne pouvons pas recenser de facteurs généraux qui entrent en jeu dans la détermination des trames. Non seulement les données, les enjeux changent pour chaque projet, et même en nous plaçant dans cette situation hypothétique, nous observerions que chaque architecte, au travers de son utilisation de la trame, manifeste une compréhension toujours originale, à l'image de sa compréhension du projet d'architecture. Les critères des architectes n'ont pas de valeur d'universalité. La trame, loin d'être cet accessoire que l'on emprunte et qui reste extérieur à la pensée du projet, participe au contraire de cette pensée. Ce rôle justifie le concept d'idiotisme de trame.

Premier exemple :

Les principaux critères de détermination de la trame sont l'économie (au sens large), la nature du programme, les techniques courantes. D'autres critères viennent préciser les premiers comme la situation urbaine ou la composition des espaces.

Christian FRANÇOIS (entretien).

On retient ici que l'architecte établit une hiérarchisation de divers critères. Mais ces critères, bien que précis dans leur formulation, laissent beaucoup de liberté quant à leur traitement.

Deuxième exemple :

Le choix de la trame est lié à la structure. La hauteur de l'édifice est fortement déterminante dans les dimensions de la trame. Ensuite, un réglage plus précis se fait en utilisant dans toute la mesure possible la gamme de mesures du Modulor. Le rythme des façades est important également ; on recherche souvent les plus grands vitrages possibles.

Laurent BEAUDOUIN (entretien).

D'autres architectes ont une vue plus déterminante de la trame ; on se rapproche de ce que nous appelons un outil. Les critères se font plus fins et prêtent moins à l'interprétation. Dans tous les

cas, ce n'est jamais un seul critère qui est déterminant, mais plusieurs appartenant à des domaines divers.

Troisième exemple :

Les principaux éléments qui déterminent les caractéristiques d'une trame sont (dans l'architecture industrielle) l'emplacement et l'encombrement des machines, les nécessités d'hygiène et de sécurité, les contraintes de circulation. La trame doit nécessairement répondre à ces questions avant d'apporter des qualités autres, d'espace par exemple.

Bernard PIERREL (entretien).

Dans le domaine de l'architecture industrielle, la trame de grande ampleur est une donnée du projet souvent perçue comme trop rigide. Des efforts sont entrepris pour atténuer cette impression.

CATÉGORIES

D'après ce qui a été dit, il n'est pas possible de faire un recensement de l'ensemble des critères qui interviennent dans la configuration et le dimensionnement d'une trame. Mais si, comme le dit Christian FRANÇOIS, " ce ne sont pas les trames qui reviennent, mais ce sont les conditions de leur exécution ", alors il nous faut chercher plutôt une récurrence du côté de ces conditions d'exécution, de ces situations de projet. La " trame étalon " n'a malheureusement pas de sens indépendamment de ces conditions.

S'il nous est impossible d'établir une liste des critères de détermination des trames, par contre opérer un classement à partir de leurs fonctions est vraisemblable.

1. Trame de composition : *trame qui intervient comme écriture ou support d'écriture dans la conception du bâtiment ; son rôle est d'assurer un traitement morphologique de l'espace.*
2. Trame porteuse ou constructive : *trame supposée assurer la répartition des charges et la tenue de l'édifice.*
3. Trame d'aménagement ou fonctionnelle : *trame qui supporte l'organisation et l'utilisation de l'espace.*

[ZEI77]

La trame de composition assujettit des produits et des espaces. Elle construit un ordre. Mettant en rapport des longueurs, des surfaces et des volumes, elle s'apparente au tracé régulateur.

La trame constructive régit la structure porteuse d'un édifice. Elle est liée au problème des produits et des matériaux.

La trame fonctionnelle résout principalement les problèmes de flux. Les trames urbaines possèdent une dominante fonctionnelle évidente.

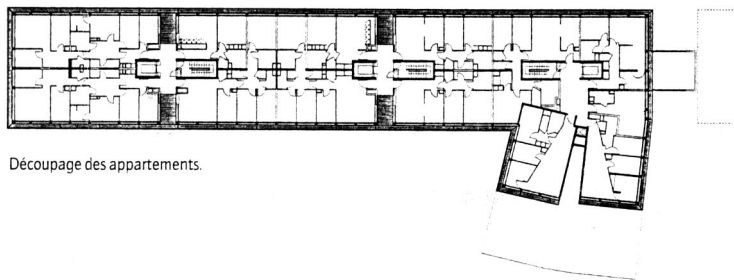
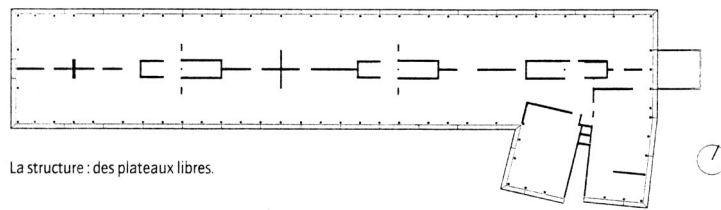
Il est reconnu que les trames n'appartiennent jamais à une seule catégorie. Plus que des différences de nature entre trames, nous voyons au sein de chacune des valeurs plus ou moins prononcées, des dominantes de composition, de construction ou de fonctionnalité.

La trame est une règle et une mesure qui répond simultanément à divers problèmes. Elle est un outil opérationnel. On ne peut en faire de catégories.

Christian FRANÇOIS (entretien).

Seule la trame de composition fera l'objet dans cet exposé d'une étude détaillée à cause de la plus grande généralité de ses principes. La trame constructive nous entraînerait dans des considérations qui ne sont pas immédiatement les nôtres, celles des produits et des matériaux. La trame fonctionnelle réclamerait une multiplication d'exemples qui nous éloignerait également des généralités. Et de toute façon, si nous donnons à la notion de composition un sens qui dépasse celui d'une mise en relation de dimensions (proportions, équilibre des masses, symétrie, etc.),

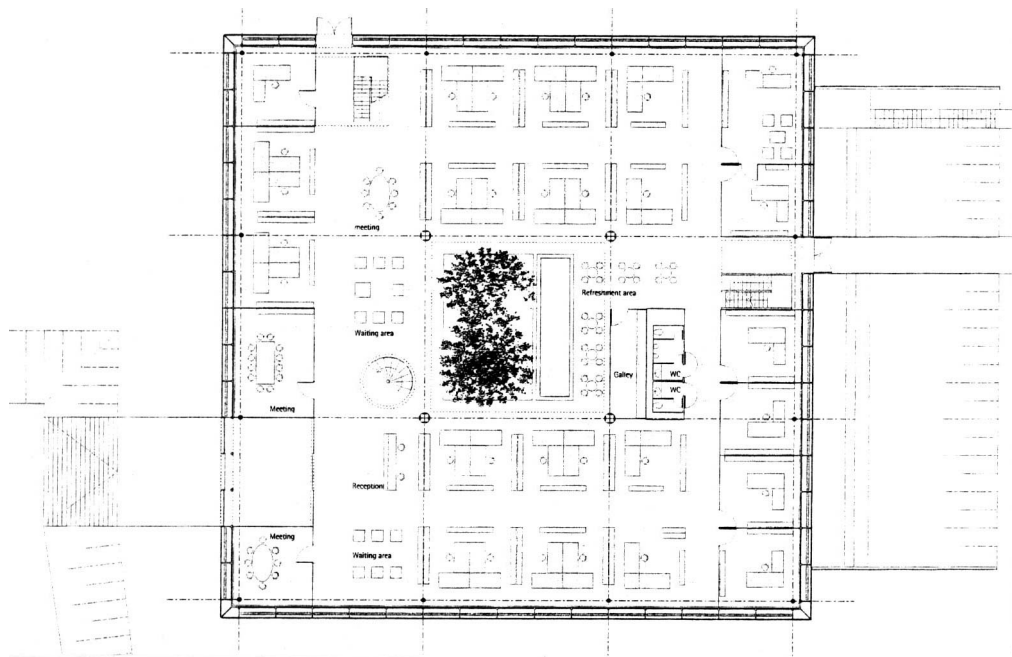
nous pouvons penser que les trames constructives et fonctionnelles sont aussi des trames de composition dont les règles sont techniques ou fonctionnelles.



Immeuble rue Émile Durkheim.

Francis Soler.

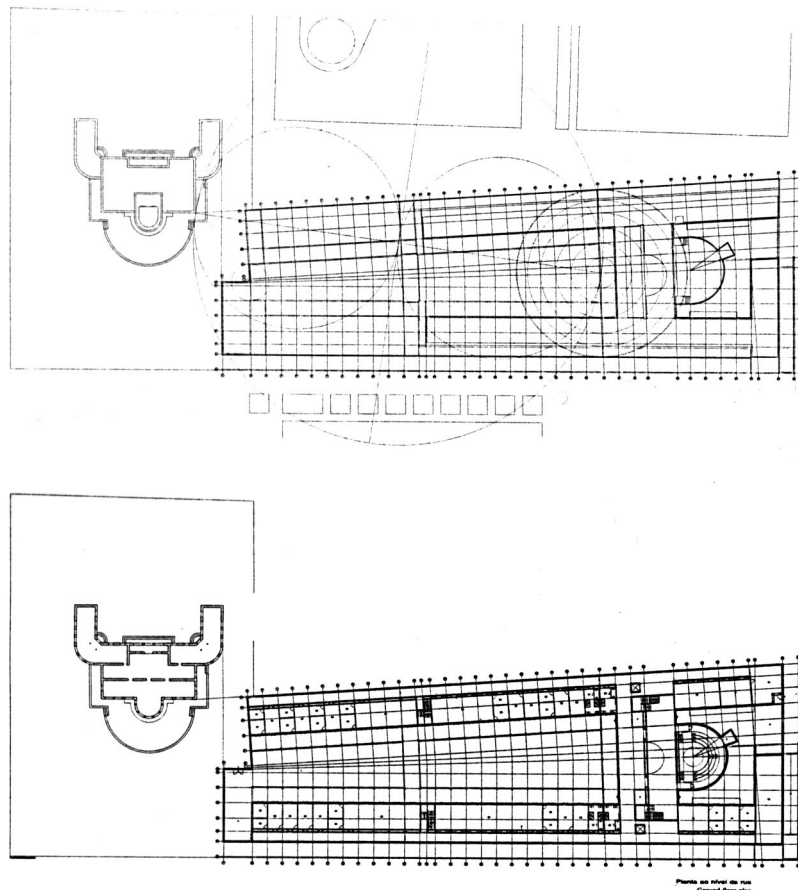
La trame constructive de poteaux en acier apparaît clairement sur le plan du haut.



Siège de la société Götz

Webler + Geissler Architekten BDA

On imagine que la valeur de pas de la trame a été conjointement déterminée avec la disposition du mobilier (largeur de passages)



Rectorat de l'Université d'Alicante.
 Alvaro Siza Vieira.
 En haut : plan du rez-de-chaussée.
 En bas : plan de la couverture et définition géométrique.
Exemple de trames à forte composante compositionnelle.

CALEPINAGE

Le calepinage comme opération de l'architecte semble devoir beaucoup à la trame comme système opératif. Une parenté évidente les unit : toutes deux sont des supports d'éléments d'architecture portés par une représentation graphique. Par rapport aux catégories précédemment exposées, le calepin est une trame de construction supportant des produits, mosaïques, carreaux ou dalles.

Le concept de trame semble riche de capacité d'assistance à la conception du calepin. La trame comme système d'abstraction autorise la conception tout en préservant de l'incertitude du jeu. La trame de conception porte des informations génériques, retient des valeurs abstraites des produits comme leurs dimensions nominales et leurs valeurs de joint type.

[...] Mais la trame construit aussi la relation du produit à la surface qu'il recouvre². Elle apparaît comme un outil graphique heuristique qui fait ressortir de manière visuelle les zones à problèmes, qui guide le concepteur dans ses interrogations. Le parallélisme des traits, l'intersection des lignes, les valeurs dimensionnelles des entités sont autant de questions à régler.

[LOT95]

Mais le calepinage supporte exclusivement des produits, ce qui n'est pas le cas de la trame, qui permet également d'agencer des espaces. Ce n'est pourtant pas là ce qui les différencie véritablement. Si l'on fait abstraction des éléments supportés par l'une et par l'autre, les opérations constitutives du calepinage appartiennent aux opérations plus générales de tramage. En ce sens,

² C'est, on l'aura compris, la trame de calepinage, cas particulier de trame, qui est visée ici. On ne pourrait en dire autant des trames qui ne disposent pas des produits.

le calepinage est un cas particulier de trame. Le calepinage pourrait en vertu de ces principes constitutifs disposer des espaces comme il le fait des produits.

Mais le calepinage est une opération de conception qui n'intervient généralement qu'après une autre opération ayant défini une surface à calepiner, c'est un *opus certum*. La trame construit simultanément cette surface (ou cet espace), c'est-à-dire son étendue, ses contours, et son organisation interne. Le calepin vient organiser une surface déjà projetée, la trame ne la présuppose pas nécessairement; elle la définit et l'organise en une seule opération.

LE LISSE ET LE STRIÉ

Pour en revenir à l'opposition simple, le strié, c'est ce qui entrecroise des fixes et des variables, ce qui ordonne et fait succéder des formes distinctes, ce qui organise les lignes mélodiques horizontales et les plans harmoniques verticaux. Le lisse, c'est la variation continue, c'est le développement continu de la forme, c'est la fusion de l'harmonie et de la mélodie au profit d'un dégagement de valeurs proprement rythmiques, le pur tracé d'une diagonale à travers la verticale et l'horizontale.

[...] Au plus simple, Boulez dit que dans un espace-temps lisse on occupe sans compter, et que dans un espace-temps strié l'on compte pour occuper.

[...] À un second niveau, on dira que l'espace peut subir deux sortes de coupures : l'une, définie par un étalon, l'autre, irrégulière et non déterminée, pouvant s'effectuer où l'on veut. À un autre niveau encore, on dira que les fréquences peuvent se distribuer dans des intervalles, entre coupures, ou se répartir statistiquement, sans coupure : dans le premier cas on appellera "modulo" la raison de distribution des coupures et des intervalles, raison qui peut être constante et fixe (espace strié droit), ou qui peut être variable, régulièrement ou irrégulièrement (espaces striés courbes, focalisés si le modulo est variable régulièrement, non focalisés s'il est irrégulier).

[DEL80]

À la lumière de ce que disent Gilles Deleuze et Félix Guattari, la trame appartient au strié.

L'opposition lisse/strié est même particulièrement pertinente transposée à l'architecture. À l'École d'Architecture de Nancy le sol de couleur inonde de son immatérialité la totalité de la surface de chaque étage tandis que le plafond, constitué de poutres caissons, participe avec la structure à donner une "échelle" à l'espace.

Plus généralement, le plan-libre est un exemple de l'opposition lisse/strié ; il superpose un espace lisse, l'ensemble des séparations, à un espace strié, le système porteur.



École d'Architecture de Nancy, 1996.

Livio Vacchini.

Salle de cours. Le sol peint réfléchit sa couleur sur les murs et le plafond. Le sol est

lisse, le plafond “ strié ”.

SIMILITUDES AVEC LES DIAGRAMMES

Une confrontation entre les trames et les diagrammes se révèle fructueuse. Un diagramme est, selon la définition donnée par le Petit Robert, un “ tracé géométrique sommaire des parties d'un ensemble et de leur disposition les unes par rapport aux autres ”. Des similitudes entre cette définition et celle de la trame se montrent immédiatement. D.K. Ching donne quelques exemples d'utilisation des diagrammes (graphic diagrams) :

Graphic diagrams, because of the visual thinking they stimulate, are an important tool of the designer. Graphic diagrams are visual abstractions that depict the essence of :

- *concepts (ideas, processes, events) and*
- *objects (physical elements varying in scale).*

[...] Some of the aspects of a building that can be effectively diagrammed are :

- *functional zoning (horizontal and vertical) ;*
- *zoning of degrees of privacy ;*
- *circulation (horizontal and vertical) ;*
- *site conditions and context ;*
- *spatial hierarchy and relationships ;*
- *geometric properties*
- *lighting conditions (natural and artificial) ; and*
- *structure and enclosure.*

[CHI43]

Les trames servent comme les diagrammes à opérer des partitions sur les espaces (en plan ou en élévation), à définir la structure ainsi que les parois séparatrices, à créer des hiérarchies, etc. ; elles imposent aussi leurs propriétés géométriques. Les visées des diagrammes sont plus générales que celles des trames ; pour autant, la trame ne se trouve pas être un diagramme.

Un jugement de valeur répandu consiste à penser que les trames, dont les fonctions se limitent essentiellement à celles proposées par les diagrammes, aboutissent à des espaces ressemblant à des cases dûment remplies, ce qui, selon ce jugement, ne saurait être considéré comme une qualité.

INNOCENCE DOCTRINALE

Aussi étrangère que nous paraisse l'architecture indienne et si éloigné soit-on, à première vue, de supputer un rapport quelconque avec les œuvres édifiées de nos jours, le réseau géométrique sur lequel se fondent les constructions indiennes vient — presque à la manière d'un défi — rejoindre nos propres conceptions. Des motivations différentes ont entraîné toutefois des superstructures radicalement autres. La seule conclusion que nous puissions en tirer est qu'un réseau en tant que tel n'a aucune valeur architectonique. Ses éventuelles répercussions sur l'architecture dépendent exclusivement du sens profond que saura lui conférer l'architecte.

[VOL68]

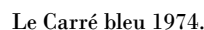
Il serait simpliste d'affirmer qu'utiliser une trame, c'est agir dans la perspective d'une doctrine architecturale. La trame ne trouve dans ses fondements que des principes géométriques. La trame est donc innocente d'un point de vue doctrinal.

Cependant, elle n'est pas neutre dans un projet : résultant de la liberté de choix de l'architecte, elle illustre la pensée de celui-ci qui, en vertu de pertinences particulières, est amené à donner une dimension éthique à son outil. De la notion de trame, seuls le représenté et le référent sont l'objet d'un jugement critique.

Il n'existe pas de pertinence de la trame par rapport à une pratique de l'architecture. L'architecture n'est pas caractérisée par l'utilisation de la trame mais par la manière de

Christian FRANÇOIS (entretien).

Les problèmes qu'est censée gérer la trame ne sont pas uniquement solubles par elle. D'autres moyens sont toujours disponibles. Si la trame permet par exemple à l'architecte de régler la question du rythme et de la lumière, l'absence de trame dans un projet ne signifie justement pas qu'il se dérobe à cette question.



La trame comme solution aux problèmes posées par la ville moderne.

Devant l'absence de dialogue que lui a opposé le monde, il [le concepteur] lui a jeté une image à la face.

SIGNIFIANT GRAPHIQUE

Il existe dans la figuration [...] les signes indiciels, qui, d'après Peirce, sont dans un rapport de contiguïté avec le phénomène dont ils sont l'indice. Les seuls phénomènes avec lesquels de tels signes peuvent être contigus sont des phénomènes géométriques. Une trame est un signe

de structure géométrique.

[BOU88]

HOMOGÉNÉISATION CARTOGRAPHIQUE

Il est possible de construire une trame sans en fixer les dimensions réelles. On peut s'interroger sur la pertinence d'un tel travail pour un architecte, mais ce qui est certain, c'est que des opérations agissantes sur la trame se retrouvent quelles que soient ses dimensions réelles, son échelle cartographique. Á son niveau le plus abstrait, la trame fait l'objet d'une réflexion qui écarte les spécifications de dimensions, au profit de celui d'une réflexion sur le découpage, le partitionnement et même le rapport de dimension des intervalles entre les intervalles qui la divisent.

Une des qualités graphiques de la trame est que rassemblant dans un cadre unique (cf. forme synthétique de la conception) des entités graphiques n'ayant pas forcément de lien entre elles, elle permet la comparaison relative de leur dimension. Si maintenant, on donne une dimension absolue à un élément, ou à un intervalle de trame, et si l'on admet que le système graphique est homogène, alors on peut déduire toutes les dimensions à l'intérieur de cette trame.

C'est tout l'enjeu des géographes qui représentent la terre en plan, en cherchant la distorsion la plus acceptable des distances, des superficies, des angles. Dans le cas où le système graphique n'est pas homogène, pour les représentations cartographiques à petite échelle par exemple, la mesure est moins aisée mais demeure toujours possible.

Une illustration insoupçonnée du phénomène d'homogénéisation cartographique est l'influence plus ou moins consciente du quadrillage des feuilles de papier sur lesquelles dessinent certains architectes, comme Marcel Lods.

PRÉCISION ET APPROXIMATION

[La base graphique de simulation] exprime graphiquement un minimum de solutions et d'hypothèses sur l'objet à concevoir et sur son environnement proche. Elle provient de "l'encodage" graphique des résultats du diagnostic architectural. C'est pourquoi elle est assez précise pour pouvoir exprimer un problème, et assez imprécise pour permettre des déformations qui ne remettent pas son existence en question.

[LEB83]

Avec ses apparences géométriques fortement affirmées, la trame apparaît comme détentriche d'une justesse dans ses déterminations. Mais c'est oublier qu'elle ne repose que sur une décision et sur des choix arbitraires. L'arbitraire est, avant même le déterminé, un aspect fondateur de la trame. De là ces deux qualités contradictoires : sa précision et son approximation.

C'est dans la problématique du dimensionnement, sur laquelle nous nous arrêterons plus longuement, que cette double question se manifeste le plus clairement. Mais pas seulement : la forme de la trame est également assujettie par elle.

LE DESSIN N'EST PAS TOUT

Les informations transmissibles par le dessin dépassent le niveau géométrique et atteignent parfois, cela dépend grandement de la personne émettrice et de la personne réceptrice du message graphique, le niveau du questionnement et des intentions. La trame graphique tracée sur un croquis, c'est-à-dire sur un dessin qui ne cache nullement son imprécision métrique, atteste principalement de la volonté du concepteur de recourir à un dispositif régulateur ; et même si un ordre de grandeur y est déjà donné, c'est avant tout l'existence

de la trame qui est affirmée. Dans un dessin d'exécution, à l'inverse, les informations métriques priment sur les intentions. De ces deux exemples, nous déduisons que la fonction de la représentation graphique de la trame repose sur la proposition et la description (ou prescription).

L'acte graphique n'extériorise qu'une partie de ce que l'architecte a dans la tête. Le dessin réalise le fait, une fois qu'il est tracé, d'être en tant que perception visuelle, doublé par une représentation intérieure plus large et plus compliquée.

[LEB83]

AUTONOMIE GRAPHIQUE

Les opérations de dessin, et donc celles qui agissent sur les trames, restent en tout état de cause des opérations de conception architecturale, parce que, outre le fait qu'elles manipulent le tracé d'entités architecturales, elles manipulent du sens.

Pour rentrer au cœur de ces opérations, dans leur mécanisme, il nous faut pour un temps mettre de côté la signification architecturale. Notons que la signification ne correspond pas de manière univoque à une opération. Si l'on désire élargir un espace tramé, on peut soit augmenter la dimension de chaque travée, soit ajouter de nouvelles travées. Inversement, le fait d'augmenter une travée peut signifier l'augmentation de l'espace qu'elle comprend, ou la diminution de l'espace voisin.

[...] la trame, en tant qu'objet structurant l'espace physique de l'architecture, agit comme objet spatial propre. Sa représentation graphique prend elle-même une certaine autonomie par rapport au référent, c'est-à-dire à la trame concrétisée. Ainsi une grille peut aussi bien représenter des assemblages de rectangles qu'un réseau ou une sorte de filets dont les mailles sont figurées par le graphisme proprement dit.

[ZEI77]

Ceci compris, nous savons que nous pouvons orienter notre travail informatique vers une approche plus logique, et pas nécessairement professionnelle, au sens où nous pourrions déterminer des opérations qui font sens pour l'architecte, comme "placer un joint de dilatation" ou "calepiner à l'aide de carreaux de 0,30x0,30m".

DIMENSIONNEMENT

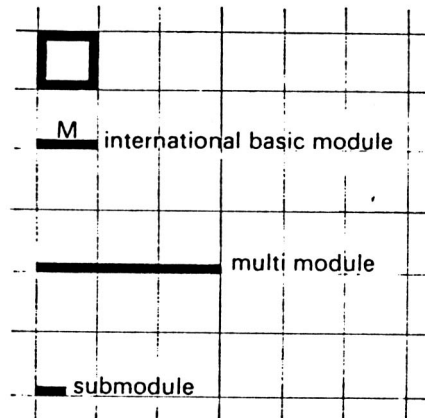
COORDINATION DIMENSIONNELLE

La coordination dimensionnelle s'attelle à résoudre au moins deux problèmes de dimensionnement. Le premier, le plus général, concerne le conflit des mesures dans un bâtiment. Un exemple : lorsque l'on augmente la largeur d'une pièce, la largeur de la pièce voisine diminue d'autant, en posant que le total des largeurs reste constant. Le second est lié à l'emploi d'éléments standards, de produits normalisés, c'est-à-dire dont les dimensions appartiennent à un système modulaire. Il est clair que la coordination dimensionnelle, et encore plus spécifiquement la coordination modulaire, sont le domaine privilégié des trames.

MODULES

3. Modules

No.	Term	Definition
3001	module	A convenient unit of size which is used as an increment or coefficient in dimensional co-ordination.
3002	standard module*	A module whose size is selected from the preferences listed in BS 4011.
3003	international basic module*	A module with the size of 100 mm.
3004	multimodule*	A module whose size is an agreed multiple of 100 mm.
3005	sub-module*	A module whose size is an agreed sub-division of 100 mm.



***Note**

1 The following modules : (a) multimodule of 300 mm (b) international basic module of 100 mm (c) sub-modules of 50 mm and 25 mm are equivalent to the respective units of size recommended in BS 4011 for the derivation of co-ordinating sizes for building components and assemblies, generally subject to a maximum co-ordinating size of 300 mm based on the 50 mm and 25 mm sizes.
 2 Multimodules of 300 mm, 600 mm, 1200 mm, 3000 mm and 6000 mm are recommended internationally for application to various categories of buildings.

Module and metric. Alan E. Crocker

Présentation de la notion de module, sous-module, multi-module.

Un module est la « longueur prise arbitrairement comme unité de référence pour l'établissement de proportions relatives et de l'ordonnance d'un ensemble architectural » [DIC92]. C'est aussi dans une trame une dimension interne utilisée telle quelle, ou multipliée ou divisée par un entier ou par un réel. Le module n'est pas une dimension située mais partagée dans la trame. Le module est une trame à lui tout seul, une trame à une seule mesure. Il est l'unité de la trame.

Si l'on observe son architecture [celle de Le Corbusier], il est d'ailleurs facile de constater qu'elle ne nous livre pas de nouvelle théorie ou de nouvelle conception de l'espace, mais une conception neuve, et toujours exaltante, de l'objet architectural. Lequel objet, ne pouvant plus être défini par sa situation dans l'espace ou par sa place dans le contexte naturel, trouve son principium individuationis dans la claire définition de sa fonction. En effet, le standard n'est pas un type de forme, mais un type d'objet : outil, machine, bibelot, maison, et même ville. Comme tel, le module prend alors la place qu'il avait dans le processus de projection classique : au point que l'on puisse affirmer que la grande découverte de l'architecture moderne est le remplacement du module-mesure par le module-objet.

[ARG58]

La référence d'un module est un produit, une technologie, un espace ou encore l'ensemble des trois. Les éléments de calepinage tels que les carreaux donnent des modules de produits. La portée d'un élément horizontal donne un module de technologie. Une largeur d'une pièce conditionne un espace.

La référence est parfois le module lui-même, c'est-à-dire qu'un système autoréférentiel comme dans l'architecture classique grecque.

Les Grecs, dans leur architecture, ont admis un module, on n'en saurait douter ; ils ne paraissent pas avoir eu d'échelle. Ainsi, qu'un ordre grec ait cinq mètres ou dix mètres de hauteur, les rapports harmoniques sont les mêmes dans l'un comme dans l'autre, c'est-à-dire par exemple, que si le diamètre de la colonne à la base est un, la hauteur de la colonne sera six, et l'entrecolonnement un et demi vers le milieu du fût, dans le petit comme dans le grand

ordre.

article "échelle" du dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle, Viollet-le-Duc.

La problématique du module est bien différente de celle de la trame. On peut bien disposer des modules sans faire appel à elle, de même qu'on peut utiliser une trame sans module. Plus généralement, le module est proche de ce à quoi il réfère tandis que la trame pose le problème d'une forme d'organisation. La zone d'intérêt qu'ils partagent se situe du côté des produits, à la fois objet et forme.

synthèse partielle : association d'unités

fonctionnelles

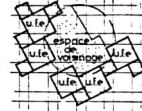
• espace du logement

l'association des unités fonctionnelles différentes forme le logement



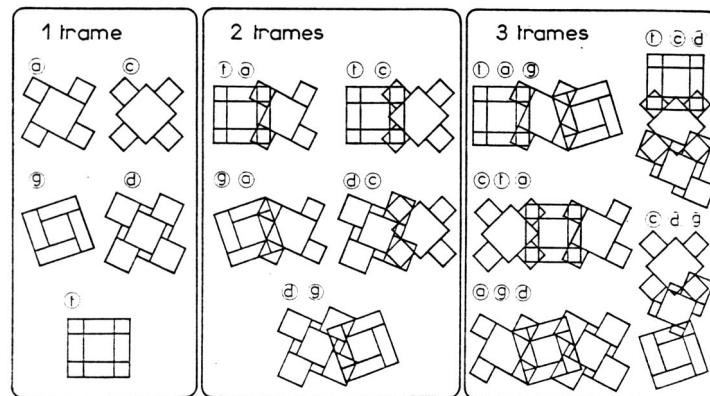
• espace de voisinage

les unités fonctionnelles semblables de plusieurs logements s'associent pour former un espace commun : l'espace de voisinage.



• le logement étant que réunion d'unités fonctionnelles est aussi un ensemble de trames variées, ces variétés correspondent à des organisations différentes et permettent une lisibilité externe.
la proportion de trames différentes varie suivant les logements et permet une hiérarchisation allant des logements simples : une trame, aux logements complexes : trois trames ainsi peut se créer une progression ou une rupture spatiale.

tableau de progression



Méthodologie de la forme architecturale. M. Duplay et ses étudiants.

in Le Carré bleu n°3, 1976.

La trame est utilisée ici comme un module. Ces trames-modules sont assemblées ensuite sans recours à une trame.

DIMENSIONNEMENT ET POSITIONNEMENT

À peine s'éloigne-t-on des limbes qui entourent les actes premiers de la conception architecturale, ces actes aux contours flous qui génèrent une matière subitement formalisable, que l'on découvre un acte moins éblouissant que les précédents, plus discernable, celui par lequel le concepteur donne des mesures à ce qu'il a créé. Nous avons là le *dimensionnement*, incontournable tâche pour l'architecte qui conçoit dans l'espace réel et assigne des dimensions réelles. C'est sans doute par sa position très en amont de la conception que le dimensionnement constitue le premier jalon à partir duquel démarre la route architecturologique.

Le dimensionnement se perçoit de deux façons : ou il affecte la mesure d'un objet (ouvrage ou produit) ou il affecte la distance qui sépare plusieurs objets (espace). Nous avons dans le premier cas une opération de dimensionnement proprement dite, dans le second une opération de *positionnement*. La distinction de ces deux notions n'est pas d'ailleurs très nette pour l'analyse : si au cours de l'élaboration d'un projet, nous allongeons une pièce rectangulaire, notre geste ressort-il d'une volonté de (re)dimensionner les murs latéraux ou

de (re)positionner les murs frontaux? L'analyse ne pose pas une différence de principe entre ces deux opérations ; l'architecte, au contraire, parce qu'il donne du sens à ses actes, sait toujours de quel côté il se trouve. Pour aller plus loin, nous pouvons voir, au sujet du dimensionnement, dominer un questionnement sur le matériau (les techniques ou la résistance par exemple) tandis que le positionnement interroge davantage l'espace quantitatif, l'espace considéré du point de vue de ses mesures.

La trame est un canevas métrique. Comme canevas, sa fonction est de positionner. Comme « mètre », elle dimensionne. Ses deux aspects sont réunis de manière indissociable et exemplaire dans le seul concept de trame.

[...] l'analyse fait apparaître au moins deux fonctions opératoires constantes : le positionnement et le dimensionnement. Il est donc possible de généraliser ce constat et de dire que d'un point de vue opératoire toute trame a une double efficacité topologique et métrologique.

[BIG97]

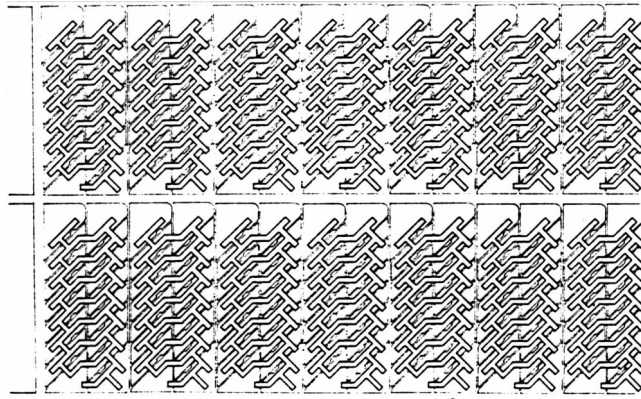
IMMATÉRIALITÉ

Cette fonction de donneur de mesure entraîne d'abord que fondamentalement, la trame est immatérielle, et ne se soucie pas des matériaux ni des espaces. Rien dans ses principes ne l'y obligent. Néanmoins, dans la conception architecturale, les dimensions réelles sont étroitement liées au matériau, à leur résistance par exemple. On ne peut pas simplement quadrupler la surface d'un bâtiment en doublant toutes les dimensions qui la composent. Pour reprendre un concept architecturologique, la trame architecturale est embrayante, même si elle peut se satisfaire dans un premier temps, une phase d'esquisse par exemple, de ne pas l'être.

L'architecte, dans le même temps qu'il positionne et dimensionne en se fondant sur une trame, continue à dimensionner la trame elle-même. Assuré d'aboutir à des valeurs absolues, exprimées en mètres, centimètres, millimètres, etc., le concepteur peut se servir de la trame comme d'un système de référence chargé de coordonner les mesures (par les proportions, les rapports de dimension par exemple) sans nécessairement les définir par rapport au système métrique.

Toute liberté de création au niveau de la morphologie ne peut s'affranchir de certaines contraintes de la composition qui quelquefois se trouvent liées à des paramètres technologiques ou d'usage. En tant que structuration particulière du plan, la trame est un "complexe architectonique".

[ZEI77]



Deux fragments de La Ville Radieuse.

Le Corbusier.

En haut : la zone industrielle.

En bas : le centre d'affaires.

L'abstraction de ces deux plans les rapproche davantage du motif de papier peint que de la ville qu'ils représentent.

CATÉGORIES

S'il peut d'abord apparaître que les seules dimensions d'un projet sont celles dont il s'est finalement pourvu — en admettant que l'on puisse d'un projet en fixer objectivement la fin — une connaissance plus approfondie nous apprend que ces dimensions ont varié au cours de la conception jusqu'au moment où elles atteignent une relative stabilité et où l'architecte décide de les fixer. Nous pouvons alors discerner plusieurs types de dimensionnement.

dimensionnement préalable : *limitatif. Il fixe des valeurs limites.*

dimensionnement heuristique : *il résulte du projet. Établi par des dimensions approchées, compromis entre les exigences du programme, de la composition, de la structure.*

dimensionnement nominal : *fonction de référence. Dimensions précises telles qu'elles doivent être établies pour les documents servant à la construction. Valeurs précises, négociées ou calculées.*

[HAM79]

Le dimensionnement préalable est dans la pratique toujours nécessaire. Il donne déjà un ordre de grandeur.

DISCONTINUITÉ DU DIMENSIONNEMENT

L'opération de tramage s'inscrit dans une démarche de dimensionnement discontinu : elle oppose au mètre ruban le mètre dépliant, au choix illimité mais non négocié le choix restreint mais délibéré.

Deux types de compositions : celui qui correspond à un dimensionnement discontinu, n'admettant qu'un nombre déterminé de dimensions fixées avant le projet, celui qui correspond à un dimensionnement continu dans lequel toutes les dimensions sont admissibles.

[...] Une situation de conception absolument continue, c'est-à-dire où aucune décision préalable n'aurait été prise, où aucune contrainte tenant au site n'imposerait de discontinuité au système des dimensions d'un projet, est une situation théorique.

[...] La composition suppose le dimensionnement continu mais réciproquement le dimensionnement continu ne peut se résoudre sans procédures assurant une cohérence et une hiérarchie interne des dimensions, en l'absence d'autre nécessité.

[HAM79]

EXACTITUDE

Parce que l'objet architectural est destiné à être construit et la totalité de ses mesures communiquées à différents corps d'état (notons que tous ne requièrent pas la même précision), l'architecte est tenu de déterminer des cotes précises.

La trame graphique n'a de sens qu'utilisée avec précision dans ses dimensions, une précision que ne peut pas toujours lui donner le concepteur, surtout dans les premières phases du projet. La précision est sa finalité.

L'exactitude est la fonction des cotes nominales, et non le reflet de leur adaptation à la fonction de l'élément qu'elles dimensionnent.

[HAM79]

Parler d'inexactitude devient dès lors inexact car l'exactitude apparente qui n'est que celle de l'instrument de mesure, non de l'objet, est une intersection d'inexactitudes, une réduction de la fourchette permise par l'unité de mesure.

article 'exactitude', Philippe BOUDON, encycl. Garland

C'est ici qu'il faut différencier la précision de l'exactitude. Contrairement à ce qui en est dit dans le livre de Bernard Hamburger *Dimensionnements*, nous pensons que c'est la précision qui est la fonction des cotes, et non l'exactitude qui est la fonction des dimensions et se définit au regard d'une pertinence.

Se pose alors le problème de trouver ce sur quoi pourrait reposer l'exactitude des mesures. Quels bases objectives pourraient y présider? Rien n'est générateur d'exactitude.

L'architecte ne peut justifier d'une dimension précise par une fonction d'usage (le «Neufert» ne donne que des ordres de grandeur). La construction ne lui est pas d'un plus grand secours. Restent les lois de la composition et de l'esthétique. Mais ici ce sont les moyens de conception de l'architecte qui ne permettent pas la précision.

[HAM79]

ESTHÉTIQUE DU JOINT

Le joint est l'intervalle entre deux pièces de construction ; deux pièces de bois, deux pierres ou deux parties d'ouvrage en béton par exemple. C'est aussi ce qui remplit cet intervalle : le joint de compression ou de mortier par exemple. Son existence tient à la réalité de la construction qui veut que l'on anticipe la légère imprécision de facture des pièces destinées à être assemblées. Cette tolérance d'une pièce à l'autre ou des deux mutuellement est rendue nécessaire lorsque les techniques de fabrication ne permettent pas une précision suffisante de leur ajustement, et a fortiori lorsque les deux pièces sont fabriquées séparément par deux acteurs distincts de la construction — et donc avec une précision

différente ; enfin parce que un ouvrage bouge dans le temps et risque de se fracturer.

Les architectes, tournant ce qui au premier abord est une difficulté à estimer, ont su utiliser le joint à des fins véritablement architecturales. Un esthétisme du joint est née qui réaffirme la nature de l'architecte comme bâtisseur proche des conditions de chantier et connaisseur des matériaux et des techniques, à mille lieues des soucis géométriques. Le jeu constructif apporte une qualité de compréhension par la transparence des procédés, opposée à l'opacité de l'objet qui ne laisse voir que son aspect superficiel.

La précision de la trame devrait la rendre inopérante face aux qualités de souplesse que réclame le joint parce qu'elle travaille à partir de dimensions précises. Mais lorsque le joint est pris en compte comme une " travée " quelconque et estimé dans ses dimensions, comme c'est le cas pour les joints de dilatation qui fractionnent transversalement un ouvrage et dédoublent les éléments porteurs, alors la trame devient un outil qualifié de traitement des tels problèmes.

Les supports de conception précis, comme la trame ou les proportions, ne seraient en dernière analyse qu'une étape de démarche heuristique sans qu'elles aient nécessairement une résolution formelle. Ce qui compte, c'est le jeu possible avec ces supports. C'est lui qui va permettre de concilier dans l'esquisse les dimensions approchées et permettre de maîtriser l'image globale et cohérente du projet.

[HAM79]

JUSTIFICATIONS MAGIQUES

En l'absence de bases objectives, le concepteur peut chercher un recours dans un système mis en place par lui-même dont la pertinence n'est pas à trouver dans les données du programme. Les systèmes à base de mathématiques sont employés. Le nombre est lié à l'architecture ; on lui confère un pouvoir transcendant dû à son symbolisme.

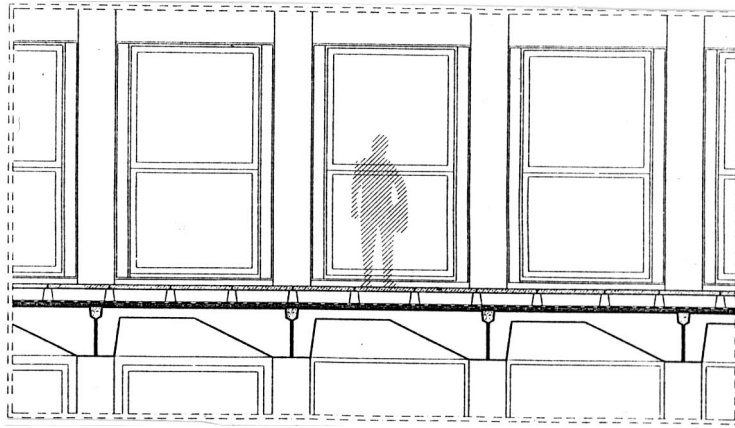
On peut interpréter le développement des justifications "magiques" sur les dimensions, comme le discours nécessaire et impossible sur ces dimensions précises puisqu'on est dans l'obligation d'en décider. L'architecte ne peut avouer le caractère fonctionnel et arbitraire de sa tâche.

[HAM79]

LE MODULOR

Il existe une similarité de fonction entre le Modulor et la trame : réduction du nombre de mesures (infini à priori) à quelques mesures choisies. Mais le Modulor n'est pas une trame ; c'est une gamme de mesures. Des architectes joignent parfois l'utilisation de la trame à celle du Modulor.

Ce cas est à souligner parce que la trame dépasse d'emblée le stade du dimensionnement préalable, heuristique, et donne déjà les dimensions nominales. C'est alors la configuration de la trame qui est l'enjeu du travail car les dimensions sont déjà présentes. L'École d'Architecture de Nancy, conçue par l'architecte Livio Vacchini, et dont la structure observe cette double loi de la trame et du Modulor, a montré une persistance de sa configuration générale et de ses dimensions au cours de la conception, tandis que le cloisonnement — qui ne dépend donc pas de la structure — a été l'objet de modifications profondes.



École d'Architecture de Nancy, 1996.

Livio Vacchini.

Coupe transversale sur le système de poutres caissons.

Le Modulor prétend donner des dimensions informées, justement ce que recherche et ce à quoi doit parvenir l'architecte durant son projet. Mais ces dimensions, nous dit Le Corbusier, sont à utiliser à bon escient. Puisque ces valeurs possèdent leur propre justification, l'architecte doit encore justifier la bonne utilisation.

Les chiffres du Modulor sont des mesures. Donc des faits en soi, ayant une corporalité. Elles sont l'effet d'un choix parmi l'infinité des valeurs. Ces mesures, de plus, appartiennent aux nombres et elles portent les vertus de ceux-ci. Mais les objets à construire dont elles fixeront les dimensions sont, de toute façon, des contenants d'homme ou des prolongements d'homme. Pour que soient choisies les mesures les meilleures, mieux vaut les voir et les apprécier avec l'écartement des mains, que les penser seulement (ceci seulement pour les mesures proches de la stature humaine). Par conséquent, le ruban du "Modulor" doit se trouver sur la table à dessin à côté du compas, déroulable entre les deux mains et offrant à celui qui opère la vue directe des mesures, permettant ainsi un choix matériel. L'architecture (et dans ce terme, je l'ai déjà dit, j'englobe la presque totalité des objets construits) doit être charnelle, substantielle autant que spirituelle et spéculative.

[LEC50]

GÉOMÉTRIE

Ce n'est que récemment que le problème du plan abstrait et rigoureux, du tracé régulateur géométrique, est revenu à l'ordre du jour, en même temps que la controverse plus générale : composition rigoureuse opposée à l'inspiration ; les artistes, les architectes qui pendant deux cents ans avaient décalqué et juxtaposé avec plus ou moins de bonheur des clichés structuraux ou décoratifs, tournent de nouveau leurs regards vers la géométrie.

[GHY38]

Le dessin est le support de l'exploration menée par le concepteur. Même si elle n'est pas obligatoire dans un premier temps, l'intégrité géométrique de l'objet projeté est exigée pour sa réalisation. Les esquisses préliminaires, faites à traits redoublés, masquent souvent des impossibilités spatiales et c'est d'ailleurs leur spécificité : repousser des problèmes mineurs en les occultant momentanément, c'est-à-dire établir une hiérarchie des objectifs à atteindre.

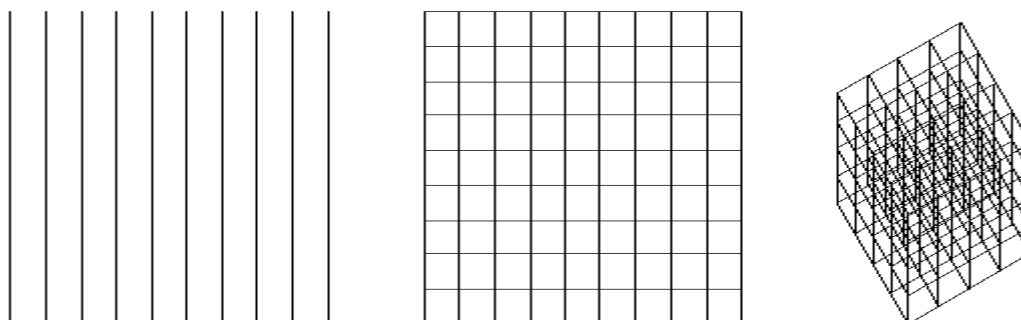
Indépendamment de toute considération doctrinale, nous devons reconnaître que la géométrie euclidienne est, avant la mécanique qui lui est redevable, la discipline qui impose ses règles aux objets réels. Le moulin à eau de M.C. Escher ne reste qu'une habile ruse de dessin.

La trame parce qu'elle ajoute aux règles de la géométrie, à laquelle elle est inféodée, les siennes propres restreint davantage la liberté — la liberté géométrique et non la liberté de

conception — de l'objet conçu.

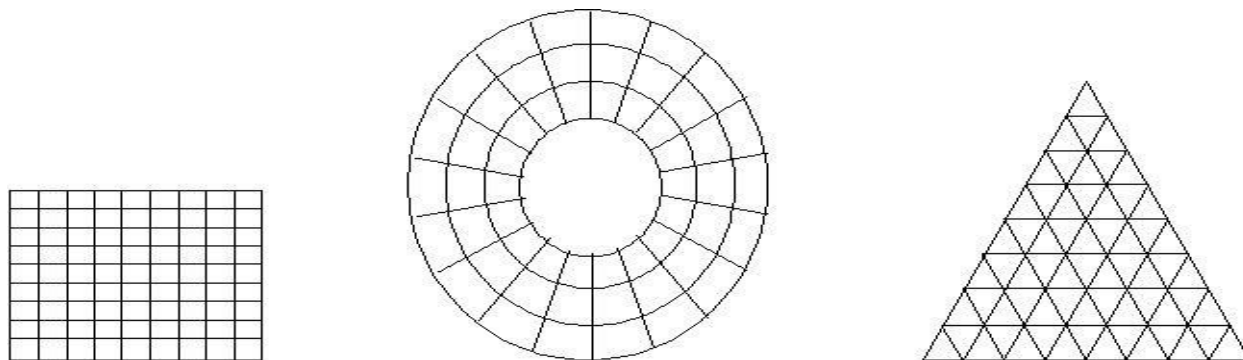
FORMES

Nous parlons ici de la forme du *représentant* et non de celle du *réfèrent* de la trame. Un premier paramètre est le nombre de dimensions. On en relève trois principales : les trames *monodirectionnelles*, *bidirectionnelles*, *tridirectionnelles*³. La trame utilisée en logement de 5,80m est l'exemple emblématique de la trame monodirectionnelle qui répond simultanément à des problèmes fonctionnels (largeur de deux places de parking) et techniques (portée maximale d'une dalle en béton sans recourir aux poutres). La trame carrée de 0,30x0,30m utilisée dans l'installation de produits (plaques de plafond suspendu, carreaux au sol) illustrent les secondes. Les troisièmes, plus rares parce que nécessitant une maîtrise géométrique plus grande, sont présentes par exemple dans les structures en acier.



Exemples de trames respectivement mono, bi et tridirectionnelles.

Après le nombre de dimensions développées, à l'origine d'un premier classement, nous distinguons plusieurs configurations. Les plus courantes sont les configurations rectangulaires, polaires et triangulaires⁴ illustrées ci-après.



Exemples de configurations rectangulaires (ou carrées), polaires et triangulaires.

Le nombre de dimensions et la configuration sont indépendants, mais toutes les combinaisons de ces deux paramètres n'ont pas du sens ; une trame monodirectionnelle peut être rectangulaire ou polaire, mais pas triangulaire. Une trame polaire peut être

³ La trame monodirectionnelle a ceci de particulier que, ne requérant qu'une seule coordonnée, elle ne permet pas le repérage d'un point dans un plan, ni, a fortiori, dans l'espace. C'est un point important à signaler car, dans la modélisation informatique, il nous faudra contourner cette difficulté en adjoignant à la trame monodirectionnelle une autre trame monodirectionnelle non colinéaire, permettant d'attribuer à tout point la seconde coordonnée manquante.

⁴ La trame triangulaire appelle aussi une remarque. Constituée de trois directions, elle repère tout point du plan avec une coordonnée "de trop". Le risque, dans la perspective d'une modélisation informatique, est de manipuler des coordonnées contradictoires.

monodirectionnelle, bidirectionnelle ou tridirectionnelle (la troisième dimension est alors, par exemple, la hauteur de la trame “ cylindrique ”)...

De loin, la plus fréquemment employée et de ce fait la plus représentative est la configuration rectangulaire. Grâce à la facilité apportée par sa géométrie (l'angle droit et le parallélisme omniprésents excluent toute « distorsion » de l'espace géométrique), son pouvoir coordinateur est élevé.

Dans le passage qui suit, “ grille ” se comprend au sens de « trame ». Nous reviendrons dans la suite plus spécifiquement sur la notion de grille.

Une grille comportant des éléments linéaires se coupant à 120° engendre des hexagones, système d'agglomération favori dans la nature, car il permet aux unités de remplir tout l'espace avec une déviation minime par rapport à la forme circulaire idéale et une très petite longueur de périmètre. La discipline hexagonale s'est aussi révélée utile dans le design. Utilisée comme structure, la grille similaire fondée sur une intersection à 60° a l'avantage d'être auto-triangulatrice, et en conséquence, de demeurer stable en face des forces multidirectionnelles.

En comparaison, la grille rectangulaire présente de nets avantages. Le système se sépare facilement en un contraste chaîne/trame où un couple de directions l'emporte sur l'autre. On peut aller tout droit, en ignorant les choix présentés par les intersections. Cependant, lorsqu'elle est érigée comme cadre vertical enferme l'espace, la grille exclusivement rectangulaire présente de sérieuses déficiences structurelles.

[LEB83]

“ L'ARCHITECTURE N'EST PAS LA GÉOMÉTRIE ”

On a parfois fait grief aux architectes de leur manque de connaissance en géométrie.

Nos bâtiments sont conçus par des architectes qui connaissent peu de géométrie. Accepteraient-ils de se faire opérer par des chirurgiens qui connaîtraient peu d'anatomie ?

[TOP79]

Afin de mieux réfléchir le bien-fondé de cette assertion, nous devons connaître le rôle que joue la géométrie dans la conception architecturale. On ne saurait réduire l'architecture à la géométrie. Bien sûr, concevoir une architecture, c'est proposer une forme qui puissent être construite dans l'espace. Ramener l'architecture à la géométrie, c'est croire que tout problème, parce que sa résolution — si elle existe — peut se représenter géométriquement, n'est posé que par la nature géométrique des choses ; c'est croire que l'architecture est assujettie à la géométrie qui lui est plus générale et la comprend entièrement. C'est enfin croire en l'avènement d'une architecture « indiscutable », patronnée par les mathématiques et sans égard pour l'histoire, la société et les hommes.

L'architecture n'est pas la géométrie : il s'ensuit une difficulté à penser l'utilité d'une informatique graphique pour une conception architecturale qui n'est pas géométrie ou du moins n'est pas que géométrie.

[CAA93]

COMPLICATION

Lorsque la géométrie occupe systématiquement le premier plan de l'œuvre architecturale, laissant derrière elle toute autre considération, elle a tendance à se complexifier, moyen pour elle de justifier sa suprématie. Les trames, dispositifs géométriques, se prêtent merveilleusement bien à cette complexification. En rebutant par l'enchevêtrement extrême de leurs axes, les trames dessinées laissent à celui qui s'essaye à en comprendre l'organisation le sentiment parfois délicieux d'être dépassé par la pensée de son créateur. L'ineffable devient l'ineffable.

Il faut en convenir, rien ne résiste à cet égard aux Architectes, qui ont plus de connaissance dans cette partie [les Mathématiques], ils négligent de faire usage de tous les secrets que cet

Art nous enseigne, et dédaignant de faire parade de la plupart de ses ressources. Ils aiment mieux, disent-ils, satisfaire l'œil que l'étonner, surtout lorsqu'il s'agit, ou de nos édifices publics, ou de quelques unes des parties les plus usitées de nos Bâtiments d'habitation. Ils pensent avec raison que la vraisemblance doit avoir le pas sur une témérité présomptueuse, et abandonnent aux Appareilleurs les minuties, ces petits détails symétrisés, qui ne prouvent que la difficulté dans la main d'œuvre. Ils se renferment dans les bornes qui leur sont prescrites par le goût de l'Art : visant d'ailleurs à la beauté de leurs œuvres, ils ne perdent pas de vue une économie raisonnable [...].

[DURxx]

La complexité n'est pas la complication. La trame est complexe, c'est-à-dire qu'elle embrasse des parties diverses, ce qui n'implique aucunement qu'elle soit compliquée. Mais parfois, la complication est nécessaire.

Dans nos ouvrages de construction, des modulations tendent à se dessiner sur une structure en réseau. La configuration d'un bureau de grande envergure rend la grille fondamentale quasi méconnaissable. Pour qu'une telle liberté existe, il faut que soient établis plusieurs systèmes de réseau parfaitement accordés — du système porteur et de l'aménagement des planchers à l'agencement des plafonds et au dispositif d'éclairage. Nous ne serions probablement pas en mesure de satisfaire aux exigences actuelles si nous ne disposions pas des structures géométriques fondamentales définies par les réseaux. Sans doute les architectes d'aujourd'hui ne sont-ils pas uniquement conduits à développer de tels systèmes par des raisons technico-économiques ou en vertu d'une recherche d'ordre.

[VOL68]

QUALITÉ FORMELLE

La critique de certaines architectures utilisant une trame répétitive à l'aspect sévère ne saurait compromettre le concept de trame. C'est le cas lorsque l'on peut établir une forte analogie d'aspect des objets assujettis à la trame et du signifiant de la trame et lorsque le projet de trame est prédominant dans la projet global. Nous avons déjà montré qu'était en cause le référent de la trame, sa réalité dans l'espace architectural.

Lorsqu'on réussit à dégager le principe géométrique fondamental de l'architecture hindoue, des comparaisons s'imposent d'elles-mêmes avec l'architecture européenne des époques correspondantes, et, de surcroît, un certain parallélisme s'établit avec la construction contemporaine. Si l'on reproche à cette dernière son appauvrissement relatif à l'égard des siècles précédents, c'est précisément que sa structure repose généralement sur un réseau. Or, dans l'architecture indienne, le recours à une grille, rigoureusement carrée, ne paraît avoir nullement entravé sa richesse formelle. On pourrait même prétendre, au contraire, qu'elle n'a pu s'épanouir aussi librement qu'à cause de l'existence de grille fondamentale. Comment expliquer cette apparente contradiction?

[VOL68]

GRILLE

Dans la perception commune, la grille et la trame ne font qu'une. Et de fait, les trames architecturales revêtent souvent la forme d'une grille, la grille carrée étant la forme la plus courante, au point que celle-ci nous apparaisse comme leur représentation emblématique. Néanmoins, l'étude de la grille géométrique est porteuse d'enseignements pour la trame. La trame architecturale hérite de certaines propriétés de la trame géométrique, et en particulier de la grille géométrique⁵.

EXTENSION

La trame est intéressante à considérer du point de vue de son extension a priori toujours possible.

Bernard PIERREL (entretien).

La grille géométrique possède deux dimensions et permet le repérage de n'importe quel

⁵ Nous devons différencier l'utilisation de la grille comme configuration particulière de la trame et la grille géométrique comme forme mathématique inaccessible à toute réalisation. C'est de cette dernière dont il est question ici.

point à l'intérieur d'un plan. Elle est infinie et régulière. Elle ne comporte aucun resserrement de ses axes qui impliquerait une hétérogénéité de sa surface. Enfin, elle n'a pas de centre.

La trame graphique, elle, contient également l'idée d'infini. Mais, elle n'est pas, comme la grille géométrique, une forme idéale. Elle ne s'étend pas infiniment. Aussi, l'architecte a-t-il toujours le choix de la « fermer », c'est-à-dire lui imposer une limite visuelle, ou au contraire de « l'ouvrir » pour, par exemple, rendre possible une extension future.

Une répétition uniforme ne comporte donc en elle-même ni commencement, ni fin ; ses extrémités devront être indiquées par des moyens expressifs extérieurs et complémentaires.
[LUR55]

Parce qu'elle est spatialement située et localisée, la trame graphique invite à un double sens de lecture. Le premier est centrifuge ; c'est celui qui « prolonge » la trame au delà de ses limites. Le sens de lecture centripète existe également, c'est celui qui concentre, affirme l'intégrité de la trame. La grille, modèle primitif de la trame, porte au plus haut point ces caractéristiques, comme le note Rosalind Krauss :

Logiquement, la grille est susceptible de s'étendre dans toutes les directions à l'infini. Toute limite lui étant imposée par une peinture ou une sculpture donnée ne peut donc être qu'arbitraire. Grâce à la grille, l'œuvre d'art se présente comme un simple fragment, comme une petite pièce arbitrairement taillée dans un tissu infiniment plus vaste. Ainsi envisagée, la grille procède de l'œuvre d'art vers l'extérieur et nous oblige à une reconnaissance du monde située au-delà du cadre. Il s'agit de la lecture centrifuge. Quant à la lecture centripète, elle va, tout naturellement, des limites extérieures de l'objet esthétique vers l'intérieur. Selon cette lecture, la grille est une re-présentation de tout ce qui sépare l'œuvre d'art du monde, de l'espace ambiant et des autres objets. Elle fait passer par introjection les limites du monde à l'intérieur du cadre. C'est un mode de répétition dont le sens est que l'art est une convention.
[KRA93]

Selon la définition architecturologique, l'échelle d'extension met en évidence “ toute opération de conception d'une partie ou d'un tout de l'espace architectural qui intègre un devenir futur ”. Les qualités géométriques de la trame, qu'elle partage avec la grille, lui autorise une expansion illimitée. Ce caractère a été exploité dans les années 1960-70 pour la construction de logements collectifs ; la prudence prévaut aujourd'hui, car l'image qu'il donne de la trame est celui d'une croissance organique qui prolifère à l'insu de tous les habitants à seule fin de les étouffer.

PERMANENCE

Les caractéristiques essentiellement simples de la grille carrée lui valent d'être couramment employée. Dans des disciplines artistiques, sa double appartenance au domaine du réel (sa vocation de repère spatial) et de l'idéal (les principes mathématiques sur lesquels elle repose) lui vaut une place d'honneur dans le travail des artistes contemporains. Succès que la trame reprend à son compte dans le domaine de l'architecture.

On peut cependant affirmer, sans crainte d'être démenti, que dans toute la production esthétique moderne, aucune forme n'est maintenue avec autant d'acharnement, tout en restant aussi perméable au changement. Ce n'est pas seulement le nombre de démarches vouées à l'exploration de la grille qui est impressionnante, mais le fait que nulle exploration n'aurait jamais pu opérer en terrain moins fertile.
[KRA93]

ARTEFACT

La trame prétend à un lien de parenté avec la grille : son origine totalement artificielle qui reste un excellent moyen pour le créateur d'affirmer l'originalité de son langage de formes

par rapport à celui de la nature. Néanmoins, il s'est trouvé que les découvertes biologiques, possibles notamment grâce à l'utilisation du microscope, ont mises au jour des structures alvéolaires. Cette nouvelle source d'inspiration a été utilisée par des architectes comme Robert Le Ricolais (étude des radiolaires) et à l'origine d'une tendance organiciste.

Pour proclamer la modernité de l'art contemporain, la grille fonctionne de deux manières : l'une spatiale, l'autre temporelle. Spatialement, la grille affirme l'autonomie de l'art : bidimensionnelle, géométrique, ordonnée, elle est antinaturelle, antimimétique et s'oppose au réel. C'est à quoi l'art ressemble lorsqu'il tourne le dos à la nature.

[...] L'entière régularité de son organisation [la grille] est le résultat, non de l'imitation, mais d'un décret esthétique. Dans la mesure où son ordre est celui de la relation pure, la grille est une manière d'étouffer la prétention qu'ont les objets naturels d'avoir un ordre propre.

[KRA93]

DÉMARCHE MATHÉMATIQUE

Les mathématiques ne fournissent pas de démonstrations plus absolues que celle que l'artiste tire du sentiment de son art.

Edgar Poe.

Il serait simpliste de d'affirmer qu'utiliser des trames est l'indice chez l'architecte de la volonté d'inscrire son travail dans une approche mathématique. Mais sans aller jusque là, reconnaissons que la justesse, ou le sentiment de justesse, que procurent au concepteur l'utilisation des trames proviennent, en partie tout au moins, de leur fondement mathématique ; le nombre est au cœur des trames.

La perception de la conception par le concepteur, et donc la satisfaction qui en découle, n'est pas la perception de la conception par l'observateur.

En donnant une grille de lecture, les mathématiques amènent une satisfaction propre à la compréhension de la manière dont a été conçu l'objet. Le jugement ne s'exerce plus seulement sur l'objet fini, mais également sur la démarche suivie lors de sa conception.

Sans doute les formes mathématiques sont-elles abstraites, et celles de l'architecture concrètes et humaines. Mais ce n'est pas une différence essentielle. La qualité fondamentale de la forme, de quelque sorte qu'elle soit, réside dans son organisation, et c'est quand nous pensons à elle sous cet angle que nous l'appelons " forme ". L'attrance, l'espèce de sympathie que l'homme éprouve pour la forme mathématique n'a pu naître que de l'attrance pour le processus de " preuve ". Je crois que l'attrance que nous éprouvons pour la forme architecturale ne pourra atteindre à un degré comparable, que si nous apprenons d'abord à éprouver une attrance comparable pour le processus de conception.

[ALE64]

VALEURS QUANTIFIABLES

La lecture d'une trame repose entre autres sur la lecture de ses dimensions. Placer les nombres au premier plan de la constitution de la trame est une envie justifiée. Mais raisonner sur l'architecture à partir des nombres seuls (ou des tracés géométriques) est non seulement limité, mais c'est une erreur. De fait, l'approche mathématique ne se borne pas à une jonglerie absurde de nombres et de formules.

Les mathématiques, dans l'opinion courante, s'appliquent à des grandeurs, au quantifiable. Les concepteurs prétendent, avec raison, que des calculs de grandeur n'ont qu'une utilité strictement limitée dans l'invention de la forme, et sont de ce fait plutôt sceptiques quant au possibilité de fonder la conception sur des méthodes mathématiques. Ce qu'ils ne réalisent pas, cependant, c'est que les mathématiques actuelles s'attachent au moins autant à des questions d'ordre et de relations qu'au domaine des grandeurs.

[ALE64]

En dépassant les questions de quantification pour accéder aux questions de relation et d'ordre — dans le domaine de la conception et non de la composition — , les trames s'inscrivent

parfaitement dans la construction d'un support mathématique à la conception.

OPTIMISATION

On néglige parfois l'importance de ces variables non quantifiables (ex. " l'ennui qu'on ressent dans une exposition " ou " la chaleur humaine d'une salle de séjour ") en s'efforçant d'être " scientifique ".(...) Mais s'il est certainement exact que l'utilisation de standards de performance réduit la nécessité pour le concepteur de se fier à son expérience personnelle, il arrive souvent que le genre d'optimisation mathématique que rendent possibles des variables quantifiables n'a rien à voir avec le problème de conception. Un problème de conception n'est pas un problème d'optimisation.

[ALE64]

Nous tenons à nuancer les propos d'Alexander : l'optimisation est un aspect de la conception à moins, ce que nous n'approuvons pas, de refuser à la conception technique la noblesse que nous décernons volontiers à la conception architecturale.

Au point où la civilisation est parvenue, l'exact est un élément nécessaire du splendide, et le sentiment artiste est non seulement servi mais complété par l'organe scientifique ; le rêve doit calculer.

Victor Hugo, Les Misérables.

COMPOSITION

La conception est la fonction de l'architecte, la composition son moyen. La composition, loin d'être une notion vieillie et désuète à l'usage des nostalgiques de l'académisme beaux-arts, reste au cœur du travail de l'architecte. Elle est impérissable.

La composition a toujours un cadre. Le cadre en architecture est tout ce qui arrête et place dans une perspective la mise en œuvre, à commencer par la géométrie, la mécanique, la technique, etc., jusqu'à la pensée d'une époque. C'est davantage dans l'évolution de ce cadre que dans l'évolution des moyens de compositions qu'il faut situer l'histoire des arts. Il est quelquefois advenu, au XXe siècle, qu'on pensât être parvenu au point ultime du non-cadre, preuve de non-composition. Le cadre d'abord invisible parce que hors de notre champ de vision finit toujours par se révéler. La non-composition est composition. Il n'y a pas une différence de nature entre la composition et l'absence de composition — cette dernière étant différente de la non-composition — mais une différence de degré.

GÉNÉRALITÉS

LE TOUT ET L'ÉLÉMENT

Une particularité de la trame est qu'elle possède une représentation graphique (une grille par exemple) qui ne réclame pas la présence des objets architecturaux dont elle est le support. Sa finalité est néanmoins de positionner et dimensionner des éléments les uns par rapport aux autres, de les composer.

La décomposition en support graphique et lieu de composition, outre le fait qu'elle éclaire l'étude du plan-libre, se retrouvera au niveau des trames qui sont à la fois une écriture, donc un code, et un principe de composition donc une création architecturale propre.

[ZEI77]

Comme principe de composition, la trame a ceci de particulier que, coordonnant plusieurs éléments qui peuvent être d'égale importance ou non, elle agit sur l'ensemble comme sur un seul élément. Jean ZEITOUN [ZEI77] dit qu'elle « se révèle souvent comme une tentative de conciliation entre deux termes séparés : le tout et l'élément ».

Combiner entre eux les divers éléments, passer ensuite aux différentes parties des édifices, et de ces parties à l'ensemble, telle est la marche naturelle que l'on doit suivre lorsqu'on veut apprendre à composer. Lorsque l'on compose, au contraire, on doit commencer par l'ensemble, continuer par les parties, et finir par les détails.
[DURxx]

Cette vision soulève le problème de ce qui doit être conçu en priorité, sachant que tout ne peut être conçu à la fois. Faut-il commencer par le sommet de la « hiérarchie », le projet dans son ensemble, ou faut-il d'emblée penser aux détails en tentant de les réunir, de les agréger dans un projet global. En réalité, le problème ne se pose pas en ces termes. La méthode de Durand suppose premièrement une classification sans ambiguïté des éléments de la hiérarchie, ce qui est loin d'être toujours réalisable.

Durand propose d'aller des éléments aux parties de l'édifice, puis en combinant ces parties, d'aboutir à la composition de l'ensemble. Pour procéder de cette façon, il faut une structure ferme qui guide la composition et assure que les éléments, une fois déterminés et assemblés, composeront bien un ensemble satisfaisant. C'est la fonction des axes établis à l'avance selon des grilles dont la formules est définitivement définie par l'auteur. Les éléments s'enfilent sur les axes comme des perles sur un fil et l'édifice se trouve automatiquement composé.
[HAM79]

Si nous poursuivons l'idée que la trame est un tout rassemblant des éléments, que nous considérons que chaque élément est susceptible à son tour d'être un autre tout, la structure de la trame se découvre être hiérarchique (la coordination de plusieurs trames par exemple) et représentable logiquement par un arbre⁶.

TRACÉS RÉGULATEURS

Nous nous heurtons à propos des tracés régulateurs, comme à propos des trames architecturales, à la difficulté d'en donner une définition généralement approuvée. Dans l'acception commune de *tracé régulateur*, l'accent est mis sur sa vocation de compositeur. Cependant, rien n'empêche un tracé régulateur d'aider l'architecte à résoudre des problèmes constructifs ou fonctionnels. La trame instaure des règles de positionnement des objets ; elle est un tracé régulateur.

La trame appartient à la problématique des tracés régulateurs dont elle n'est qu'une des modalités. Elle se rattache à la notion de module et de rythme.
Christian FRANÇOIS (entretien).

Le signifiant graphique des tracés régulateurs, composé de cercles, d'intersections de lignes, de lignes rabattues à souvent des allures inconnues à celui de la trame. Le tracé régulateur met en relation des longueurs, des surfaces par le biais des proportions. En réalité, le jeu possible des trames est tel qu'à notre avis, aucune compétence des tracés régulateurs — présentés pourtant comme plus généraux — ne peut lui être refusée.

EXPRESSION ET IMPRESSION

Il y a ce que les qualités que le concepteur donne à la trame, à son signifiant, et le sentiment

⁶Un des enjeux de la modélisation informatique consistera à pouvoir « démarrer » cette structuration à partir de n'importe quel niveau, éventuellement de développer parallèlement et indépendamment deux structures pour les coordonner finalement.

que la trame, au travers du référent, provoque sur l'observateur. Ce sont respectivement l'expression et l'impression d'une trame. La liste incomplète — comment pourrait-il en être autrement? — que nous entreprenons maintenant n'a évidemment aucune prétention de vérité ; d'une part, parce que les notions développées demandent une appréciation subjective, d'autre part parce que le flou qui environne leur signification n'exclut pas un recouvrement partiel des unes sur les autres, ce qui d'un point de vue analytique réduit leur efficacité. Mais au moins aura-t-elle la vertu d'entamer une réponse à la question : qu'est-ce qui fait la « force » d'une trame ?

QUALITÉS EXPRESSIVES

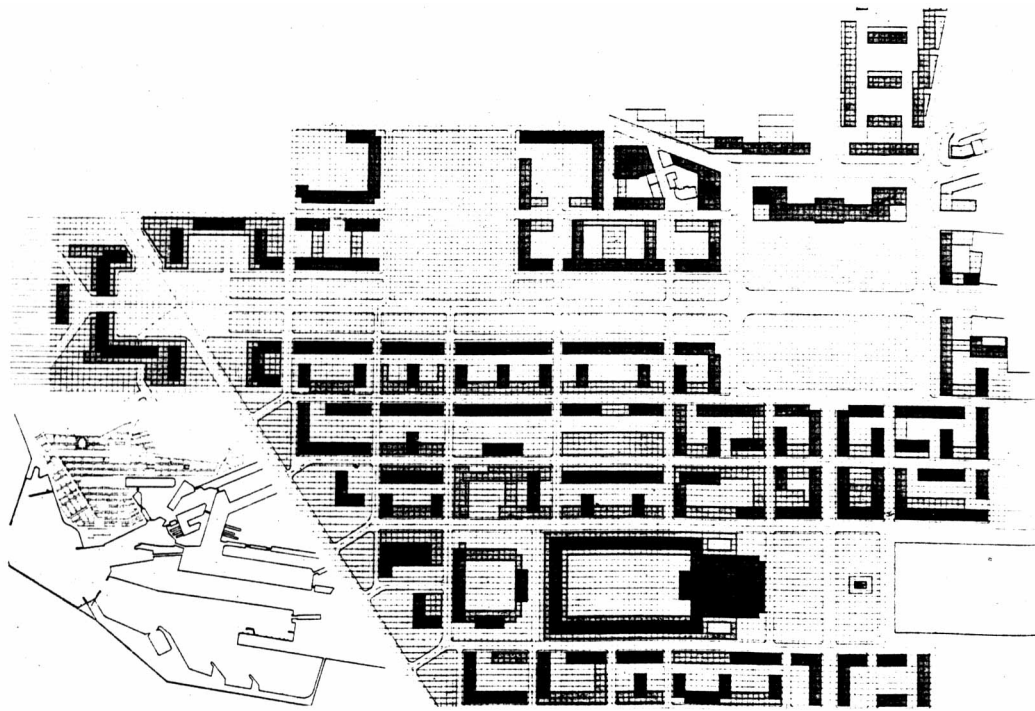
L'*étendue* de la trame est sa présence locale ou globale dans le projet. La trame d'un carrelage présent partout dans un projet a une grande étendue. Si cette trame ne recouvre qu'une pièce parmi une multitude d'autres, son étendue est limitée.

- La *taille* de la trame est fortement liée à la dimension de son module le plus grand. Une trame urbaine est d'une taille beaucoup plus grande qu'une mosaïque, quelle que soit l'étendue de cette mosaïque.
- La *visibilité* de la trame est commandée par le désir de l'architecte. Elle dépend du plan où se développe la trame (en élévation, en plan), de sa simplicité, de sa répétitivité.
- L'*autorité* de la trame se mesure relativement à l'ensemble du projet à la quantité d'objets qu'elle soumet et à leur importance. Un bâtiment dont la structure tramée règle jusqu'aux détails est plus autoritaire qu'un bâtiment qui jouera de l'opposition de la trame avec une forme libre.

QUALITÉS « IMPRESSIVES »

Dans un bâtiment achevé, les qualités d'expression trouvent leur pendant « impressif » dans un rapport dialectique avec les qualités expressives : l'*ampleur* avec l'étendue, la *grandeur* avec la taille, l'*évidence* avec la visibilité, la *considération* avec l'autorité. Elles représentent chez l'observateur le sentiment laissé par chacune des qualités expressives voulues par le concepteur. Alors que les qualités expressives se trouvent plutôt du côté du concepteur, les qualités « impressives » reçues par l'observateur sont du côté de la perception.

Comme nous le constatons, les qualités expressives ont une dominante objective ; à l'inverse des qualités impressives qui ont une dominante subjective. Moins objectives, les secondes n'en paraissent pas moins plus réelles que les premières.



Reconstruction du Havre.

Plan directeur d'Auguste Perret.

Article paru dans Techniques & Architecture .

Accompagne ce commentaire :

L'unité de mesure, étendue à un territoire de plusieurs kilomètres carrés, n'implique nullement monotonie : volumes, distributions intérieures, modénatures, nature et coloration des matériaux, modes de construction restent au libre choix de chaque architecte d'îlots. Les nombreuses réalisations et les projets témoignent d'une extrême variété dans les strictes limites de la mesure fixée. La valeur de la mesure se prête d'ailleurs avec assez de souplesse à certains cas particuliers : pour quelques îlots, la maille descend à 6m20, pour d'autres, elle atteint 6m40 : l'ordre général n'est pas rompu.

GÉOMÉTRIE

ÉCHELLE GÉOMÉTRIQUE

L'aspect géométrique très affirmé de certaines trames est sans doute l'origine et la raison de beaucoup d'entre elles. Ce que nous pourrions percevoir comme la simple conséquence de leur formation devient le but affiché et recherché. Il est difficile de départager ce qui dans une trame relève d'une volonté de géométrie de ce qui relève d'une autre volonté, économique ou méthodologique par exemple, toutes ces raisons étant mêlées en une réponse unique.

Certaines trames sont redevables à l'échelle géométrique lorsque leur auteur, selon la définition architecturologique, recourt " à des considérations géométriques pour découper ou référer des parties ou des totalités de l'espace architectural ou encore pour transcrire d'autres modalités de mesure ".

PARALLÉLISME

La succession et la contiguïté qui s'expriment sous la forme de la *linéarité* des travées sont les premières caractéristiques géométriques des trames. Le parallélisme en est la propriété. Nous n'entendons pas parallélisme dans un sens absolu, mais comme la conséquence du principe de succession des intervalles qui veut que chacun d'eux soit en rapport avec celui qui le suit et celui qui le précède. Il s'agit plutôt d'un parallélisme relatif. Les trames en forme d'arcs de cercle ou de sinusoides respectent ce principe et ne diffèrent pas sur ce sujet des trames droites. Les trames respectent toutes ce parallélisme qui leur est imposé par leur condition de trame, consistant en une variation nulle ou modérée de l'orientation des axes successifs. Les trames droites sont donc particulières au sens où cette variation d'orientation d'axe à axe reste nulle.

Le deuxième principe géométrique découle du premier; c'est l'orthogonalité. L'angle droit, est l'angle que fait la direction principale et la direction orthogonale de la trame. D'après ce qui vient d'être dit, la trame a au moins ces deux orientations que l'on pourrait figurer par des axes selon deux orientations : l'axe *extensif*, celui de la propagation de la trame dans l'espace géométrique, et l'axe *intensif*, représentant canonique de tous les axes parallèles qui délimitent les intervalles ou, si l'on préfère, les travées.

DROMIES

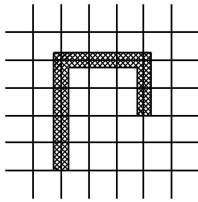
Dans *Figures de la conception architecturale*, la *dromie* est définie comme la course du crayon sur le papier, ou par extension, la forme de n'importe quel tracé une fois débarrassée de sa signification. Il s'agit moins de la forme du tracé que de son rapport aux tracés voisins. Sont ainsi recensées une dizaine de dromies.

Dans le cas des trames, nous pouvons nous servir d'un certain nombre d'entre elles, pas en ce qui concerne le tracé de la trame par rapport à lui-même, mais des éléments venant se superposer à la trame.

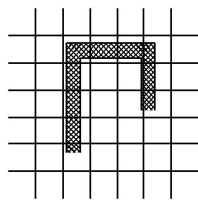
Les objets sont régis par une trame soit totalement, soit partiellement, soit pas du tout. Nous allons voir que l'observance de l'objet à la trame s'échelonne au moins sur quatre niveaux. L'intentionnalité de ces tracés ne rentre pas ici en ligne de compte.

- L'*isodromie* est le cas parfait d'assujettissement d'un objet à une trame. Ayant tous ses points placés sur les axes de la trame, l'objet ne sort jamais des limites qui lui sont imposées. La trame exerce alors un contrôle absolu.
- L'*homodromie* procède d'un décalage avec les axes de la trame ; les directions sont néanmoins respectées. Ce qui la différencie de l'isodromie est son manque de calage. Quelques exemples de plans-libres montrent de tels cas de figure.
- La *paradromie* désigne un tracé qui reprend les directions de la trame de manière approximative. L'opération qui consisterait à retrouver une trame dans un existant pourrait révéler graphiquement des cas de paradromie.
- L'*antidromie* désigne un tracé qui rompt avec la géométrie de la trame. Si un mur de pignon d'un immeuble tramé reprend une limite parcellaire, il est des chances de visualiser cette situation.

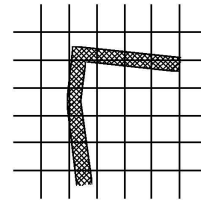
Nous illustrons ci-après ces quatre dromies.



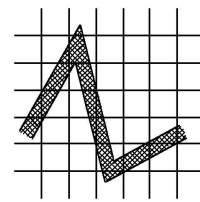
Isodromie.



Homodromie.



Paradromie.



Antidromie.

Cet outillage conceptuel n'a de véritable raison d'être que s'il est mis en pratique sur un objet précis, l'étude de l'emploi des trames par un architecte particulier, la comparaison de la mise en œuvre du plan-libre chez des architectes différents, etc., ce qui n'est pas notre sujet. Remarquons que ce type d'outils statistiques ouvrent la voie à une analyse objective qui n'est encore que peu développée.

ORDRE

L'ordre est, dans son acception basique, la loi qui assigne à chaque partie un rang au sein d'un tout. L'ordre manifeste l'intervention de la pensée. La trame est instauratrice d'ordre.

L'ordre n'est pas nécessairement lié à la géométrie. Il est parfois subjectif ; la manière dont nous disposons une pièce afin d'y sentir toutes les choses à leur place peut très bien paraître désordonnée à première vue et pour cause : la géométrie n'y est pour rien. En ce qui concerne la trame, nous ne croyons pas qu'elle soit la manifestation d'un autre ordre que l'ordre géométrique.

NÉCESSITÉ D'ORDRE

Nothing but confusion can result when order is considered a quality that can equally be well be accepted or abandoned, something that can be forgone and replaced by something else. Order must be understood as indispensable to the functioning of any organized system, whether its function be physical or ornamental. Just as neither an engine nor an orchestra nor a sports team can perform without the integrated cooperation of all its parts, so a work of art or architecture cannot fulfill its function and transmit its message unless it presents an ordered pattern. Order is possible at any level of complexity : in statues as simple as those on East Island or as intricate as those by Bernini, in a farmhouse and in a Borromini church. But if there is no order, there is no way of telling that the work is trying to say.

Rudolf Arnheim, The Dynamics of Architectural Forms, 1977 in [KEP68]

Dans la mesure où la pensée du concepteur a besoin de donner du sens à ce à quoi il réfléchit, l'ordre est moins nécessaire qu'inévitable. L'ordre commence le sens. Il se trouve aussi bien dans les œuvres de la nature que dans celles de l'homme. La trame est non seulement ordonnée mais rationnelle.

Il est nécessaire de distinguer l'ordre et la rationalité. On peut admettre en postulat que tous les produits de la nature ou de l'homme sont ordonnés dans le sens qu'ils sont constitués par l'interaction de forces simples.[...] Certains peintres modernes limitent l'organisation de leurs tableaux à des rapports de tache à tache plus une uniformité d'ensemble : l'exposé est primitif, la hiérarchie est étroite, la cohérence est faible mais ces œuvres sont aussi complètement ordonnées que tout autre objet existant. Cet ordre fondamental de tous les objets justifie la recherche de la rationalité. Mais tandis que l'ordre est une propriété objective, la rationalité décrit dans quelle mesure un observateur peut adapter un objet à un schéma définissable ; c'est donc toujours une question de degré.

[KEP68]

IRRÉGULARITÉ

La force du concept de trame par rapport à celui de grille est qu'il admet l'irrégularité géométrique. Cette irrégularité ne consiste pas en la dérogation au principe de parallélisme mais en l'absence de rapport dimensionnel entre deux intervalles constitutifs. Avant d'aller

plus loin, revenons sur plusieurs termes autour de l'idée d'enchaînement :

- La *séquence* est une suite des termes qui n'ont pas a priori de rapport entre eux mais que lie une direction, un ordre de lecture.
- La *phrase*, au contraire, est une suite ordonnée de termes accordés entre eux et d'où se dégage de l'ensemble un sens.

Il se dégage que les intervalles des trames forment soit des séquences, soit des phrases. Nous trouvons un exemple de séquence dans la trame d'un immeuble dont la largeur totale est égal à la somme des largeurs de deux appartements et du couloir central. Ces trois mesures varient sans affecter les autres. Dans une trame où se répète un module ou lorsque les travées sont liées par un rapport de proportion, c'est plutôt le terme de phrase qui prévaut.

La séquence n'induit pas la régularité géométrique, la phrase oui. La phrase est une séquence. Le terme de *séquence* nous servira dans la deuxième partie à désigner l'ensemble des combinaisons additives d'intervalles, sans présumer aucune régularité.

Dans le même ordre d'idée, nous distinguons :

- La *répétition* comme une séquence de termes identiques.
- La *multiplication* qui contient le principe de sa génération (facteur de multiplication et un terme opérande). La multiplication n'est pas une séquence.

Une répétition et une multiplication peuvent avoir le même résultat — comme dans les nombres, $10+10+10+10=4\times 10=40$ — mais ne découle pas de la même opération.

À ce moment de notre exposé, notre route se partage en deux directions : les notions de régularité, répétition et rythme nous appellent sur l'une ; l'irrégularité sur l'autre. La puissance du concept de trame se situe à la rencontre ces deux voies a priori divergentes⁷

RÉGULARITÉ

La règle guide le créateur dans sa recherche de l'ordre. L'ordre, c'est la nature non-consciente. La règle, c'est l'ordre humain.
Louis Kahn

La régularité fait respecter l'ordre objectif des nombres. Elle suppose l'apparition d'un phénomène de manière prévisible. Elle n'oblige donc à aucune égalité des phénomènes — qui peuvent d'ailleurs différer à chaque apparition — ni de l'intervalle de temps ou d'espace qui en sépare deux successifs.

De tout cela, il ressort que les trames architecturales, bien qu'ordonnées, ne sont pas toutes régulières. Où voir une régularité dans une trame qui juxtapose une travée de 6 mètres fixant la largeur d'une pièce d'habitation et une autre travée de 1,50 mètre destinée à une bande de services.

⁷ Sans doute existe-t-il d'autres manières d'approcher la trame. En ce qui concerne la modélisation informatique, nous avons opté pour une mise en œuvre où se mêlent régularité et irrégularité géométriques. L'approche *uniquement* régulière des trames, donc plus puissante que notre modèle à rendre compte de formes géométriques régulières, permet d'obtenir des formes complexes et parfois impressionnantes, mais nous semble mal adaptée aux situations rencontrées par les architectes.

Dans beaucoup de cas une trame est une sorte de guide dans le dessin ou dans l'organisation de l'espace du plan ou de l'espace physique. En tant qu'organisation simplificatrice, il y a réduction de cet espace-objet sur lequel on travaille et l'idée de régularité est en quelque sorte un effet de cette réduction.

[...] La trame émerge comme un principe morphologique d'organisation de régularités architecturales.

[ZEI77]

La trame de Jean ZEITOUN [ZEI77] diffère de celle dont nous nous proposons de parler : la sienne est uniquement régulière. Quant à nous, il nous a semblé utile d'étudier une trame qui contienne potentiellement de l'irrégularité comme cela est le cas fréquemment. La définition que nous donnerons à nos trames seront beaucoup plus larges que celles des trames régulières.

RÉPÉTITION

La répétition est la réitération d'un événement spatial ou temporel. Pour parler de répétition, il est nécessaire que l'événement répété soit bien reconnu comme *un*, c'est-à-dire qu'il soit relativement inchangé d'une apparition à la suivante. Ceci pour montrer que la répétition a pour préoccupation les objets qu'elle répète, la préservation de leur identité, et non les intervalles (de distance ou de temps) qui les séparent entre eux, rôle que remplit le rythme.

La répétition "à l'identique" est à distinguer de la répétition que nous pourrions appeler "au similaire" qui préserve la nature des diverses occurrences mais se donne le droit d'en faire varier les caractéristiques.

La répétition structurale : j'entends par là une répétition interne à l'œuvre, présente au niveau de sa structure et plus ou moins apparente pour celui qui la reçoit. L'analyse structurale de l'œuvre, quand elle fait apparaître des effets répétitifs plus ou moins délibérés, ouvre la porte à une esthétique de la répétition, esthétique liée à la conception et à la prévision des effets souhaités, plutôt qu'à la pratique, intégrée ou non, d'une répétition instauratrice.

[POI95]

Nous ne pouvons effectivement qu'avérer cette esthétique de la répétition et son importance dans l'emploi des trames, bien que ces dernières ne soient pas toutes fondées sur la répétition.

La répétition est attrayante parce qu'elle permet de réaliser une économie intellectuelle, de penser à un seul objet au lieu d'une multitude. Mais en même temps, elle met gravement en cause la valeur d'unicité de l'objet artistique et ouvre la porte à la critique de ceux pour qui cette valeur est primordiale. Les motivations de ces derniers ont varié selon les époques. Les Romantiques du dernier siècle rapprochaient peut-être l'unicité de l'objet à l'unicité de la vie humaine. Aujourd'hui, on parle de spontanéité, d'improvisation (spécialement en musique).

Car la fête de la cruauté est toujours au présent. Toute une philosophie dionysiaque s'est développée dans les arts contemporains où la spontanéité du cri (ou du trait) dans l'instant passe pour plus authentique, plus près du "sang", que le produit d'une longue patience [...].

[PAS82]

À un niveau moindre, la répétition paraît un raccourci et engendre la monotonie : une centaine de fenêtres identiques régulièrement espacées en largeur et en hauteur. La monotonie est une répétition "à l'identique" qui ne fait pas comprendre sa pertinence.

En s'évadant des corporations "d'arts mécaniques" pour revendiquer d'être connu comme maître dans les "arts libéraux", l'artiste de la Renaissance créait son mythe. Par la sublimation de son travail et un angélisme que le Romantisme a renouvelé pour notre usage, il donnait à l'art le statut d'une utopie concrète ouvrant sur les ambitions spirituelles les plus hautes — ce dont il faut le remercier — mais, par là même, il affichait un mépris condescendant pour les labeurs répétitifs.

[PAS82]

La répugnance pour les labeurs répétitifs, on le comprend, est directement liée à la répugnance pour les objets produits par ces labeurs, les objets répétés.

VARIÉTÉS

La répétition uniforme dont parle Lurçat dans la citation qui suit — l'épithète uniforme conviendrait davantage comme nous allons le voir au rythme de la répétition qu'à la répétition elle-même — instaure une parfaite identité de l'événement répété ainsi qu'une égalité des intervalles qui en séparent deux occurrences successives.

La répétition uniforme convient comme rythme de passage longitudinal. Un rythme plus complexe convient à une vue frontale, perpendiculaire.

[LUR55]

RYTHME

Le rythme risque deux dangers : soit être décomposé comme un objet, une forme à côté du sens, dont il est réputé refaire ce qu'il a dit : redondance, expressivité ; soit être compris en termes psychologiques qui l'escamotent jusqu'à y voir un ineffable, absorbé dans le sens, ou l'émotion. Les deux aspects, aussi coutumiers l'un que l'autre, du dualisme, et du signe. La seule manière de penser est de situer la question du rythme dans l'interaction de la théorie et de la pratique comme deux activités solidaires historiquement.

[MES82]

Notion phare dans le concept de trame, le rythme n'est pas une forme complexe de la répétition. Car alors, où commence la complexité ? N'a-t-elle qu'une différence de degré avec la répétition ?

Nous retrouvons avec la notion de rythme la problématique de l'irrégularité, ou plutôt d'une régularité plus sentie que fondée objectivement. En témoigne le vitrage du réfectoire du couvent de la Tourette dessiné par Iannis XÉNAKIS dont le rythme de découpage, bien que réalisé selon des lois géométriques, nous apparaît comme un rythme libéré proche de celui de improvisation musicale.



Espace intérieur du couvent de la Tourette.

RENOUVEAU DU RYTHME

La notion de rythme se transforme. “ On a touché au vers ” s’écriait il y a un siècle Mallarmé. On pourra toujours changer l’idée qu’on se fait du rythme, mais jamais on n’éliminera cette notion, on ressentira toujours le besoin de mettre quelque chose derrière, fut ce quelque chose en opposition avec tout ce que l’on avait conçu avant. Le rythme demeure ; il ne fait que changer de place.

Voici une citation de John Cage sur la musique mais que l’architecture pourrait sans doute reprendre à son compte ; citation dont le rythme, malgré la traduction, illustre le propos :

Etc. Il y a quelque temps, compter, les schémas, les tempi ont été abandonnés. Le rythme se trouve dans n’importe quelle étendue de temps (non-structure). A-ordre. C’est définitivement le printemps — non simplement dans l’air. Prenez comme exemple de rythme tout ce qui paraît sans importance.

John Cage cité in [KEP68]

MODÉLISATION

L'ARCHITECTE ET L'ORDINATEUR

CONSERVATISME

En excluant toute généralisation, nous pourrions opposer le progressisme doctrinal d'un architecte au conservatisme de ses *méthodes* de production. Les ordinateurs qui sont de nouveaux *moyens* de production, récemment introduits dans son atelier, se sont substitués peu à peu aux tables à dessin et aux machines à écrire pour exécuter le travail de dessin et de secrétariat. Pour ce qui concerne le travail de secrétariat, les logiciels actuels remplissent fort bien leur rôle — et contribuent à de nouvelles pratiques toujours plus aisées, rapides et efficaces. En revanche, l'activité propre de l'architecte, la conception architecturale, n'est aujourd'hui qu'effleurée par les logiciels de dessin ; le Dessin Assisté par Ordinateur (D.A.O.) est une réalité tandis que la Conception Assistée par Ordinateur (C.A.O.) demeure un mirage.

À cela nous attribuons deux causes :

- La difficulté — ou plutôt l'impossibilité — à formaliser une démarche de conception.
- La conception fait partie du domaine gardé des architectes. Il s'ensuit que si les logiciels de D.A.O. les intéressent parce qu'ils n'entament pas ce domaine, les logiciels de C.A.O. provoquent plutôt leur incrédulité voire leur méfiance.

Pour prolonger cette explication, nous dirons que les réticences à la C.A.O. trouvent principalement leur cause dans l'image mécanique, déshumanisée et déresponsabilisante que présente le programme informatique. L'inévitable enchaînement d'opérations logiques dont il est constitué laisse à penser que l'utilisateur, pour le faire fonctionner, doit abandonner sa propre capacité de création et fournir à la machine une nourriture de même nature logique, ce qu'il ne peut lui donner étant donnée la non-formalisation de sa démarche. L'ordinateur selon lui représente une menace pour la création. Ce qui ne peut que renforcer son penchant pour les méthodes manuelles, artisanales. Par ailleurs l'outil informatique est soumis aux changements, aux évolutions ; et pour l'architecte, qui désire conserver à sa méthode de travail une part intemporelle, l'idée qu'il pourrait au même titre que sa machine suivre la marche forcée du progrès technique, et par là faire dépendre la qualité de son travail de *concepteur*, le répugne. De là vient son peu d'investissement méthodologique dans la machine.

Considérer l'ordinateur comme le confiscateur de la liberté créatrice ou, ce qui découle de cette vision, comme l'incapable uniquement bon à présenter proprement et rapidement les données qu'on lui a confié, c'est méconnaître son pouvoir d'assistant et d'aide à la décision.

(...) l'ordinateur est une machine de simulation et que son intérêt principal est qu'il permet de mettre encore plus d'éléments d'un problème dans une seule tête. Les avantages qui en découlent : rapidité et intégrité de la solution en évitant les pièges intellectuels et politiques du morcellement. Bien abstrait tout cela. Armé de son traitement de texte et de son tableur, l'entrepreneur archétypique rédige un business plan d'une cinquantaine de pages. Ajoutons un logiciel de présentation et un accès au Web à son arsenal. Demandez-lui maintenant s'il voudrait simuler en temps réel les modifications de ses documents interconnectés, s'il aimerait voir mise en pages, tableaux, graphiques, transparents changer instantanément au gré de sa réflexion ou des discussions avec des investisseurs. Ce n'est pas pour demain. En fait, cet exemple de business plan est plus proche de la CAO (conception assistée par ordinateur) que de la bureautique. Et l'intérêt de mettre les éléments d'un problème dans une

seule tête — et les outils de la solution au bout d'une seule paire de mains - est bien ce qui anime les progrès de la CAO. Progrès s'entend ici comme le passage d'une petite population de professionnels pointus à un marché plus large. Ce que la PAO (publication assistée par ordinateur) fit en son temps.

Le Microsoft de la CAO s'en est bien rendu compte : Autodesk, après ses prodiges dans la stratosphère de l'ingénierie, s'essaie à vendre des logiciels de conception de cuisines. Que ce soit la commande d'une voiture, l'aménagement d'une maison ou le dessin d'un costume, on imagine que la transaction sera facilitée par une forme de CAO où le vendeur propose un dessin que le client peut ensuite modifier, examinant les conséquences sur la chose, les prix et les délais. Là encore, il reste beaucoup à faire, en particulier dans les langages de modélisation (l'équivalent des formules du tableur) adaptés à chaque genre de CAO " personnelle ".

Extrait de l'article de J.-L. Gassée dans Libération du 28 février 1996 : Le bien n'est pas l'ennemi du mieux.

Nous faisons la réflexion suivante : J.-L. Gassée, prolongeant en cela la pensée de Christopher Alexander à l'époque où il écrivait *De la synthèse de la forme*, a vu le principal argument en faveur de la réalisation d'une véritable C.A.O. dans la limitation intellectuelle d'une personne seule et son incapacité à gérer la multitude et la complexité des données que seule la réunion d'un grand nombre de spécialistes pourrait gérer. Nous ne pouvons nier cet état de fait. Il est difficile de concevoir de nos jours une autoroute sans en considérer l'impact politique, économique, écologique, paysager, foncier, toutes choses qui ne sont pas de la compétence d'une seule profession. Mais ne rapporter la conception qu'à cela, c'est finalement redonner vigueur à cette thèse qui la limite à la résolution de problèmes, en l'occurrence de problèmes complexes. Nous avons dans la partie " État de l'art " expliqué notre désaccord avec ce propos.

OBJECTIF

Notre objectif, défini dès l'introduction, est d'écrire un programme informatique qui permette de construire des trames. Avant de voir comment nous allons procéder, posons nous cette question. Qu'apporte l'informatique à la conception, si l'on ne s'en sert que comme d'un crayon et d'une feuille, la souplesse, la spontanéité, la liberté, le plaisir en moins?

Il nous faut d'abord reconnaître le domaine de l'architecte et celui du logiciel. La conception n'est à aucun moment déléguée à l'ordinateur, elle revient toujours à l'utilisateur du logiciel, à l'architecte en l'occurrence. Ceci étant, le fait d'employer un dispositif informatique pour concevoir influence la conception, comme l'influençaient le crayon et la feuille. L'inconvénient que peut poser l'utilisation d'un dispositif informatique pendant la conception serait son impuissance à représenter — nous ne parlons pas seulement de la modélisation — ce que l'imagination du concepteur exige. Le programme informatique donne un cadre dont il ne serait pas possible de sortir, les combinaisons qu'il permettrait seraient sans doute illimitées mais tout ne serait pas possible. On peut sans doute écrire un poème avec un traitement de texte tel que Word ; mais pour composer un calligramme, on doit recourir à un logiciel de dessin incluant des fonctions texte. Cet exemple montre que, pour employer une lapalissade, le logiciel ne fait pas ce qu'il ne peut pas faire.

Nous avons déjà observé que toute la conception ne se trouve pas sur le dessin ; identiquement, l'ordinateur, que ce soit sur écran ou dans sa mémoire, ne pourra contenir la totalité des informations concernant le projet.

La pertinence n'est pas située dans le programme ; c'est le concepteur qui la détient.

[...] La représentation dessinée de l'édifice et les jeux de transformations géométriques que peut permettre l'ordinateur dans l'ordre de l'univers instrumental de l'architecte ne sont sans

doute pas la seule voie d'une aide informatique à la conception, quelque puisse être l'utilité probablement indéniable de celle-ci dans ce domaine.

[CAA93]

Nous avons également vu que la conception est un phénomène diachronique, qui n'exclut pas les tâtonnements, les retours en arrière, les incertitudes. Dans ce sens, l'outil que nous nous proposons de définir concourt à une conception directement opérée sur ordinateur et non à une saisie de plans conçus préalablement *en dehors* de l'ordinateur. Elle n'exclura pas la répercussion rétroactive.

RECHERCHE DE SOUPLESSE

Deux voies se sont faites jour : la première orientée vers un modèle “applicatif”, la seconde vers un modèle général. Ceci mérite de plus amples explications.

- Le modèle “applicatif” s’établit à partir d’une liste la plus complète possible des situations rencontrées avec les trames et s’attache à y répondre individuellement. Si son avantage réside en une utilisation assez immédiate et naturelle, des limitations peuvent provenir justement du manque d’exhaustivité des opérations recensées, de l’oubli inéluctable de certaines situations exceptionnelles. Par exemple, une opération de tramage consistant à faire un plan trame d’un plan originellement non trame est sans doute utile mais elle souffre forcément d’une limitation de capacités : n’ayant pas prévu toutes les possibilités de tramer, elle n’intéressera certainement qu’une partie des architectes. La solution est alors d’enrichir le modèle mais au prix d’une lourdeur de son utilisation et de la nécessité d’un long apprentissage, ce qui va à l’encontre de ses objectifs premiers.
- Le modèle “général” au contraire ne se situe pas dans un domaine d’application particulier ; il prétend fournir des opérations de base dont l’enchaînement permet la complexité requise.

Nous avons opté pour le second modèle. Nous devons déterminer pour notre modèle un équilibre entre la richesse des possibilités offertes et la difficulté de mise en œuvre. Ce qui est certain, et qui ne doit ni nous étonner, ni nous alarmer, c’est que le modèle que nous proposons n’est pas universel.

Ne peut-on pas se dire que l’outil, dans un premier temps — passage obligé — s’adapte aux techniques et aux savoir-faire existants, puis se développe et en propose de nouveaux.

REMARQUES SUR L'INTERFACE

Considérons donc la notation comme un moyen, non comme un principe d’engendrement. Je dirais que dans l’expression : structure transcrite (ou figure notée), c’est le premier terme qui est générateur, le second n’étant que son codage. Vous ne pouvez en aucun cas prendre le codage lui-même pour le message à transmettre, quoique le codage puisse être considéré lui-même comme susceptible d’influencer le message.

[BOU81]

Il n’est pertinent, à notre avis, de se pencher sur l’interface, c’est-à-dire la manière de faire communiquer la machine avec l’utilisateur, qu’après avoir défini le modèle logique de la trame et les différentes opérations. L’interface n’importe pas tant que le modèle n’est pas suffisamment abouti. Il pourrait y avoir des aberrations, des limitations à trop anticiper l’interface. Nous estimons que ce travail n’arrive qu’à la suite d’un autre. Pour cette raison, bien que nous reconnaissons que l’interface participe au premier plan de la puissance d’un logiciel, nous n’en proposons aucune. Ce

travail mérite une réflexion qui dépasse le cadre de cet exposé.

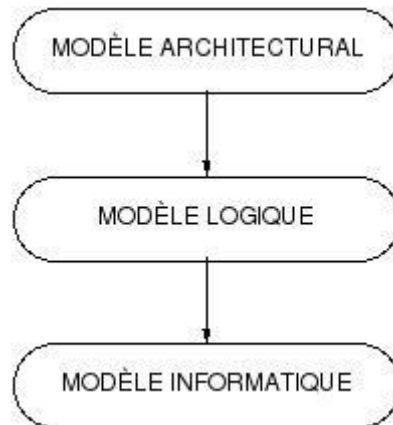
On imagine facilement que l'aspect graphique est dominant dans les logiciels de dessin d'architecture. L'interface graphique — au sens non d'une représentation dessinée mais d'une interface agissant sur le dessin — y tient le plus grand rôle. Or nous avons remarqué que “ le dessin ne dit pas tout ”. L'information graphique d'un projet ne contient qu'une partie du projet, le reste restant dans l'esprit du concepteur. Nous voudrions soulager le concepteur d'une partie de cette information restante à condition que l'on puisse l'énoncer.

Quelle information, non graphique mais capable d'influencer le dessin, peut être portée par l'ordinateur? Nous pensons aux spécifications de dimensions. La dimension n'est pas un fait graphique comme la trame. Sa pertinence est “ incompréhensible ” pour une machine ; tout juste pourra-t-elle être enregistrée à titre de pense-bête pour l'architecte. En revanche les formulations arithmétiques, les valeurs numériques, les “ scalèmes ” (les signes d'égalité, de comparaison, les signes d'opérations) sont évidemment gérés par la machine, et c'est à partir d'eux seuls que s'opère une communication avec elle.

MODÈLE LOGIQUE

RELEVÉ D'OPÉRATIONS

Nous devons recenser un grand nombre d'opérations sur les trames architecturales avant de concevoir notre modèle logique. La transposition de ces opérations dans un modèle logique ne pourra qu'à ce prix être bien adaptée.



Les trois modèles dans leur succession.

Pour rechercher les opérations de transformation sur le modèle, nous disposons de deux sources d'informations : l'observation et l'intuition. L'intuition est importante car elle permet d'imaginer et d'anticiper des opérations dont on ne connaît pas d'exemple précis. D'autant plus que certaines opérations, les plus élémentaires, sont faites inconsciemment par l'architecte. Bien que fondamentales, elles n'apparaissent pas dans son discours, étant trop évidentes. Pour notre part, nous ne pouvons les négliger.

Il est indispensable de classer les opérations sur les trames par type selon ce sur quoi elles agissent. Nous faisons ainsi trois classes :

- Les *opérations générales* donnent aux trames une justification de leur existence, une forme générale, des qualités générales. Ces opérations sont antérieures aux opérations décrites ci-après, elles les conditionnent. Néanmoins elles ne sont pas irréversibles et au cours du projet d'architecture une remise en cause des choix initiaux est toujours possible.
- Les *opérations de manipulation* agissent sur une trame préalablement configurée. Elles consistent en des déplacements globaux ou particuliers des axes, des intervalles. Elles sont "au centre" de la conception. Bien entendu, ces opérations modifient les objets attachés à la trame dans leur position ou leur dimension.
- Les *opérations sur les objets* n'ont pas d'action sur les trames mais elles sont conditionnées par elles.

Il est clair que toutes ne sont pas immédiatement modélisables (par l'informatique), particulièrement les opérations générales. C'est le cas lorsque leur action n'a aucune résultante directe sur la forme de l'objet.

OPÉRATIONS GÉNÉRALES

En ce qui concerne ces opérations, nous les avons pour la plupart déjà développées dans la première partie. Nous ne revenons que succinctement dessus.

- La nature du projet, son économie, les techniques utilisées, l'environnement urbain sont des informations pour la trame. Chacune d'elles peut être le “ déclencheur ” de la trame. Elles restent des conditions tout au long de la conception.
- La fonction de la trame dans l'édifice, sa nature, sont données par l'architecte. Elle correspond à une fonction de structure, d'organisation fonctionnelle ou de composition. Nous avons vu que les trames n'assument qu'exceptionnellement un seul de ces rôles ; elles jouent généralement sur les trois tableaux.
- L'échelle opératoire fait l'objet d'une opération de conception, et par extension, la coordination de plusieurs niveaux de trames et la création d'une hiérarchisation de trames.
- L'architecte doit déterminer ce que la trame dispose, produits ou espaces ; là aussi généralement les deux.
- Un système de trames se développe sur un plan, sur une surface, sur plusieurs plans ou surfaces, dans l'espace. Cela donne entre autres des distinctions entre les trames mono, bi, tridirectionnelles. Cette opération est la première directement incidente sur la forme de la trame.
- Les configurations rectangulaires, circulaires, sinusoïdales, triangulaires, libres sont du ressort d'une autre opération agissant sur la forme de la trame.
- Les jeux de combinaison, d'alternances sont également à la disposition de l'architecte (alternance de plein et de vide représentés par les murs et les vitres par exemple).
- Le rapport du tracé de la trame avec d'autres tracés oriente parfois sa conception. Nombreux cas de plans-libres illustrent ce point. Encore une fois, cette opération concerne les objets disposés par la trame.
- L'opération de tramage est très spécifique. Elle se décline sous deux formes : soit on appose sur un existant une trame préétablie, soit on recherche cette trame à partir de l'existant sans augurer de son résultat. Le tramage suppose que l'on passe d'un état de projet non tramé à un état tramé. Il est utilisé dans l'analyse d'un plan d'urbanisme dans lequel par exemple l'architecte doit implanter un édifice et désire respecter les phénomènes réguliers ou s'harmoniser avec eux. Cette opération est particulière dans le sens où elle dépend d'objets existants. Une seconde particularité est qu'elle dépasse quelque peu la notion d'opération ; elle est un véritable outil d'analyse et de conception en elle-même.
- Le jeu entre plusieurs systèmes de trames, le raccord entre ces trames. Le projet House III d'Eisenman en est un exemple emblématique.

OPÉRATIONS DE MANIPULATION

Les opérations de manipulation sur la trame posent deux cas de figure : ou bien, ce sont des causes extérieures à la trame en tant que structure qui en provoquent la modification, ou c'est la trame elle-même — toujours considérée du point de vue de sa structure — qui est à l'origine de l'opération. Ce deuxième cas est envisageable une fois admise l'indépendance, au moins momentanée durant la conception, du couple signifiant/signifié et du référent de

la trame. Mais au bout du compte, ces deux niveaux de la trame se rejoignent toujours que l'un soit atteint avant l'autre ou le contraire.

- Les déplacements globaux de la trame par translation, rotation ou combinaison des deux sont en général motivés par la volonté d'agir sur les objets, non sur la trame directement. On "déplace" un bâtiment sur un plan afin de lui trouver une situation mieux appropriée ; on déplace subséquemment les trames qu'il contient.
- La modification globale de la valeur du pas de trame. Un immeuble peut voir son pas de trame passer de 5,80m à 5,70m. Cette modification s'exerce sur toute la trame.
- La subdivision régulière d'une trame, ou d'un intervalle de la trame. Lorsque l'on ne désire pas faire de découpe de carreaux dans un pièce rectangulaire, on s'arrange pour que les dimensions de celle-ci soient des multiples de celles des carreaux. Cette opération en cache deux : dans la première, c'est l'intervalle élémentaire (longueur de l'objet par exemple) qu'on multiplie pour parvenir à une longueur totale (comme dans notre exemple), soit à l'inverse c'est la longueur totale qui détermine la dimension de l'intervalle élémentaire.
- La subdivision irrégulière, le partage en deux parties inégales par exemple. Même remarque que sur l'opération précédente quant à la double origine possible de cette opération.
- La modification d'un seul pas de trame. Lorsque l'on désire augmenter la surface d'un espace compris par une travée, on peut augmenter le pas de cette travée, sans affecter les travées voisines.
- Si cette modification est compensée par la travée voisine, ce qui correspond au niveau du signifiant à un déplacement de l'axe contigu sans altération de la dimension globale de la trame, on a affaire à une nouvelle opération.
- L'ajout ou la suppression d'un intervalle. Tel est le cas par exemple pour des joints de dilatation qui viennent s'intercaler dans une trame comme une travée (de petite dimension).
- Le calepinage, ou le remplissage d'un grand intervalle à partir d'un intervalle plus petit. Différent de la subdivision du fait que cette dernière divise régulièrement l'intervalle par une valeur entière, tandis que le calepinage n'opère pas par division arithmétique mais par recomposition à partir d'un petit intervalle, la largeur d'un carreau par exemple, dans un intervalle plus grand, la longueur d'une pièce. Autre différence, le calepinage admet des découpes, des restes non entiers.

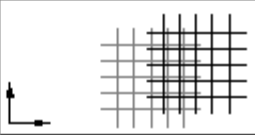
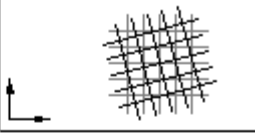
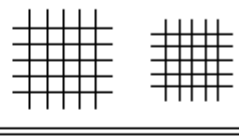
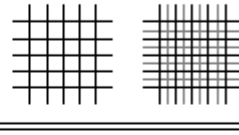
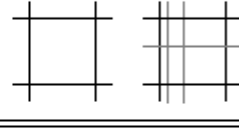
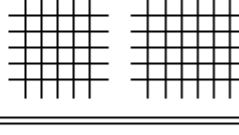
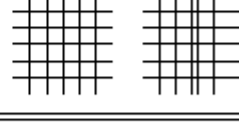
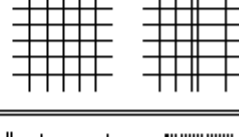
OPÉRATIONS SUR LES OBJETS

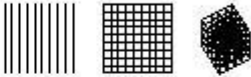
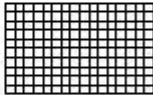
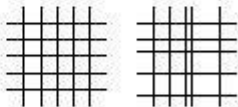
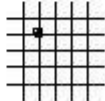
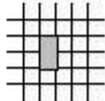
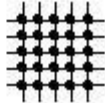
- L'attachement d'un objet à une trame se produit de deux façons : le positionnement et le dimensionnement sont les principales opérations sur les objets. C'est par ce biais que sont abordés et résolus les problèmes de coordination dimensionnelle.

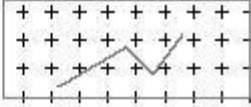
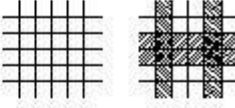
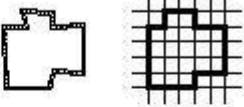
La répétition d'un objet sur une trame. Un poteau répété abandonne sa valeur d'unicité au profit d'un système ; il est pensé en fonction de ce système, capable de se situer en plusieurs endroits à la fois. Corollaire de cette opération, la particularisation redonne à

l'objet répété sa valeur d'unicité en le différenciant des autres objets. Il passe de l'état d'identique à l'état de similaire aux objets répétés.

Sur les pages suivantes, trois tableaux récapitulatifs ; les deux premiers sur les opérations générales et les opérations sur les objets (1 à 13), le dernier réservé aux opérations de manipulations (1 à 10).

1	Déplacement global de la trame par translation.	
2	Déplacement global de la trame par rotation.	
3	Modification globale de la valeur de pas d'une trame.	
4	Subdivision régulière de la trame. Multiplication d'un module.	
5	Subdivision irrégulière de la trame. Recomposition d'une trame par juxtaposition d'intervalles indépendants.	
6	Ajout d'un ou plusieurs intervalles supplémentaires dans la trame. Suppression d'un ou plusieurs intervalles.	
7	Modification de la valeur d'un seul pas de la trame.	
8	Déplacement d'un axe de la trame. L'augmentation d'un pas correspond à la diminution de l'autre; la trame ne change pas de dimension.	
9	Remplissage d'une travée à l'aide d'un module.	
10	Placement d'une travée en utilisant un module donné: - en le positionnant au centre de la travée. - en en positionnant n'importe où dans la travée.	

1	Les dimensions d'une trame sont informées par des facteurs pris en compte ou non par l'architecte .	- économie du projet - nature du programme - techniques courantes - situation urbaine - composition des espaces - etc...
2	La trame remplit toujours au moins une fonction. Son échelle opérationnelle en résulte. On parlera de macrotrame pour une trame à l'échelle d'un bâtiment (généralement la structure), de microtrame pour une trame à l'échelle d'un élément (par exemple, le calepinage).	- structure - organisation des espaces - composition de surfaces - etc...
3	Les dimensions d'une trame sont définies précisément pour chaque projet.	trame relative à : - l'utilisation d'un produit - l'utilisation d'un espace - etc...
4	Nombre de dimensions de la trame. Trames monodirectionnelles Trames bidirectionnelles Trames tridirectionnelles	
5	Configuration de la trame. Trames rectangulaires. Trames polaires. Trames triangulaires.	
6	Échelle opératoire. Niveau de trame. Macrotrame et microtrame. Hiérarchie des trames.	
7	Manipulation des axes, des intervalles de la trame. Répercussion sur les objets assujettis.	
8	Positionnement d'un élément.	
9	Dimensionnement d'un élément	
10	Répétition d'un élément le long d'une trame. Particularisation d'un élément répété dans une trame.	

11	Rapport dromique de la trame avec d'autres tracés.	
12	Jeu combinatoire. Alternance. Attribution de valeurs: plein/vide, long/court.	
13	Tramage: - retrouver une trame dans un existant. - astreindre des éléments projetés à une trame.	
14	Superpositions de trames. Raccord de trames.	
15		
16		
17		
18		
19		
20		

DÉFINITION DE CONCEPTS

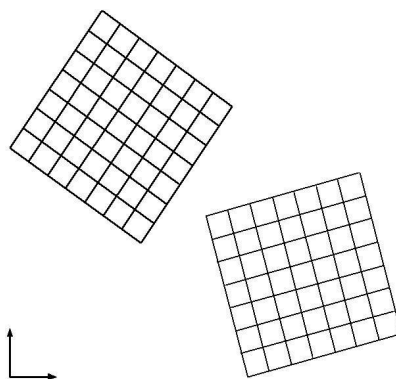
Afin d'établir une interface entre la pensée de l'architecte et la représentation de la trame sur machine, il est nécessaire de mettre à jour un certain nombre de concepts opératoires. Cet ensemble de concepts forme un modèle logique à partir duquel nous sommes capable de construire un modèle informatique.

LANGAGE DE TRAMES

Il nous faut inventer les mots et les règles de grammaire pour décrire les trames et les relire, comme nous le ferions d'une phrase écrite. Comme nous allons le voir, notre langage de trames se fonde sur la notion d'intervalle — nous ne prenons pas à dessein la notion trop restrictive de travée — c'est-à-dire l'espace compris par deux axes de la trame. Nous repérons deux caractéristiques essentielles de l'intervalle : d'une part sa description numérique, sa dimension métrique qui joue le rôle du mot dans la phrase, et d'autre part la contiguïté et la succession des intervalles dans une trame, c'est l'ordre d'enchaînement qui jouera le rôle de syntaxe.

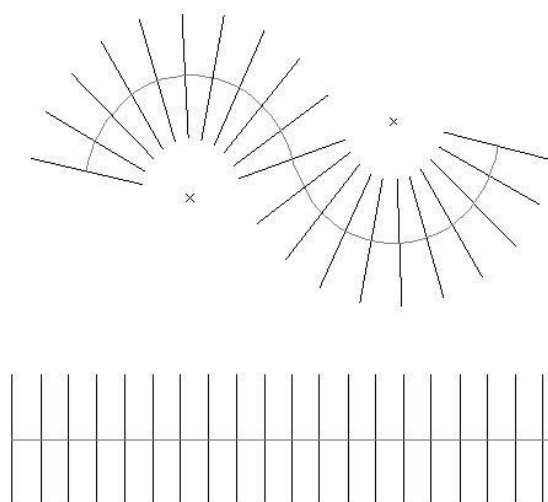
TRAME

Nous pouvons déplacer une trame, la faire tourner, sans en modifier la configuration. Cette remarque nous permet de distinguer la trame située dans l'espace (architectural ou géométrique) de la trame non située, identiques du point de vue de leur structure dimensionnelle.



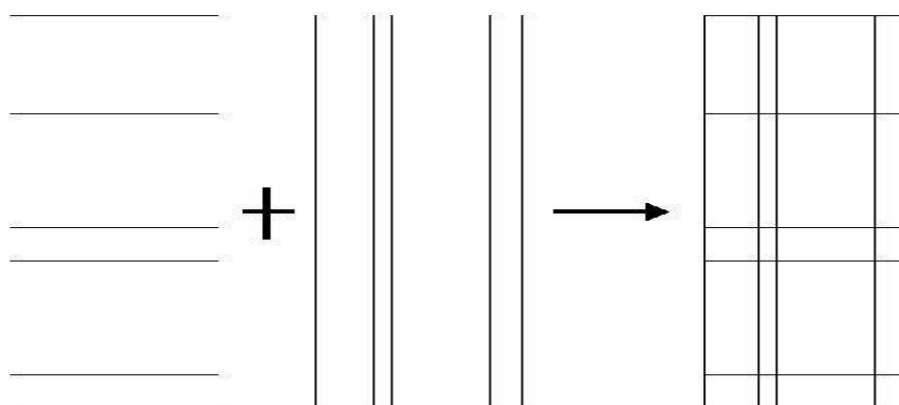
Exemple de trames identiques différant dans leur position et orientation.

Ce qui peut être aussi le cas de deux trames monodirectionnelles dont l'une est rectiligne et l'autre sinueuse. En fait, seules les premières méritent l'appellation de trames, les secondes ont bien plus à voir avec le concept de règle détaillé ci-après.



*Exemple de trames dont la structure dimensionnelle est identique
mais dont les formes diffèrent.*

Nous avons rencontré des trames à une ou plusieurs dimensions. Pour éviter que les concepts ne se multiplient pour prendre en compte la diversité de ces cas — ce qui en réduirait d'autant l'efficacité — nous posons que la trame fondamentale est la trame monodirectionnelle et que la trame bidirectionnelle est l'association de deux trames monodirectionnelles, etc.

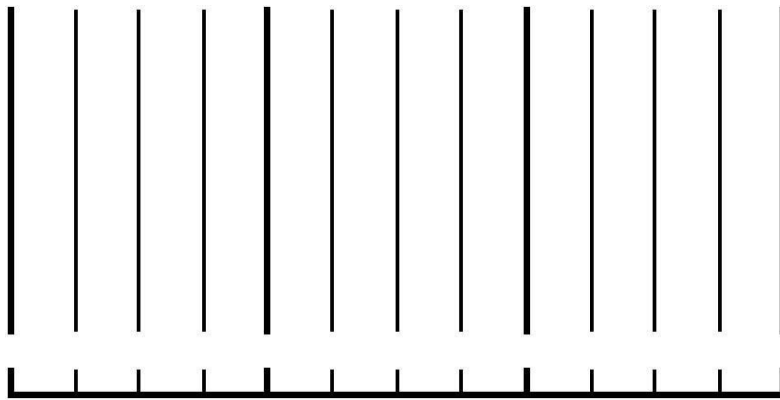


Exemples d'association de trames monodirectionnelles.

RÈGLE (DE TRAME)

La *règle* contient la structure logique et dimensionnelle de la trame. Toute trame obéit à au moins une règle. Elle n'est donc pas physiquement située. Elle ne donne pas non plus de forme à la trame ; nous avons vu qu'une trame est avec la même structure dimensionnelle soit rectiligne, soit curviligne.

Parce que les trames ne sont pas toutes sur un seul niveau, parce qu'elles comportent parfois des niveaux superposés de subdivision, nous avons reproduit cet aspect de profondeur par la hiérarchisation des règles. D'un certain point de vue, une trame est composée de trames plus petites, chacune d'elles pouvant à son tour être composée de trames encore plus petites. C'est à partir de cette vision des choses que nous élaborons notre modèle.



Trame à deux niveaux.

La structure dimensionnelle est hiérarchique ; les règles s’imbriquent les unes dans les autres. Ce qui nous permet de distinguer maintenant les règles mères des règles filles, les règles qui contiennent de celles qui sont contenues, ainsi que les règles racines des règles terminales, les règles qui ne possèdent pas de mères des règles qui ne possèdent pas de filles. Par ailleurs, rien n’empêche une règle fille d’avoir plusieurs mères. Nous reviendrons sur ce point par la suite.

RÈGLE SÉQUENTIELLE

Un *règle séquentielle* ou *séquence* est représentée par une suite de valeurs dimensionnelles. Elle comporte un ordre de lecture. Les dimensions qui la composent sont a priori indépendantes. Une règle séquentielle est toujours une règle mère.

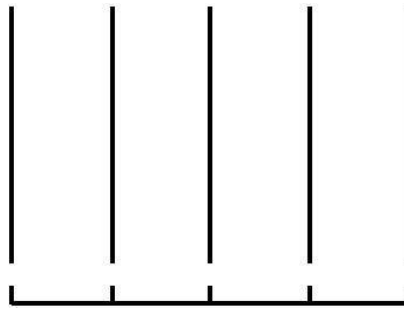
Dans la figure suivante sont représentées une trame par ses axes et la règle séquentielle qui lui correspond.



Règle séquentielle.

RÈGLE MULTIPLICATIVE

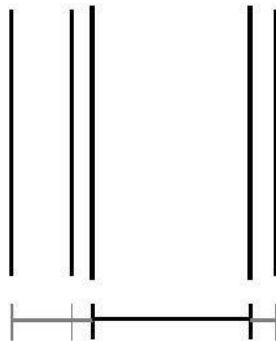
La *règle multiplicative*, comme son nom l’indique, reproduit un nombre entier de fois une dimension. Cette règle est donc caractérisée par une dimension et un facteur de multiplication, ce qui la différencie d’une règle séquentielle dont toutes les dimensions sont égales mais qui ne comporte pas le principe générateur de la répétition. Une règle multiplicative est toujours une règle mère.



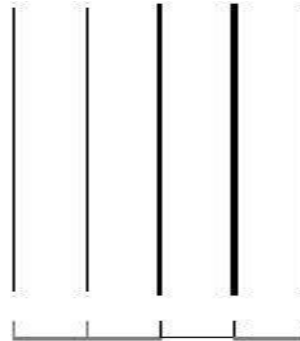
Règle multiplicative.

RÈGLE ÉLÉMENTAIRE

La règle dite *élémentaire* est la brique de base de l'édifice des règles. Par rapport à la structuration hiérarchique, elle est la règle terminal, celle qui ne donne naissance à aucune fille. Une règle élémentaire est toujours une règle fille.



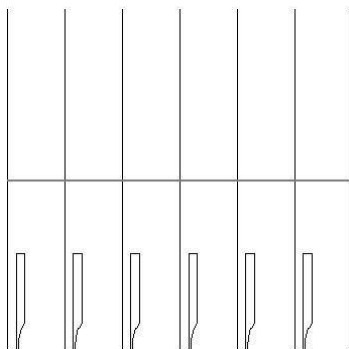
Règle élémentaire dans une séquence.



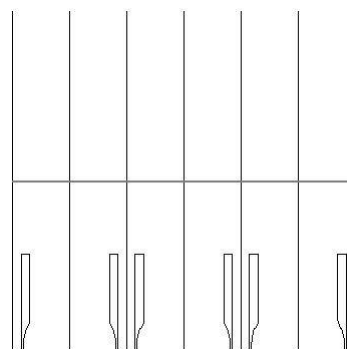
Règle élémentaire dans une règle répétitive.

RÈGLE SYMÉTRIQUE

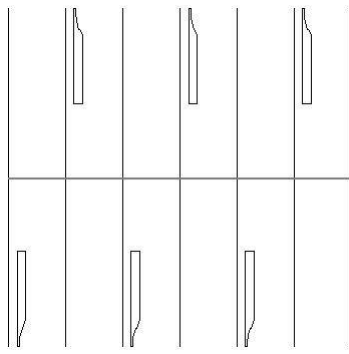
La symétrie étant souvent associée au travail de la trame, il a été jugé utile d'adjoindre les *règles symétriques* selon trois modes différents : une symétrie s'exerçant parallèlement aux axes de la trame, une symétrie perpendiculaire à ces axes, et une symétrie centrale combinant les deux symétries précédentes.



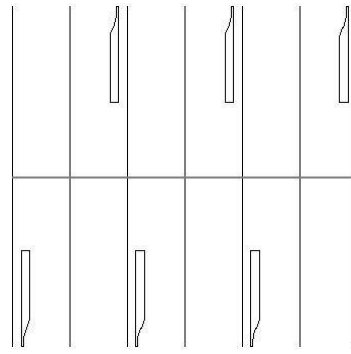
Absence de symétrie.



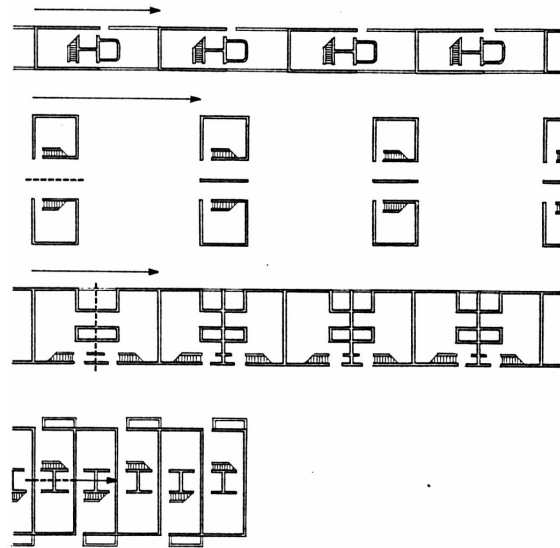
Symétrie para-axiale.



Symétrie ortho-axiale.



Double symétrie.



Pessac., exemples de logements.

Le Corbusier.

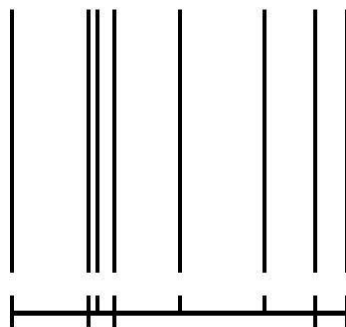
in *Geometry of environment*. Lionel March, Philip Steadman.

Différentes transformations mathématiques (symétries) opérées sur des logements.

RÈGLE SUPERPOSÉE

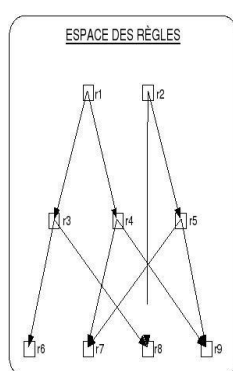
Il arrive que plusieurs trames se superposent. Sont simultanément visibles par exemple un découpage en quatre parties égales et un découpage en trois parties inégales. C'est la première fonction de de la *règle superposée*. Si maintenant on désire étudier plusieurs hypothèses de règles, on peut recourir également à cette règle superposée.

La règle superposée accepte deux règles quelconques *de même dimension*. C'est d'ailleurs elle qui communique ses dimensions à ses filles. Il est possible « d'activer ou désactiver » chacune des règles-filles à l'affichage.

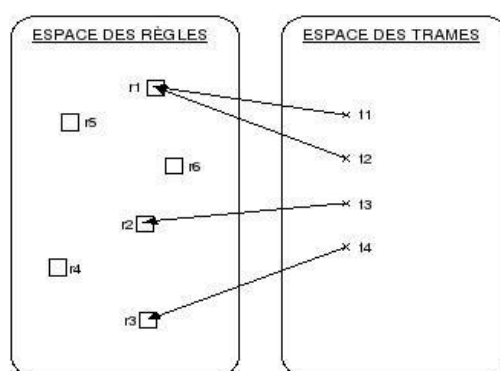


ESPACE DE RÈGLES ET ESPACE DE TRAMES

Les règles sont regroupées dans un ensemble de règles appelé espace de règles. Les opérations générales sont des opérations qui vont agir sur cette ensemble. Chaque règle possède quatre constituants : un identifiant, un type, des attributs dimensionnels et éventuellement des arguments. L'identifiant, ou numéro de référence, sert à désigner une règle. Son type (élémentaire, séquentielle,...) établit la nature de la règle et donne un sens aux arguments qui suivent. Les attributs dimensionnels se divisent en trois : deux valeurs numériques et une formule arithmétique. Les valeurs numériques représentent une dimension synthétisée et une dimension héritée ; elles sont calculées à partir de la structure arborescente de la règle ; la formule arithmétique représente la mesure. De ces trois attributs, pour éviter les incohérences, il n'y en a qu'un seul d'actif à un moment donné : soit la mesure, soit la dimension héritée, soit la dimension synthétisée.



Représentation de l'espace de règles



Relation entre l'espace de trames et l'espace de règle

MESURE

Notion à part, la *mesure* est une dimension ayant une pertinence appréciée par l'architecte. Elle peut être absolue, une distance comme l'espacement entre deux bâtiments existants, une norme, etc. ; ou bien relative, c'est-à-dire se référant à d'autres mesures.

Toutes les règles ont une dimension ; il se peut dans certains cas que cette dimension devienne une mesure. La différence que nous verrons entre la dimension et la mesure est que la première est gérée par le programme tandis que la seconde est contrôlée par l'utilisateur.

Les mesures appartiennent à un espace de mesures. La règle ne contient pas la mesure elle-même, mais une référence à cette mesure. Ce qui permet le partage d'une mesure entre plusieurs règles. Ceci est intéressant dans le cas d'une trame carrée où la règle para-axiale et la règle ortho-axiale doivent partager une mesure identique, sans quoi la modification de l'une n'entraînerait pas la modification de l'autre.

CONTRAINTES DIMENSIONNELLES

La détermination des mesures est loin d'être libre. La largeur d'une parcelle est une donnée incontournable pour l'architecte : cette largeur devient pour lui une mesure à partir de laquelle il va opérer une partition de l'espace. À l'opposé de ces dimensions *fixes* sont les dimensions *flottantes*, c'est-à-dire encadrées par une ou deux valeurs (une borne supérieure et/ou une borne inférieure). La largeur d'un couloir doit faciliter le passage,

c'est-à-dire être suffisamment large ; en même temps, elle ne doit pas être trop grande pour laisser aux pièces contiguës le maximum d'espace. Cet exemple, en plus d'illustrer l'intervalle dimensionnel d'une mesure, montre l'interdépendance des mesures.

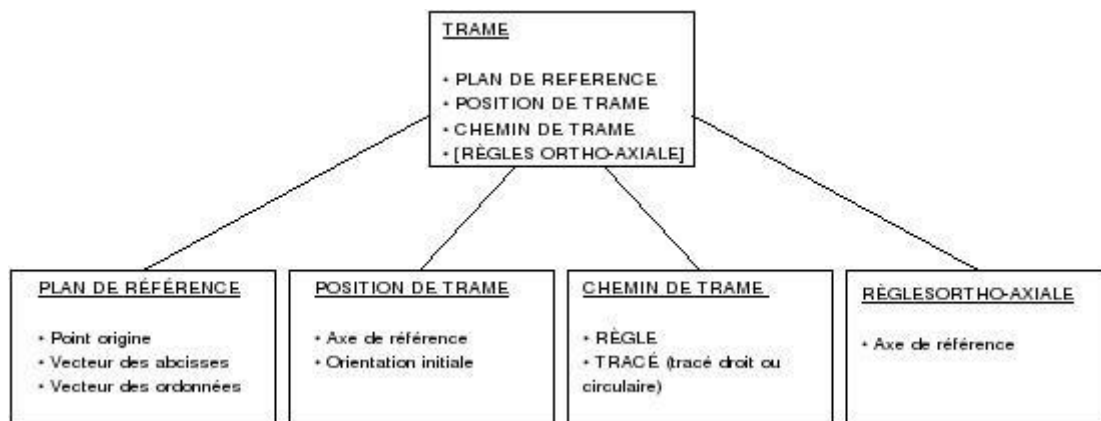
Une autre contrainte à l'intérieur d'un intervalle dimensionnel est la contrainte de *modulo*. Les divisions, les découpage des trames sont susceptibles d'entraîner des dimensions d'une précision absurde, ou des dimensions incompatible avec un module de construction. La contrainte de modulo, agissant comme une division de trame, rend discontinu l'échelonnement des dimensions possibles.

REMARQUES SUR LE MODÈLE PROPOSÉ

Les trames architecturales se développent sur un plan. Nous aurions pu en l'occurrence donner à la trame un modèle géométrique capable de “remplir” un plan selon deux vecteurs de propagation. Cependant, et pour des raisons évoquées à propos de la géométrie des trames architecturales (voir aussi le problème particulier du calepinage), nous avons préféré un modèle logique de trame fondé sur la linéarité, sans doute plus adaptée à la pratique architecturale. Les trames monodirectionnelles ainsi fabriquées ne sont pas de fausses trames bidirectionnelles privées d'une de leur dimension.

La trame triangulaire, résultat du croisement de trois trames monodirectionnelles, est en réalité représentable par une trame bidirectionnelle. Dans un plan en effet, seules deux coordonnées suffisent à désigner un nœud de la trame sans ambiguïté. Une des trames est donc inutile.

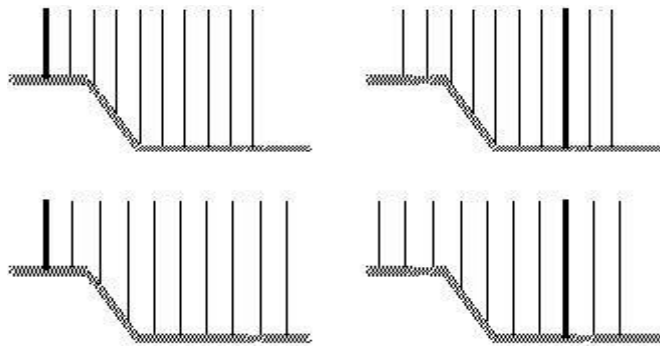
SUR LES TRAMES INFORMATIQUES



Représentation logique de la trame.

AXE DE RÉFÉRENCE

Lorsque une trame est modifiée dans sa dimension globale, ce qui du reste peut être le résultat de la modification d'un seul de ses intervalles, alors les objets qui lui sont attachés changent de position. Lorsque la trame est elle-même positionnée dans un environnement, il devient nécessaire de connaître à l'avance depuis quel point se propage les modifications. C'est le rôle de l'axe de référence qui est le seul axe assuré de ne pas voir sa position changer après une modification dimensionnelle. Bien sûr, cet axe de référence peut varier au cours de la conception et il est nécessaire de prévoir une opération sur la trame pour substituer un axe à un autre.



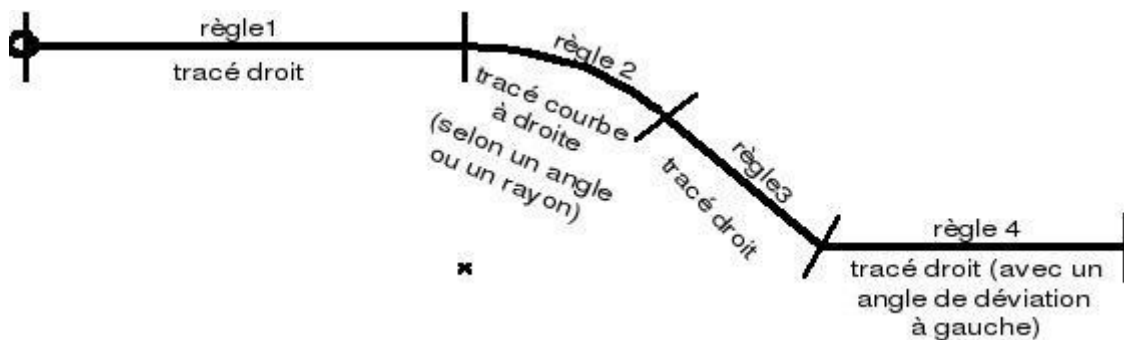
L'axe de référence détermine la propagation des modifications.

CHEMIN DE TRAME

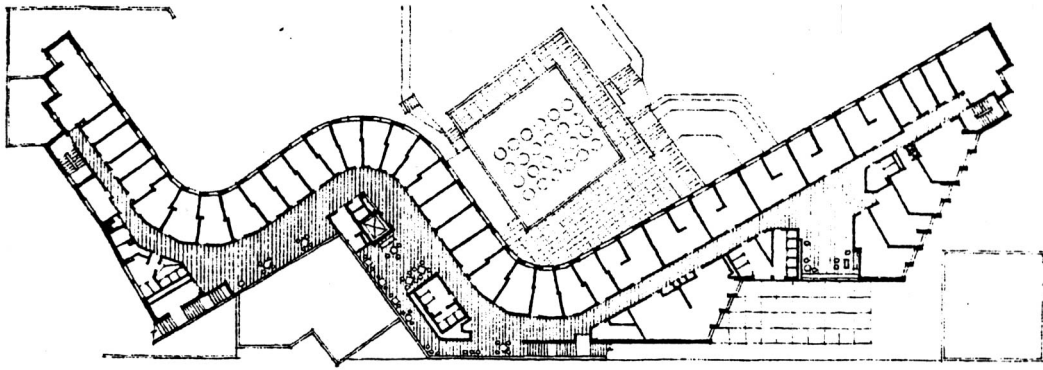
Notre trame logique de base est une trame linéaire mono ou bidirectionnelle. Elle suit un *chemin* qui est rectiligne ou sinueux. Ce chemin de la trame est bien sûr défini et modifiable à n'importe quel moment de la conception. Il se compose de *tronçons*, parties élémentaires du chemin caractérisés par un tracé et une règle racine. C'est la règle racine qui donne au tronçon sa longueur, pas l'inverse. Ainsi les modifications dimensionnelles de cette règle modifient sans intervention de l'utilisateur la longueur du tracé. Nous avons limité les formes possibles des tronçons à la droite et à l'arc de cercle, pour des questions de facilité de manipulation. Ce sont en outre celles qui sont les plus employées par les architectes.

- Le *tracé droit* contraint la trame à être rectiligne sur la longueur de la règle spécifiée. Lorsque ce tracé suit un autre tracé alors on peut désirer une variation de l'angle de la trame. Cet angle paramétrable est appelé *angle de déviation* du tronçon. Il est formé par la direction du tracé précédent avec le tracé courant.
- Le tracé circulaire demande davantage d'informations. Premièrement, la direction de déviation (à gauche ou à droite par rapport à la direction du chemin). Ensuite, deux spécifications sont possibles : soit le rayon du cercle, soit l'angle de déviation quelque peu différent de celui utilisé par le tracé droit (angle formé par la direction du tracé courant avec la tracé suivant, s'il existe). Si le rayon est spécifié, l'angle est déterminé automatiquement ou inversement l'angle de déviation détermine le rayon de courbure. Ici comme dans le cas du tracé droit, la longueur du tracé est celle de la règle attachée au tronçon.

Le chemin de trame possède une représentation graphique propre.



Exemple de chemin de trame.



Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, 1948.

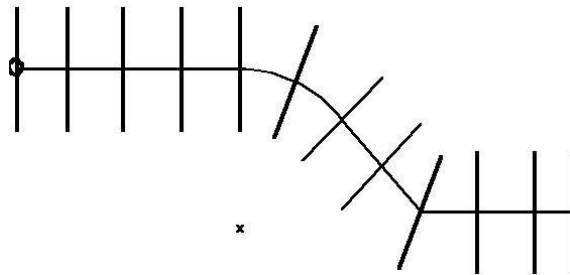
Alvar Aalto.

Le dortoir présente une façade alternant des parties droites avec des parties arrondies.

Les chambres d'étudiants suivent ce mouvement sinueux de manière régulière.

AXES DE TRAME

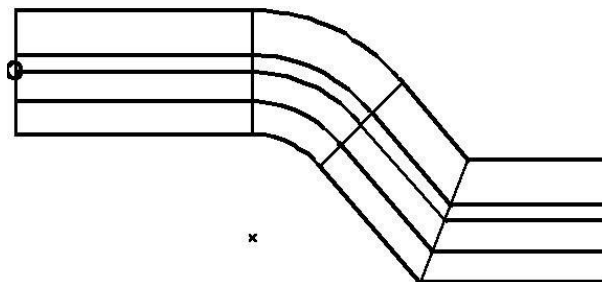
Les axes de la trame sont déterminés par les règles racines qui constituent la trame. L'utilisateur choisit la profondeur représentée des règles (donc des trames). Lorsque plusieurs niveaux hiérarchiques se superposent, un indice (qui reste à déterminer) permet d'éviter la confusion.



Travée suivant un chemin.

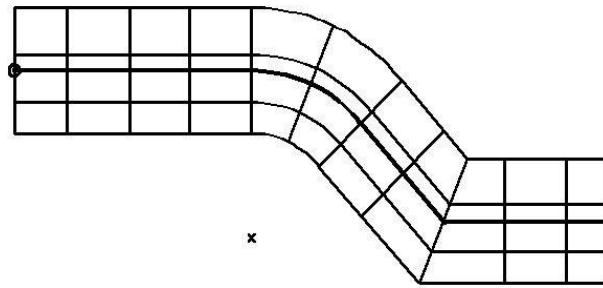
RÈGLE ORTHO-AXIALE

Les axes ortho-axiaux sont l'équivalent du fil de chaîne de la trame textile. Elles sont facultatives dans la définition d'une trame. Elles mettent à profit l'orthogonalité induite par le chemin de trame linéaire et permettent à peu de frais de constituer une trame bidirectionnelle. Ces axes qui suivent le chemin de trame ont comme les autres un référent. Des opérations permettent de le définir et de le changer si nécessaire.



Lignes ortho-axiales suivant un chemin.

Il est clair maintenant que la réunion des représentations graphiques du chemin de trame, des axes courants et des axes ortho-axiaux donne la représentation complète de notre trame.



Trame complète : chemin, axes courants, axes ortho-axiaux.

CONCLUSION

Il ne rentrait pas dans notre objectif de donner une réponse définitive sur la manière de traiter les trames architecturales d'un point de vue informatique. La raison en est moins la modestie affichée de notre étude que l'impossibilité d'apporter une réponse qui recueillerait l'assentiment général des architectes.

Notre premier souci a été de s'imprégner du concept de trame, de le cerner au travers de discours et d'exemples. Si nous faisons le point sur ce travail, nous nous apercevons que ce qui divise les architectes sur cette question tient essentiellement à deux problèmes :

- le premier est le confinement de la trame à une fonction déterminée ; l'exemple le plus flagrant est la difficulté à admettre qu'une trame puisse ne pas jouer un rôle structurel. Ce confinement se déplace ensuite vers d'autres considérations comme la taille par exemple ; là encore un exemple courant est la réticence à "voir" une trame dans un carrelage.
- le second est relatif à la régularité géométrique présumée de la trame. Nombreux sont les exemples de trames géométriques, mais comment appeler les trames dans lesquelles sont introduites une irrégularité? Nous avons opté pour une vision large des trames qui réunirait ces trames régulières et irrégulières, entendu que ces deux types partagent des principes fondamentaux.

Ces deux clivages ont été pris en compte, et d'une certaine manière absorbés dans notre modèle logique. Nous prétendons avoir élaboré un modèle opératoire de la trame qui rend compte de bon nombre de situations. On pourra objecter d'un côté que notre modèle n'est pas propre à la trame architecturale, qu'en la dépassant, il perd de son efficacité. Nous avons deux réponses à opposer à cette critique. L'objectif était d'abord d'approfondir un sujet jusque là presque inexploré. En voie de conséquence, il nous fallait prendre en compte un maximum de paramètres au risque de perdre en simplicité. Nous soutenons qu'un modèle réellement opérationnel, s'il devait déboucher sur une application utilisable, pourrait s'appuyer sur le modèle ici conçu. En second lieu, la trame est avant tout un type d'organisation utile bien sûr à l'architecture mais "exportable" à d'autres champs d'application. La trame n'est architecturale que parce qu'elle dispose des objets d'architecture. Il est donc normal que notre modèle puisse s'appliquer par exemple à une mise en page graphique où se posent des problèmes de dimensionnement analogues à ceux posés en architecture.

Il est sans doute osé d'avancer les intérêts de notre modèle en l'absence de toute expérimentation dans une situation réelle de conception. Cependant, il y a trois points sur lesquels notre modèle propose une approche originale par rapport aux modèles courants de logiciels de C.A.O. :

- Des formes complexes de trames sont possibles. Nous gageons que la structuration hiérarchique des trames, l'uniformité et la variation mêlées dans une seule notion, et la distinction de la *règle* et de la *trame* sont adaptés à l'approche architecturale.
- Il existe une interaction entre la trame et les objets qu'elles supportent. La modification partielle de la trame peut entraîner des changements de positionnement ou de dimensionnement des objets. À l'inverse, toute modification opérée sur les objets est

susceptible de remettre en cause la trame qui les porte.

- Nous avons démontré la puissance d'assistance de la trame dans les problèmes de coordination dimensionnelle. Aussi, nous avons trouvé avec la machine un support à un outil capable de proposer des solutions lors d'un redimensionnement. C'est sur ce point, sans doute le plus prometteur, que nous plaçons l'intérêt principal de notre modèle.

Nous pouvons espérer voir naître des logiciels de C.A.O. qui se poseront comme assistants à la conception. Dans tous les cas, il ne s'agira jamais pour l'architecte de déléguer son travail à la machine. Le métier d'architecte n'a rien à craindre d'une plus grande implication de l'informatique ; au contraire, il a tout à y gagné en rapidité et en qualité de travail.

BIBLIOGRAPHIE

La présentation des références ci-après obéit à cette règle : elles débutent ou non, selon qu'elle sont employées, par un code placé entre crochets auquel font référence les extraits insérés dans l'exposé. Viennent ensuite le nom de l'auteur, le titre du document, le nom de l'éditeur et l'année de parution. Éventuellement, un numéro entre parenthèses correspondant à la cote d'enregistrement à l'École d'Architecture de Nancy complète cette description.

Ces références ont été regroupées par thèmes.

CONCEPTION

- [ALE64] Christopher ALEXANDER, *De la synthèse de la forme, essai*, éd. Dunod, Paris, 1964. (1/0756)
- [BIG97] Jean-Claude BIGNON, *La trame, un assistant à la conception technique* in Les Cahiers de la Recherche Architecturale, Imaginaire technique, éditions Parenthèses, 1997.
- [BOU81] Pierre BOULEZ, *Points de repère, Textes réunis et présentés par Jean-Jacques Nattiez*, Éd. du Seuil, 1981.
- [BOU94] Philippe BOUDON, Philippe DESHAYES, Frédéric POUSIN, Françoise SCHATZ, *Enseigner la conception architecturale, cours d'architecturologie*, Les Éditions de la Villette, Paris, 1994. (1/7828]
- [CON95] Michel CONAN, *Concevoir un projet d'architecture*, édition L'Harmattan, Paris. (1/7557)
- [HAM79] Bernard HAMBURGER, Jean-Claude PAUL, Alain THIEBAUT, *Dimensionnements, École Nationale Supérieure des Beaux-Arts, Centre d'Études et de Recherches Architecturales*, Paris, 1979. (3/1592)
- [LEB83] Jean-Charles LEBAHAR, *Le dessin d'architecte, Simulation graphique et réduction d'incertitude*, Éd. Parenthèses, Roquevaire, 1983. (1/4570)
- [PRO82] Robert PROST, *Conception architecturale, une investigation méthodologique*, édition l'Harmattan, Paris, 1982. (1/7040)
- [ZEI77] Jean ZEITOUN, *Trames planes*, Éd. Dunod, Paris, 1977. (1/2688)
- Jean-Pierre EPRON, *L'architecture et la règle, Essai d'une théorie des doctrines architecturales*, Architecture+Recherches/Pierre Mardaga éditeur, Bruxelles, 1981. (1/3853)
- Bernard HAMBURGER, Jean-Louis VENARD, *Partition et infléchissement, Essai sur le découpage dans la conception de l'urbanisme*, AREA, janvier 1977. (3/2981)
- Alain FAREL, *Architecture et complexité, le troisième labyrinthe*, les éditions de la passion, Montreuil/Bois, 1991.(1/6778)
- Christopher ALEXANDER, *La ville n'est pas un arbre* in Techniques et Architecture, n°1. 1968.

ESTHÉTIQUE ET COMPOSITION

- [ARG58] Giulio Carlo ARGAN, *Module-mesure et module-objet* in *Projet et destin ; art, architecture, urbanisme*, (1958), Les Éditions de la Passion, 1993.
- [BOR54] M. BORISSAVLIÉVITCH, *Traité d'esthétique scientifique de l'architecture*, Paris, 1954.

(1/0542)

- [DEL80] Gilles DELEUZE, Félix GUATTARI, *Le lisse et le strié* in Mille plateaux, Les Éditions de Minuit, Paris, 1980. (1/4106)
- [DIC92] Jean de VIGAN, *Dicobat*, dictionnaire général du bâtiment, éditions Arcature, Ris-Orangis, 1992.
- [DURxx] J.N.L. DURAND, *Précis des leçons d'architecture données à l'École Royale Polytechnique*, Paris, 1817. (1/2032)
- [GHY38] Matila C. GHYKA, *Essai sur le rythme*, éditions Gallimard, 1938. (1/0276)
- [KEP68] Gyorgy KEPES (sous la direction de), *Module, Proportion, Symétrie, Rythme*, La connaissance, Bruxelles, 1968. (1/0018)
- [KRA93] Rosalind KRAUSS, *Les grilles* in *L'originalité de l'avant-garde et autres mythes modernes*, Éd. Macula, Paris, 1993.
- [LEC50] Le CORBUSIER, *Modulor, Essai sur une mesure harmonique à l'échelle humaine applicable universellement à l'architecture et à la mécanique*, Éd. de l'Architecture d'Aujourd'hui, Paris, 1950. (1/0063)
- [LUR55] André LURÇAT, *Formes, composition et lois d'harmonie 4, Éléments d'une science de l'esthétique architecturale*, éditions Vincent, Fréal & Cie, Paris, 1955. (1/0529)
- [MES82] Henri MESCHONNIC, *Critique du rythme, anthropologie historique du langage*, éditions Verdier, Lagrasse, 1982. (1/4078)
- [PAS82] René PASSERON (sous la direction de), *Création et répétition*, Groupes de recherches esthétiques du C.N.R.S., Éditions Clancier-Guénaud, Paris, 1982.
- [POI95] Poïesis, n°2. janvier 1995, *La proportion et la composition*.
- [VITxx] VITRUVÉ, *Les Dix Livres d'Architecture*, Traduction intégrale de Charles Perrault, 1673, Éd. Balland, Paris, 1986. (1/0014)
- [VOL68] Andreas VOLWAHSEN, *Inde, bouddhique, hindoue et jaïna*, (préface de Walter Henn), coll. Architecture universelle, Office du Livre, Fribourg, 1968.
- Françoise DIVORNE, Bernard GENDRE, Bruno LAVERNE, Philippe PANERAI, *Essai sur la régularité, Les Bastides d'Aquitaine, du Bas-Languedoc et du Béarn*, AAM éditions, Bruxelles, 1985. (1/5244)
- Jacques GUILLERME, Philippe BOUDON, article "*Proportion*" in Encyclopedia Universalis.
- Alexandre SIMONIS, *Trame et architecture construite*, T.P.F.E. 1990, École d'Architecture de Nancy. (5/0797)
- Le carré bleu, n°1. 1958, *Morphologie de l'expression plastique*.
- Le carré bleu, n°1. 1974, *Environnement et comportement*.
- Walter NETSCH, *Géométrie spatiale comme auxiliaire de composition et de construction* in *Bauen + Wohnen*, n°10. octobre 1974. pp 402-408.
- M. DUPLAY (et ses étudiants dans le cadre de l'équipe pluri-disciplinaire de Studio 3), *Méthodologie de la forme architecturale* in *Le carré bleu*, n°3. 1976, .

DESSIN ET GÉOMÉTRIE

- [BOU88] Philippe BOUDON, Frédéric POUSIN, *Figures de la conception architecturale, Manuel de figuration graphique*, éd. Dunod, Paris, 1988. (1/6028)
- [CHIxx] Francis D.K. CHING, *Architectural graphics*.

- [CHI43] Francis D.K. CHING, *Architecture : form, space, and order*, Van Nostrand Reinhold Staff.
- [MAR71] Lionel MARCH, Philip STEADMAN, *The geometry of environment, An introduction to spatial organization in design*, RIBA Publications Limited, London, 1971. (1/0962)
- [MIM83] Marc MIMRAM, *Structures et formes, Étude appliquée à l'œuvre de Robert Le Ricolais*, Éd. Dunod, Paris, 1983. (1/4536)
- [TOP79] Topologie structurale, n°1, 1979.
- L. Fejes TOTH, *International Series of Monographs in Pure and Applied Mathematics, Regular Figures*, Pergamon Press, Budapest, 1964.

COORDINATION DIMENSIONNELLE

- [AAU96] *Le logement, une histoire française* in *Architecture d'Aujourd'hui*, n°303, février 1996, pp 75-95.
- [CRO71] Alan E. CROCKER, *Module and metric, The theory and practice of dimensional co-ordination in metric*, Pall Mall Press, London, 1971. (1/1398)
- [GIR74] Édith GIRARD, Patrick GERME, Nicolas SOULIER, *Enfin libre et soumis* in *Architecture d'Aujourd'hui*, n°174, juillet-août 1974. pp 10-17.
- Ernest NEUFERT, *La coordination dimensionnelle dans la construction*, Éd. Dunod, Paris, 1967.
- Nikolaas J. HABRAKEN, *Dossier SAR* in *Techniques et Architecture*, n°311. novembre 1976.
- M. PRÉVERT, *Recherche d'un élément modulaire* in *Techniques et Architecture*, n°292 p.58.
- H.P. MAILLARD, *Le langage constructible* in *Techniques et Architecture*, n°306 p.93.
1. principes et expérimentations, 2. systèmes constructifs et composants in *Techniques et Architecture*, n°327-328, novembre 1979.
- Association Construction et Composants. La pratique de la coordination dimensionnelle. Les Conventions... pourquoi?... comment ? Document 2, Éd. Moniteur, Paris, 1979.
- Industrialisation ouverte et changements de direction en plan* in *Les cahiers de l'adri*, recherche architecturale et urbaine, fin 1980.
- Bernard HAMBURGER, article "Industrialisation dans le bâtiment" in *Encyclopedia Universalis*, .

INFORMATIQUE

- [CAA93] Philippe BOUDON, Philippe DESHAYES, Frédéric POUSIN, Françoise SCHATZ, Conception Architecturale Architecturologiquement Assistée par Ordinateur, C3AO Rapport final, Architecturologie et informatique, LAREA ua CNRS 1262, École d'Architecture de Nancy. Bureau de la Recherche Architecturale, 1993. (3/3761)
- [LOT95] Jérôme LOTZ, *Surf : logiciel d'assistance au calepinage surfacique*, T.P.F.E. 1995, École d'Architecture de Nancy.
- William J. MITCHELL, *The logic of architecture, Design, computation, and cognition*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1990.
- Mark D. GROSS, *Why can't CAD be more like Lego ? CKB, a program for building construction kits* in *Automation in Construction*, n°5. 1996.
- Giuseppe PELLITERI, *A tool for a first analysis of architectural façades*, *Automation in*

Construction, n°5. 1997.

ANNEXES

SIMULATION

L'objectif de cette partie est d'opérer une expérimentation de notre modèle sur un projet d'architecte où la question des trames est particulièrement présente. Nous comptons sur le fait que le réalisme d'une telle situation nous donne des preuves de la validité du modèle ou, le cas échéant, de son inadaptation. Nous avons pour cela choisi un projet, non en vertu de ses qualités architecturales — nous nous situons du côté de l'analyse et non du côté de la critique — mais pour la diversité que nous y trouvons dans l'utilisation des trames. Le projet en question est un ensemble de deux immeubles résidentiels pour les étudiants de " l'Institut Polytechnique de Coimbra " par l'architecte portugais Gonçalo Alfonso Dias. Nous nous référons à sa publication dans la revue *architècti* n°27 (déc. jan. fév. 94-95). Les plans utiles à notre expérimentation sont reproduits dans la suite de ces pages.

Première constatation : les deux bâtiments sont " jumeaux ". Que leur trame porteuse (et leur aménagement intérieur) soient rigoureusement identiques n'est certainement pas le fait du hasard, mais la volonté du concepteur. En tout état de cause, nous vérifions l'intérêt de laisser la possibilité dans notre modèle de faire partager une règle unique (c'est-à-dire une structuration symbolique et dimensionnelle) par plusieurs trames; les modifications sont simultanément opérées sur une trame et sur l'autre.

LA TRAME PORTEUSE

Dans un premier temps, il nous faut choisir un type de représentation acceptable; notre choix se porte sur une représentation par les axes des porteurs (en nous intéressant aux entraxes des poteaux, nous ne sommes pas obligés de prendre en compte leur épaisseur). Cette trame porteuse, considérée en plan, est bidimensionnelle et rectangulaire. Nous pouvons la décomposer en deux trames monodirectionnelles, l'une longitudinale, l'autre transversale. Voyons comment générer la trame longitudinale.

Ce qui nous importe, avant de générer cette trame, c'est d'en générer la règle, c'est-à-dire de laisser temporairement de côté l'emplacement et la configuration de la trame, pour nous pencher sur sa structure symbolique et dimensionnelle. Nous repérons trois dimensions pertinentes (ou mesures) composant la trame porteuse *longitudinale*: l'entraxe courant, l'entraxe terminal, la largeur du joint de dilatation. La démarche que nous prenons dans cet exemple pour fabriquer la trame procède par addition, par agrégation d'intervalles⁸ : d'abord l'entraxe terminal, ensuite la multiplication (9 fois) de l'entraxe courant, la largeur du joint de dilatation, et à nouveau, la multiplication (11 fois) de l'entraxe courant (voir page "GÉNÉRATION DE LA TRAME PORTEUSE").

Notons que des trois mesures à partir desquelles nous avons fabriqué la trame porteuse longitudinale, nous obtenons en fin de compte six règles (trois règles reprennent les trois mesures, trois autres sont créées ensuite). Toutes les règles ne possèdent pas nécessairement une dimension *pertinente* pour le concepteur; voilà ce qui explique le nombre supérieur de règles par rapport au nombre de mesures.

Voici les six opérations qui génèrent cette trame porteuse (pour plus de précisions, se reporter à la suite de cette annexe où sont détaillées les opérations sur les règles). Il est entendu que ces opérations peuvent être rendues " transparentes " pour l'utilisateur dans le cas où une interface lui est proposée, ce qui n'est pas le sujet ici :

- 1: (def_elm 306) ; entraxe courant
- 2: (def_elm 30) ; largeur du joint de dilatation

⁸La raison en est la méconnaissance que nous avons de la véritable démarche de conception par laquelle l'architecte est parvenu à constituer la trame porteuse — nous ne disposons que de l'état fini du projet. Nous aurions pu imaginer une hypothèse de constitution de la trame mettant en œuvre une évolution de la trame porteuse : d'abord parfaitement répétitive, la trame aurait vu son entraxe terminal se singulariser par une augmentation de sa longueur ainsi que l'adjonction nécessaire d'un joint de dilatation vers le milieu de la trame.

- 3: (def_elm 480) ; entraxe terminal
- 4: (def_mul 1 9) ; multiplication (9 fois) de la règle 1 (entraxe courant)
- 5: (def_mul 1 11) ; multiplication (11 fois) de la règle 1 (entraxe courant)
- 6: (def_seq 3 4 2 5) ; séquence ordonnée de quatre règles

La trame porteuse transversale est générée selon la même méthode. Nous ne la détaillons pas dans ces lignes.

LA TRAME D'AMÉNAGEMENT

La modélisation de cette trame (plus précisément de sa règle racine)— c'est le choix que nous faisons et qui ne prétend pas être le seul possible — prend en compte la largeur des murs, des cloisons et des espaces. Voilà pour nous l'occasion de remarquer la liberté dont nous disposons pour représenter graphiquement les trames; par les axes (comme précédemment dans le cas de la trame porteuse) ou par les épaisseurs (comme ici), ou encore par la combinaisons des deux. Mais l'utilisateur de notre modèle a tout intérêt à générer des règles dont la dimension est pertinente de manière à conserver un contrôle sur elles. C'est le sens de notre démarche (voir page "GÉNÉRATION DE LA TRAME D'AMÉNAGEMENT").

L'aménagement des chambres à l'étage obéit à une symétrie globale sur la longueur de l'édifice. D'autres symétries plus locales concernent les chambres par deux (visibles également en façade). C'est le rôle des règles symétriques que de simuler ces phénomènes. Nous générons donc une règle de la dimension de la largeur d'une chambre, et sa règle symétrique. De même, lorsque nous avons fabriqué la règle qui représente une aile de l'édifice (soient trois doublets de deux chambres), nous générons l'autre aile par symétrie. Le placement d'objets, ou leur modification, dans l'espace d'une chambre s'effectue alors dans toute les chambres. Les menuiseries extérieures, par ce jeu de double symétrie, sont modélisées automatiquement. La génération de la trame d'aménagement transversale emploie la même méthode non détaillée ici.

RÉUNION DE LA TRAME PORTEUSE ET DE LA TRAME D'AMÉNAGEMENT

Nous avons obtenu de manière indépendante les règles racines longitudinales de la trame porteuse et de la trame d'aménagement. Il convient maintenant de les unir dans une même règle pour permettre la coordination entre elles. Étant de longueurs inégales (la trame porteuse mesure 6630 cm, la trame d'aménagement 6800 cm), ces deux règles doivent pour se superposer être positionnées l'une par rapport à l'autre. Deux nouvelles règles représentant les débords de la trame d'aménagement sont créées afin de parvenir à égaliser les deux trames. Une dernière règle (numéro 23) dite superposée les réunit finalement; leur représentation graphique est alors possible (voir page "RÉUNION DE LA TRAME PORTEUSE ET DE LA TRAME D'AMÉNAGEMENT").

OPÉRATION DE REDIMENSIONNEMENT ASSISTÉ

Nous venons de coordonner les deux trames " par le haut "; leurs longueurs totales sont dépendantes. Cependant, il est une contrainte qui n'a pas encore été définie et qui est préalable à une opération de redimensionnement : il s'agit de maintenir une coïncidence de la structure porteuse et de l'aménagement des chambres; en effet, trois travées porteuses donnent la dimension à deux chambres (en tenant compte des épaisseurs des séparations). Il nous faut définir une règle assurant l'*adhérence* locale des deux trames, ce que prend en charge une nouvelle règle superposée (numéro 31). La particularité de cette règle est qu'elle ne sert pas directement à une représentation graphique de la trame.

Nous avons reproduit sur la page "OPÉRATION DE REDIMENSIONNEMENT ASSISTÉ DE LA TRAME LONGITUDINALE (PRÉPARATION)" une représentation par graphe acyclique orienté; une simple représentation arborescente n'y aurait suffi parce qu'une règle peut être contenue plusieurs fois dans une règle mère (ce que nous nommons liaison *multiple* en opposition à la liaison *simple*) et qu'une règle fille peut posséder plusieurs règles mères. Ce dessin, outre le fait qu'il nous permet de nous rendre compte de la complexité atteinte par le système de règles, se révèle " parlant " pour visualiser la propagation d'une modification dimensionnelle.

Dans l'exemple que nous prenons (sans justifier de sa pertinence), nous imaginons que le concepteur désire redimensionner sa trame porteuse (entraxe courant passant de 306 cm à 300 cm). Les épaisseurs des murs et des cloisons sont fixes tandis que la largeur des espaces peut varier. Nous avons représenté sur la page "OPÉRATION DE REDIMENSIONNEMENT ASSISTÉ DE LA TRAME LONGITUDINALE (EXÉCUTION)" une réduction du graphe en distinguant les règles *fixes* des règles *flottantes*. Il est évident que ces attributs appartiennent aux règles et sont définis par l'utilisateur.

La largeur des chambres diminue de 9 cm, le porte-à-faux terminal passe de 147,5 cm à 22,5 cm... Le

résultat du redimensionnement est visualisé sur la dernière page “OPÉRATION DE REDIMENSIONNEMENT ASSISTÉ (EXÉCUTION).

LIMITATIONS DU MODÈLE

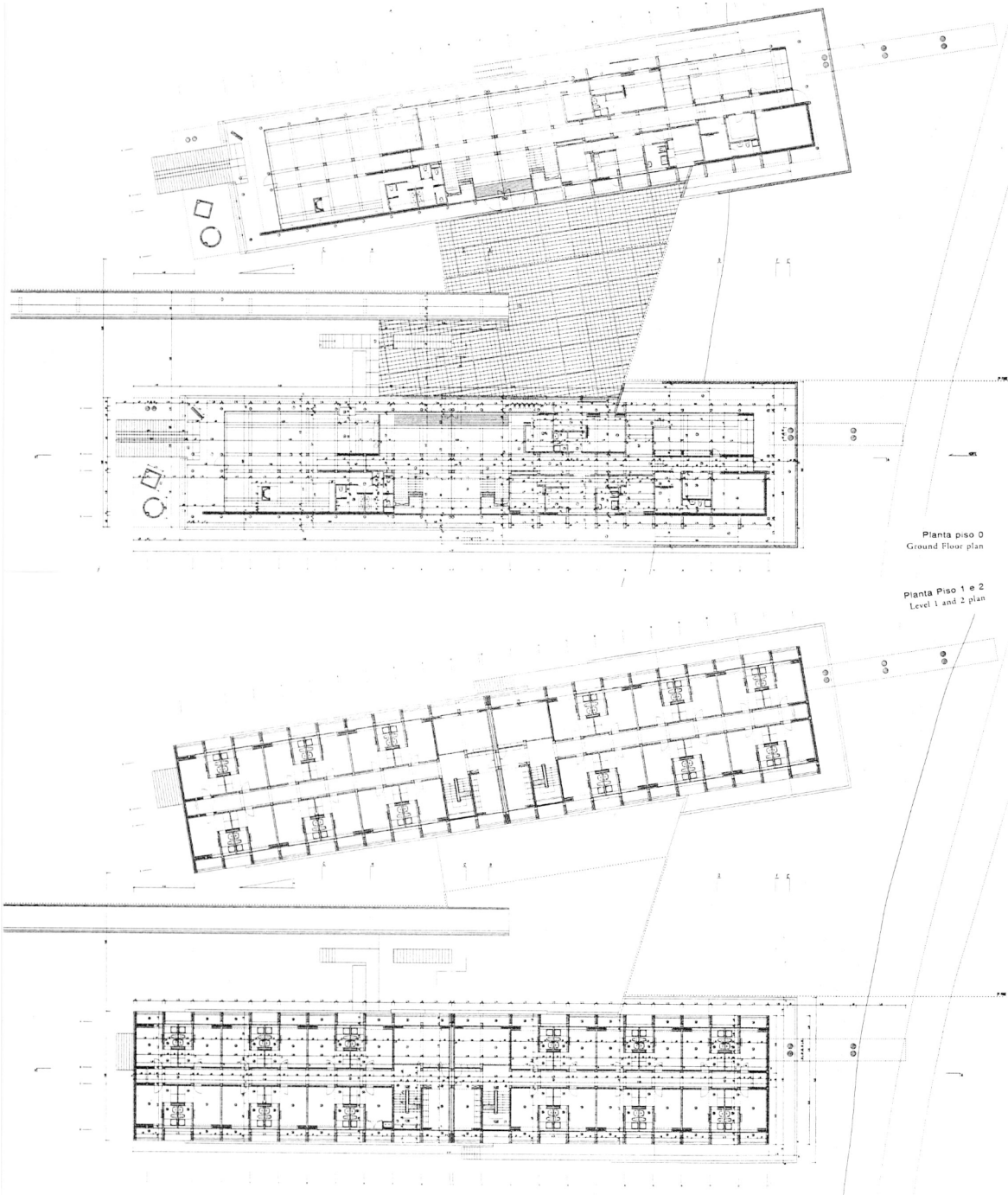
Au vue de cette simulation, considérons les limites de notre modèle. La mise en place de la trame générale du projet a nécessité la définition de plus de trente règles. Chacune d’elles demande un paramétrage (l’attribut “fixe” ou “flottante”). Ce travail est assez lourd et demande à l’utilisateur de bien organiser et de bien comprendre la structuration de ses règles. Cette exigence est inhabituelle dans les logiciels de dessin pour architectes. L’interface, que nous n’avons pas étudiée dans cette étude, pourrait à elle seule considérablement aider le concepteur en rendant claires les opérations qu’il met en œuvre dans la constitution des règles. La représentation par graphe, bien qu’abstraite et éloignée des représentations habituellement employées par les architectes, pourrait cependant être une bonne piste de recherche, à condition de lui associer une visualisation “interactive” des trames.

Notre modèle se montre puissant dans les problèmes de redimensionnement. Néanmoins, on peut se monter dubitatif quant à cette utilisation lorsque l’on sait que les redimensionnements exécutés par les architectes sont généralement simples parce que les répercussions sur les dimensions demeurent locales.

À cette critique, nous objecterons que cette simulation a montré que notre modèle était capable d’assister l’architecte dans une opération compliquée. Cette efficacité est tout aussi avérée dans le cas d’un redimensionnement simple. D’une manière générale, notre modèle est d’autant plus efficace que la quantité d’informations qui lui sont fournies est importante; c’est à l’utilisateur de choisir la complexité (ou la complication) de la structuration de règles, et donc la puissance d’assistance du modèle.

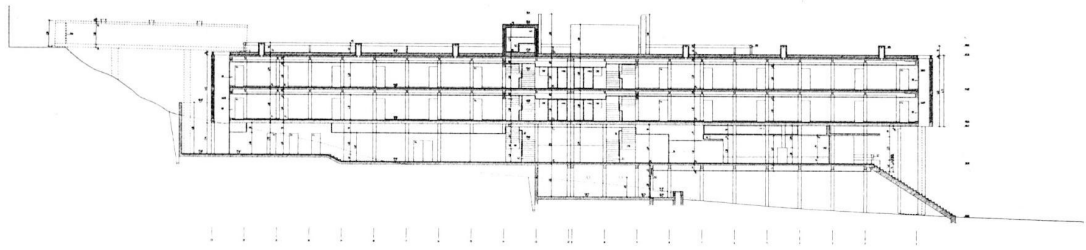
PRÉSENTATION DU PROJET _ PLANS

Deux immeubles résidentiels pour les étudiants de "Institut Polytechnique de Coimbra" (200-6) - Gonçalo Alfonso Dias

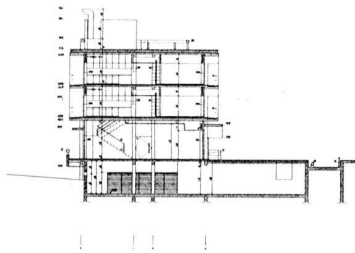


Pianta piso 0
Ground Floor plan

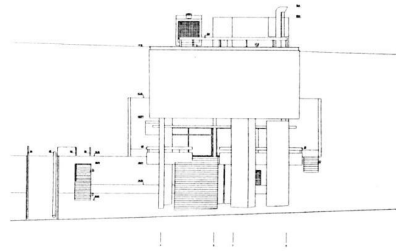
Pianta Piso 1 e 2
Level 1 and 2 plan



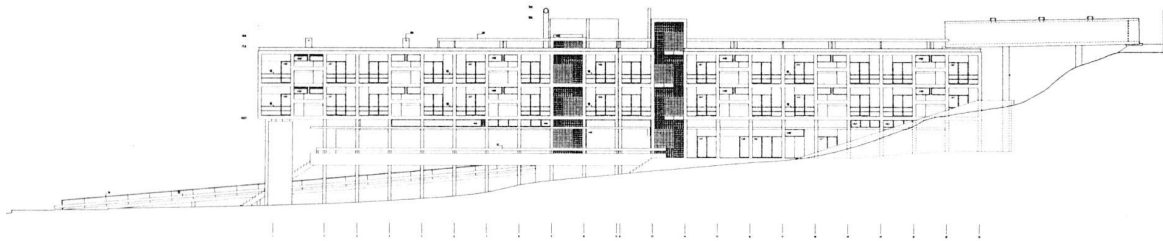
Corte AA'
Section AA'



Corte GG'
Section GG'



Alçado Norte
North view



Alçado Nascente
East view

GÉNÉRATION
DE LA TRAME PORTEUSE

TRAME PORTEUSE LONGITUDINALE

mes.	spécification	val. (cm)
d1	entre-axe courant	306
d2	entre-axe joint de dilatation	30
d3	entre-axe terminal	480

règle	spécification	type	val. (cm)
1	entre-axe courant	ELM	306
2	entre-axe joint de dilatation	ELM	30
3	entre-axe terminal	ELM	480
4	9 * 1	MUL	2754
5	11 * 1	MUL	3366
6	3 + 4 + 2 + 5	SEQ	6630

Tableau des dimensions

Tableau des règles

TRAME PORTEUSE TRANSVERSALE

mes.	spécification	val. (cm)
d13	porte-à-laux	115
d14	entre-axe 1	495
d15	entre-axe 2	180

règle	spécification	type	val. (cm)
24	porte-à-laux	ELM	115
25	entre-axe 1	ELM	495
26	entre-axe 2	ELM	180
27	24 + 25 + 26 + 25 + 24	SEQ	1400



Représentations par graduations



GÉNÉRATION
DE LA TRAME D'AMÉNAGEMENT

TRAME D'AMÉNAGEMENT LONGITUDINALE

mes.	spécification	val. (cm)
d4	largeur chambre	444
d5	épaisseur mur séparateur	19
d6	épaisseur cloison séparatrice	11
d7	épaisseur mur extérieur	32
d8	épaisseur mur communs	25
d9	épaisseur double mur	63
d10	largeur communs	576,5

règle	spécification	type	val. (cm)
7	largeur chambre	ELM	444
8	symétrique largeur chambre	SYM	444
9	épaisseur mur séparateur	ELM	19
10	épaisseur cloison séparatrice	ELM	11
11	7 + 10 + 8	SEQ	899
12	épaisseur mur communs	ELM	25
13	épaisseur mur extérieur	ELM	32
14	12 + 11 + 9 + 11 + 9 + 11 + 13	SEQ	2792
15	aile symétrique	SYM	2792
16	largeur commun	ELM	572
17	épaisseur double mur	ELM	63
18	16 + 17 + 16	SEQ	1216
19	15 + 18 + 14	SEQ	6800

TRAME D'AMÉNAGEMENT TRANSVERSALE

mes.	spécification	val. (cm)
d16	largeur loggia	132
d17	épaisseur mur extérieur	46
d18	longueur chambre	417
d19	épaisseur mur couloir	30
d20	largeur couloir	150

Tableau des dimensions

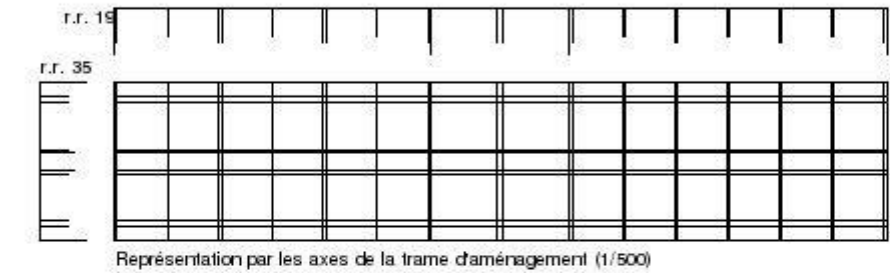
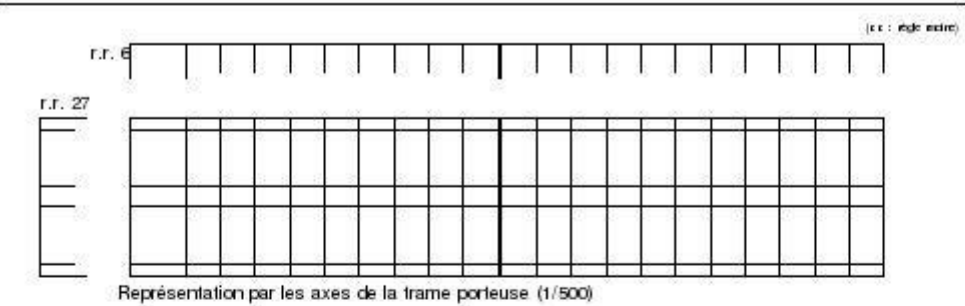
Tableau des règles

règle	spécification	type	val. (cm)
28	largeur loggia	ELM	132
29	épaisseur mur extérieur	ELM	46
30	longueur chambre	ELM	417
31	épaisseur mur couloir	ELM	30
32	largeur couloir	ELM	150
33	28 + 29 + 30 + 31	SEQ	625
34	symétrique précédent	SYM	625
35	33 + 32 + 34	SEQ	1400



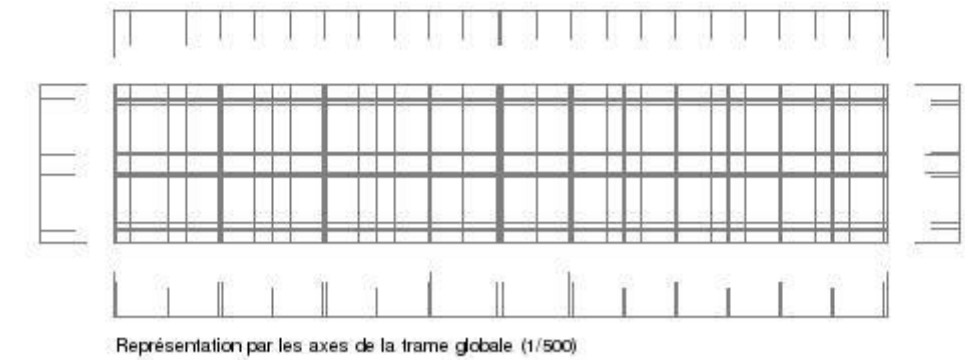
Représentations par graduations

RÉUNION DE LA TRAME PORTEUSE
ET DE LA TRAME D'AMÉNAGEMENT



mes.	spécification	val. (cm)
d11	porte-à-faux	147,5
d12	débord	22,5

règle	spécification	type	val. (cm)
20	porte-à-faux	ELM	147,5
21	débord	ELM	22,5
22	20 + 6 + 21	SEQ	6800
23	trame globale longitudinale	SUP	6800
28	trame globale transversale	SUP	1400



OPÉRATION DE REDIMENSIONNEMENT ASSISTÉ (EXÉCUTION)

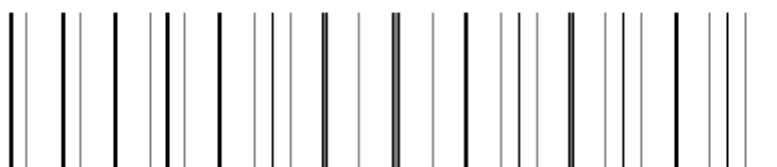
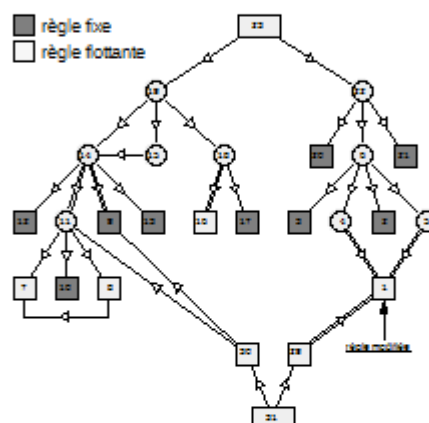
Objectif : Le concepteur désire diminuer l'entre-axe courant de sa structure porteuse (306 cm à 300 cm) en conservant la longueur de la trame porteuse.

règle	spécification	type	Avant	Après
1	entre-axe courant	ELM	<u>306</u>	<u>300</u>
2	entre-axe joint de dilatation	ELM	30	30
3	entre-axe terminal	ELM	480	600
4	$9 * r1$	MUL	2754	2700
5	$11 * r1$	MUL	3366	3300
6	$r3 + r4 + r2 + r5$	SEQ	6630	6630
7	largeur chambre	ELM	444	435
8	symétrique largeur chambre	SYM	444	435
9	épaisseur mur séparateur	ELM	19	19
10	épaisseur cloison séparatrice	ELM	11	11
11	$7 + 10 + 8$	SEQ	899	881
12	épaisseur mur communs	ELM	25	25
13	épaisseur mur extérieur	ELM	32	32
14	$13 + 11 + 9 + 11 + 9 + 11 + 12$	SEQ	2792	2738
15	aile symétrique	SYM	2792	2738
16	largeur commun	ELM	576,5	568
17	épaisseur double mur	ELM	63	63
18	$16 + 17 + 16$	SEQ	1216	1199
19	$15 + 18 + 14$	SEQ	6800	6675
20	porte-à-faux	ELM	147,5	22,5
21	débord	ELM	22,5	22,5
22	$20 + 6 + 21$	SEQ	6800	6675
23	trame globale longitudinale	SUP	6800	6675

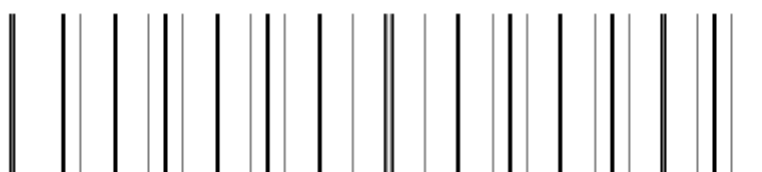
Souligné : valeur modifiée par le concepteur

Gras : valeur modifiée par assistance

Italique : valeur fixée par le concepteur



Trame longitudinale AVANT redimensionnement



Trame longitudinale APRES redimensionnement

VINGT-DEUX OPÉRATIONS SUR LES RÈGLES

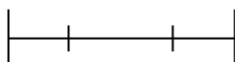
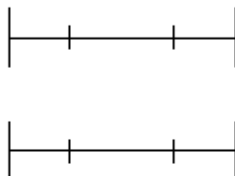
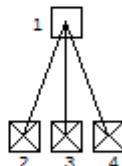
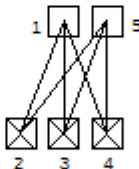
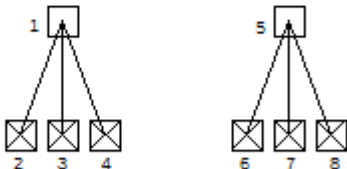
...plutôt qu'un processus de conception, un ensemble d'opérations de conception.

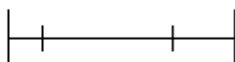
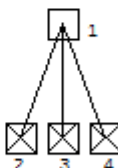
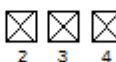
[CAA93]

Les opérations générales, dont le but est de construire la hiérarchie des règles, affectent de façon prioritaire un de leurs constituants. Les opérations de création touchent les identifiants, les opérations de transformation le type, les opérations de dimensionnement les attributs dimensionnels, les opérations de modification les arguments.

Après les opérations qui concernent directement les règles se trouvent des opérations sur les trames et les objets. Les objets sont en l'occurrence des éléments architecturaux de toutes sortes : murs, planchers, accessoires, bordures, etc. Un objet est attaché à une trame et est affecté par les modifications qu'elle subit. Les liens qu'il l'unisse à elle sont de l'ordre du positionnement ou du dimensionnement, c'est-à-dire que ses dimensions sont conservées ou altérées.

Nous indiquons sur les pages suivantes une liste des opérations qui affectent les règles.

2		DUPLIQUER (réf ; prof)																																																																					
NATURE: création TYPE: composée		PARAMÈTRE(S): - réf, référence de la règle à dupliquer (entier) - prof, profondeur (booléen)	CONDITION(S) D'EXÉCUTION: aucune																																																																				
EXPLICATION: Ajoute une nouvelle règle dans l'espace de règles, identique à une règle spécifiée. Le type, les attributs dimensionnels, les arguments éventuels sont reproduits. Une nouvelle référence lui est attribuée automatiquement. La duplication peut se faire en profondeur, c'est-à-dire que les règles descendantes de la règle spécifiée seront dupliquées dans les mêmes conditions.																																																																							
EXEMPLE:	AVANT OPÉRATION	APRÈS OPÉRATION																																																																					
GRADUATIONS																																																																							
ARBORESCENCE		<u>Duplication superficielle</u> (prof=non)  <u>Duplication profonde</u> (prof=oui) 																																																																					
ESPACE DES RÈGLES	<table><tr><th>Réf.</th><th>A.D.</th><th>Type</th><th>Argument(s)</th></tr><tr><td>1</td><td>...</td><td>SEQ</td><td>2 3 4</td></tr><tr><td>2</td><td>...</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>3</td><td>...</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>4</td><td>...</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	Réf.	A.D.	Type	Argument(s)	1	...	SEQ	2 3 4	2	...	ELM	-	3	...	ELM	-	4	...	ELM	-													<table><tr><th>Réf.</th><th>A.D.</th><th>Type</th><th>Argument(s)</th></tr><tr><td>1</td><td>...</td><td>SEQ</td><td>2 3 4</td></tr><tr><td>2</td><td>...</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>3</td><td>...</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>4</td><td>...</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>5</td><td>...</td><td>SEQ</td><td>2 3 4</td></tr><tr><td></td><td>avec prof=non</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>		Réf.	A.D.	Type	Argument(s)	1	...	SEQ	2 3 4	2	...	ELM	-	3	...	ELM	-	4	...	ELM	-	5	...	SEQ	2 3 4		avec prof=non										
	Réf.	A.D.	Type	Argument(s)																																																																			
1	...	SEQ	2 3 4																																																																				
2	...	ELM	-																																																																				
3	...	ELM	-																																																																				
4	...	ELM	-																																																																				
Réf.	A.D.	Type	Argument(s)																																																																				
1	...	SEQ	2 3 4																																																																				
2	...	ELM	-																																																																				
3	...	ELM	-																																																																				
4	...	ELM	-																																																																				
5	...	SEQ	2 3 4																																																																				
	avec prof=non																																																																						

3		SUPPRIMER (réf ; prof)						
NATURE:	création	PARAMÈTRE(S): - réf, référence de la règle à détruire (entier) - prof, profondeur (booléen)	CONDITION(S) D'EXÉCUTION: - les règles (ou la règle) à détruire ne doivent pas être situées dans d'autres règles.					
	TYPE: simple							
EXPLICATION: Élimine une règle de l'espace de règles. La destruction peut se faire en profondeur, c'est-à-dire que les règles descendantes de la règle spécifiée seront également détruites. Les règles qui avaient une mesure contenant une référence à la règle détruite voient cette référence remplacée par une valeur numérique de dimension.								
EXEMPLE:	AVANT OPÉRATION		APRÈS OPÉRATION					
GRADUATIONS								
ARBORESCENCE			<u>Destruction superficielle</u> (prof=non)					
			 <u>Destruction profonde</u> (prof=oui)					
ESPACE DES RÈGLES	Réf.	A.D.	Type	Argument(s)	Réf.	A.D.	Type	Argument(s)
	1	...	SEQ	2 3 4				
	2	...	ELM	-	2	...	ELM	-
	3	...	ELM	-	3	...	ELM	-
	4	...	ELM	-	4	...	ELM	-
						avec prof=non		

4

INSÉRER (réfM ; réfF ; pos)

NATURE:
modification

TYPE:
simple

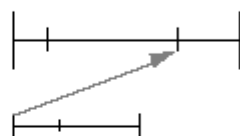
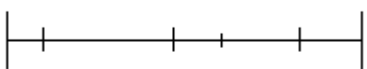
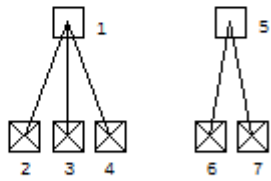
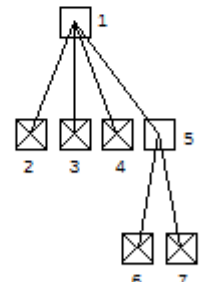
PARAMÈTRE(S):

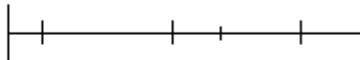
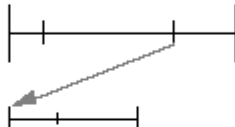
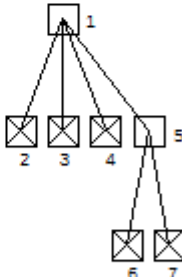
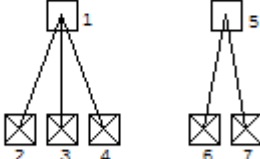
- réfM, référence de la règle-mère (entier)
- réfF, référence de la règle à insérer (entier)
- pos, position occupée par la nouvelle règle à l'intérieur de la règle-mère

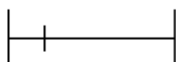
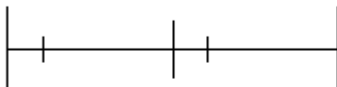
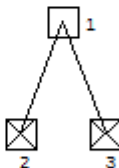
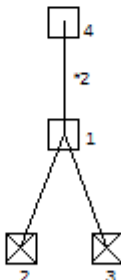
CONDITION(S) D'EXÉCUTION:

- la règle-mère est une règle successive
- la règle-mère n'est pas contenue dans la règle à insérer (référence circulaire)
- la position indiquée est correcte

EXPLICATION: Insère une règle quelconque à l'intérieur d'une règle successive à la position indiquée. Une nouvelle évaluation des dimensions s'ensuit.

EXEMPLE:	AVANT OPÉRATION	APRÈS OPÉRATION																																																																
GRADUATIONS																																																																		
ARBORESCENCE																																																																		
ESPACE DES RÈGLES	<table><tr><th>Réf.</th><th>A.D.</th><th>Type</th><th>Argument(s)</th></tr><tr><td>1</td><td>50</td><td>SEQ</td><td>2 3 4</td></tr><tr><td>2</td><td>20</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>3</td><td>10</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>4</td><td>20</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>5</td><td>30</td><td>SEQ</td><td>6 7</td></tr><tr><td>6</td><td>15</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>7</td><td>15</td><td>ELM</td><td>-</td></tr></table>	Réf.	A.D.	Type	Argument(s)	1	50	SEQ	2 3 4	2	20	ELM	-	3	10	ELM	-	4	20	ELM	-	5	30	SEQ	6 7	6	15	ELM	-	7	15	ELM	-	<table><tr><th>Réf.</th><th>A.D.</th><th>Type</th><th>Argument(s)</th></tr><tr><td>1</td><td>80</td><td>SEQ</td><td>2 3 4 5</td></tr><tr><td>2</td><td>20</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>3</td><td>10</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>4</td><td>20</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>5</td><td>30</td><td>SEQ</td><td>6 7</td></tr><tr><td>6</td><td>15</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>7</td><td>15</td><td>ELM</td><td>-</td></tr></table>	Réf.	A.D.	Type	Argument(s)	1	80	SEQ	2 3 4 5	2	20	ELM	-	3	10	ELM	-	4	20	ELM	-	5	30	SEQ	6 7	6	15	ELM	-	7	15	ELM	-
Réf.	A.D.	Type	Argument(s)																																																															
1	50	SEQ	2 3 4																																																															
2	20	ELM	-																																																															
3	10	ELM	-																																																															
4	20	ELM	-																																																															
5	30	SEQ	6 7																																																															
6	15	ELM	-																																																															
7	15	ELM	-																																																															
Réf.	A.D.	Type	Argument(s)																																																															
1	80	SEQ	2 3 4 5																																																															
2	20	ELM	-																																																															
3	10	ELM	-																																																															
4	20	ELM	-																																																															
5	30	SEQ	6 7																																																															
6	15	ELM	-																																																															
7	15	ELM	-																																																															

5		EXTRAIRE (réfM ; pos)																																																																	
NATURE: modification	PARAMÈTRE(S): - réfM, référence de la règle-mère de laquelle est extraite une règle-fille - pos, position de la règle à extraire dans la règle-mère	CONDITION(S) D'EXÉCUTION: - la règle-mère est une succession - la position indiquée est correcte																																																																	
TYPE: simple																																																																			
EXPLICATION: Extrait une règle quelconque d'une règle successive. Une nouvelle évaluation de la dimension de la règle-mère s'ensuit. La règle extraite n'est pas détruite.																																																																			
EXEMPLE:	AVANT OPÉRATION	APRÈS OPÉRATION																																																																	
GRADUATIONS																																																																			
ARBORESCENCE																																																																			
ESPACE DES RÈGLES	<table><tr><th>Réf.</th><th>A.D.</th><th>Type</th><th>Argument(s)</th></tr><tr><td>1</td><td>80</td><td>SEQ</td><td>2 3 4 5</td></tr><tr><td>2</td><td>20</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>3</td><td>10</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>4</td><td>20</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>5</td><td>30</td><td>SEQ</td><td>6 7</td></tr><tr><td>6</td><td>15</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>7</td><td>15</td><td>ELM</td><td>-</td></tr></table>	Réf.	A.D.	Type	Argument(s)	1	80	SEQ	2 3 4 5	2	20	ELM	-	3	10	ELM	-	4	20	ELM	-	5	30	SEQ	6 7	6	15	ELM	-	7	15	ELM	-	<table><tr><th>Réf.</th><th>A.D.</th><th>Type</th><th>Argument(s)</th></tr><tr><td>1</td><td>50</td><td>SEQ</td><td>2 3 4</td></tr><tr><td>2</td><td>20</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>3</td><td>10</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>4</td><td>20</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>5</td><td>30</td><td>SEQ</td><td>6 7</td></tr><tr><td>6</td><td>15</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>7</td><td>15</td><td>ELM</td><td>-</td></tr></table>		Réf.	A.D.	Type	Argument(s)	1	50	SEQ	2 3 4	2	20	ELM	-	3	10	ELM	-	4	20	ELM	-	5	30	SEQ	6 7	6	15	ELM	-	7	15	ELM	-
Réf.	A.D.	Type	Argument(s)																																																																
1	80	SEQ	2 3 4 5																																																																
2	20	ELM	-																																																																
3	10	ELM	-																																																																
4	20	ELM	-																																																																
5	30	SEQ	6 7																																																																
6	15	ELM	-																																																																
7	15	ELM	-																																																																
Réf.	A.D.	Type	Argument(s)																																																																
1	50	SEQ	2 3 4																																																																
2	20	ELM	-																																																																
3	10	ELM	-																																																																
4	20	ELM	-																																																																
5	30	SEQ	6 7																																																																
6	15	ELM	-																																																																
7	15	ELM	-																																																																

9		MULTIPLIER (réfF ; fact)						
NATURE: création		PARAMÈTRE(S): - réfF, référence de la règle fille (entier) - fact, facteur de multiplication (entier)	CONDITION(S) D'EXÉCUTION: - le facteur indiqué est correcte					
TYPE: composée								
EXPLICATION: Crée une règle répétitive ayant pour fille la règle spécifiée.								
EXEMPLE:	AVANT OPÉRATION		APRÈS OPÉRATION					
GRADUATIONS								
ARBORESCENCE								
ESPACE DES RÈGLES	Réf.	A.D.	Type	Argument(s)	Réf.	A.D.	Type	Argument(s)
	1	50	SEQ	2 3	1	50	SEQ	2 3
	2	15	ELM	-	2	15	ELM	-
	3	35	ELM	-	3	35	ELM	-
	4				4	100	MUL	2 * 1
	5							
	6							
	7							

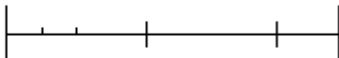
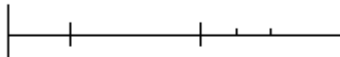
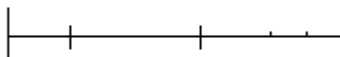
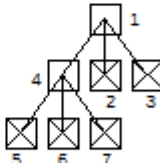
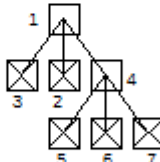
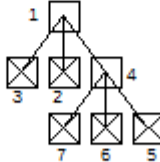
NATURE:
modification

TYPE:
composée

PARAMÈTRE(S):
- réf, référence de la règle (entier)
- prof, profondeur (booléen)

CONDITION(S) D'EXÉCUTION
aucune

EXPLICATION: Retourne une règle quelconque (inopérant sur une règle élémentaire ou répétitive). L'ordre de succession est simplement inversé dans les règles successives. Si la profondeur est activée, les règles-filles sont également retournées. Il n'a aucune modification des dimensions.

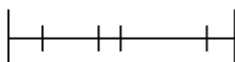
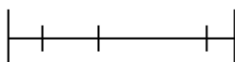
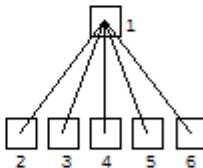
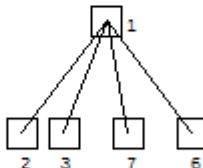
EXEMPLE:	AVANT OPÉRATION	APRÈS OPÉRATION																																																																
GRADUATIONS		<u>Retournement superficiel</u> (prof=non) 																																																																
		<u>Retournement profond</u> (prof=oui) 																																																																
ARBORESCENCE		<u>Retournement superficiel</u> (prof=non) 																																																																
		<u>Retournement profond</u> (prof=oui) 																																																																
ESPACE DES RÈGLES	<table><tr><th>Réf.</th><th>A.D.</th><th>Type</th><th>Argument(s)</th></tr><tr><td>1</td><td>70</td><td>SEQ</td><td>4 3 2</td></tr><tr><td>2</td><td>25</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>3</td><td>15</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>4</td><td>30</td><td>SEQ</td><td>5 6 7</td></tr><tr><td>5</td><td>7,5</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>6</td><td>7,5</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>7</td><td>15</td><td>ELM</td><td>-</td></tr></table>	Réf.	A.D.	Type	Argument(s)	1	70	SEQ	4 3 2	2	25	ELM	-	3	15	ELM	-	4	30	SEQ	5 6 7	5	7,5	ELM	-	6	7,5	ELM	-	7	15	ELM	-	<table><tr><th>Réf.</th><th>A.D.</th><th>Type</th><th>Argument(s)</th></tr><tr><td>1</td><td>70</td><td>SEQ</td><td>2 3 4</td></tr><tr><td>2</td><td>25</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>3</td><td>15</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>4</td><td>30</td><td>SEQ</td><td>7 6 5</td></tr><tr><td>5</td><td>7,5</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>6</td><td>7,5</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>7</td><td>15</td><td>ELM</td><td>-</td></tr></table>	Réf.	A.D.	Type	Argument(s)	1	70	SEQ	2 3 4	2	25	ELM	-	3	15	ELM	-	4	30	SEQ	7 6 5	5	7,5	ELM	-	6	7,5	ELM	-	7	15	ELM	-
	Réf.	A.D.	Type	Argument(s)																																																														
1	70	SEQ	4 3 2																																																															
2	25	ELM	-																																																															
3	15	ELM	-																																																															
4	30	SEQ	5 6 7																																																															
5	7,5	ELM	-																																																															
6	7,5	ELM	-																																																															
7	15	ELM	-																																																															
Réf.	A.D.	Type	Argument(s)																																																															
1	70	SEQ	2 3 4																																																															
2	25	ELM	-																																																															
3	15	ELM	-																																																															
4	30	SEQ	7 6 5																																																															
5	7,5	ELM	-																																																															
6	7,5	ELM	-																																																															
7	15	ELM	-																																																															

NATURE:
création+
transformation
TYPE:
complexe

PARAMÈTRE(S):
- réf, référence de la règle-mère (entier)
- pos_init, pos_fin, positions initiales et finales
des règles-filles à fusionner (entiers)

CONDITION(S) D'EXÉCUTION:
- la règle-mère est une succession
- les positions indiquées sont correctes

EXPLICATION: Fusionne deux ou plusieurs règles consécutives quelconques à l'intérieur d'une règle successive. La règle résultante a pour dimension la somme des dimensions de ces sous-règles. Les règles fusionnées sont détruites.

EXEMPLE:	AVANT OPÉRATION	APRÈS OPÉRATION																																																																				
GRADUATIONS																																																																						
ARBORESCENCE																																																																						
ESPACE DES RÈGLES	<table><tr><th>Réf.</th><th>A.D.</th><th>Type</th><th>Argument(s)</th></tr><tr><td>1</td><td>-</td><td>SEQ</td><td>2 3 4 5 6</td></tr><tr><td>2</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>3</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>4</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>5</td><td>20</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>6</td><td>30</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	Réf.	A.D.	Type	Argument(s)	1	-	SEQ	2 3 4 5 6	2	-	-	-	3	-	-	-	4	-	-	-	5	20	-	-	6	30	-	-									<table><tr><th>Réf.</th><th>A.D.</th><th>Type</th><th>Argument(s)</th></tr><tr><td>1</td><td>-</td><td>SEQ</td><td>2 3 7 6</td></tr><tr><td>2</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>3</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>4</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>7</td><td>50</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	Réf.	A.D.	Type	Argument(s)	1	-	SEQ	2 3 7 6	2	-	-	-	3	-	-	-	4	-	-	-	7	50	ELM	-								
Réf.	A.D.	Type	Argument(s)																																																																			
1	-	SEQ	2 3 4 5 6																																																																			
2	-	-	-																																																																			
3	-	-	-																																																																			
4	-	-	-																																																																			
5	20	-	-																																																																			
6	30	-	-																																																																			
Réf.	A.D.	Type	Argument(s)																																																																			
1	-	SEQ	2 3 7 6																																																																			
2	-	-	-																																																																			
3	-	-	-																																																																			
4	-	-	-																																																																			
7	50	ELM	-																																																																			

13

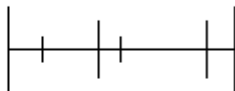
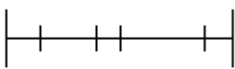
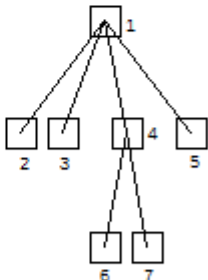
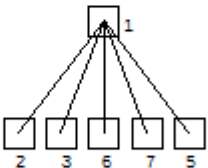
DÉGROUPEUR (réfM ; pos)

NATURE:
création+
modification
TYPE:
simple

PARAMÈTRE(S):
- réfM, référence de la règle-mère (entier)
- position de la règle à dégroupier (entier)

CONDITION(S) D'EXÉCUTION:
- la règle-mère et la règle à dégroupier sont des successions
- la position indiquée est correcte

EXPLICATION: Remplace dans une règle successive une règle séquentielle par ses sous-règles. La règle dégroupées est détruite. Aucune dimension n'est affectée.

EXEMPLE:	AVANT OPÉRATION	APRÈS OPÉRATION																																																												
GRADUATIONS																																																														
ARBORESCENCE																																																														
ESPACE DES RÈGLES	<table><tr><th>Réf.</th><th>A.D.</th><th>Type</th><th>Argument(s)</th></tr><tr><td>1</td><td>-</td><td>SEQ</td><td>2 3 4 5</td></tr><tr><td>2</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>3</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>4</td><td>-</td><td>SEQ</td><td>6 7</td></tr><tr><td>5</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>6</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>7</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr></table>	Réf.	A.D.	Type	Argument(s)	1	-	SEQ	2 3 4 5	2	-	-	-	3	-	-	-	4	-	SEQ	6 7	5	-	-	-	6	-	-	-	7	-	-	-	<table><tr><th>Réf.</th><th>A.D.</th><th>Type</th><th>Argument(s)</th></tr><tr><td>1</td><td>-</td><td>SEQ</td><td>2 3 6 7 5</td></tr><tr><td>2</td><td>-</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>3</td><td>-</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>5</td><td>-</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>6</td><td>-</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>7</td><td>-</td><td>ELM</td><td>-</td></tr></table>	Réf.	A.D.	Type	Argument(s)	1	-	SEQ	2 3 6 7 5	2	-	ELM	-	3	-	ELM	-	5	-	ELM	-	6	-	ELM	-	7	-	ELM	-
Réf.	A.D.	Type	Argument(s)																																																											
1	-	SEQ	2 3 4 5																																																											
2	-	-	-																																																											
3	-	-	-																																																											
4	-	SEQ	6 7																																																											
5	-	-	-																																																											
6	-	-	-																																																											
7	-	-	-																																																											
Réf.	A.D.	Type	Argument(s)																																																											
1	-	SEQ	2 3 6 7 5																																																											
2	-	ELM	-																																																											
3	-	ELM	-																																																											
5	-	ELM	-																																																											
6	-	ELM	-																																																											
7	-	ELM	-																																																											

15

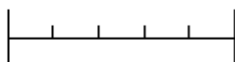
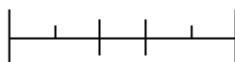
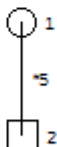
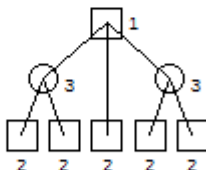
PARTICULARISER (réfM ; pos)

NATURE:
création+
transformation
TYPE:
simple

PARAMÈTRE(S):
- réf, référence de la règle-mère (entier)
- pos, position de la règle à particulariser

CONDITION(S) D'EXÉCUTION:
- la règle-mère est répétitive

EXPLICATION: Particularise une règle répétée dans une règle répétitive. La règle répétitive est transformée en séquence.
Aucune dimension n'est affectée.

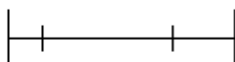
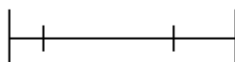
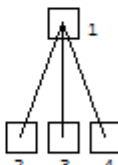
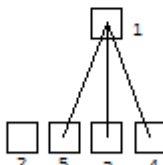
EXEMPLE:	AVANT OPÉRATION	APRÈS OPÉRATION																																																																																
GRADUATIONS																																																																																		
ARBORESCENCE																																																																																		
ESPACE DES RÈGLES	<table><tr><th>Réf.</th><th>A.D.</th><th>Type</th><th>Argument(s)</th></tr><tr><td>1</td><td>...</td><td>SEQ</td><td>2 3 4</td></tr><tr><td>2</td><td>...</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>3</td><td>...</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>4</td><td>...</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table>	Réf.	A.D.	Type	Argument(s)	1	...	SEQ	2 3 4	2	...	ELM	-	3	...	ELM	-	4	...	ELM	-																					<table><tr><th>Réf.</th><th>A.D.</th><th>Type</th><th>Argument(s)</th></tr><tr><td>2</td><td>...</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>3</td><td>...</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>4</td><td>...</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table>	Réf.	A.D.	Type	Argument(s)	2	...	ELM	-	3	...	ELM	-	4	...	ELM	-																								
	Réf.	A.D.	Type	Argument(s)																																																																														
	1	...	SEQ	2 3 4																																																																														
	2	...	ELM	-																																																																														
	3	...	ELM	-																																																																														
	4	...	ELM	-																																																																														
Réf.	A.D.	Type	Argument(s)																																																																															
2	...	ELM	-																																																																															
3	...	ELM	-																																																																															
4	...	ELM	-																																																																															

NATURE:
création+
modification
TYPE:
simple

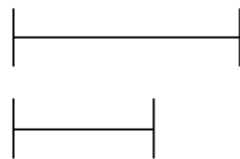
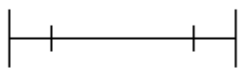
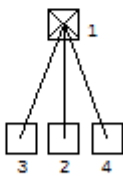
PARAMÈTRE(S):
- réfM, référence de la règle-mère (entier)
- pos, position occupée par la règle à
remplacer

CONDITION(S) D'EXÉCUTION:
aucune

EXPLICATION: Substitue à une règle quelconque, une règle jumelle de même dimension, de même type (opération située).

EXEMPLE:	AVANT OPÉRATION	APRÈS OPÉRATION																																																																																
GRADUATIONS																																																																																		
ARBORESCENCE																																																																																		
ESPACE DES RÈGLES	<table><tr><th>Réf.</th><th>A.D.</th><th>Type</th><th>Argument(s)</th></tr><tr><td>1</td><td>...</td><td>SEQ</td><td>2 3 4</td></tr><tr><td>2</td><td>50</td><td>...</td><td>...</td></tr><tr><td>3</td><td>...</td><td>...</td><td>...</td></tr><tr><td>4</td><td>...</td><td>...</td><td>...</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	Réf.	A.D.	Type	Argument(s)	1	...	SEQ	2 3 4	2	50	...	...	3	...	...	...	4	...	...	...																					<table><tr><th>Réf.</th><th>A.D.</th><th>Type</th><th>Argument(s)</th></tr><tr><td>1</td><td>...</td><td>SEQ</td><td>5 3 4</td></tr><tr><td>2</td><td>50</td><td>...</td><td>...</td></tr><tr><td>3</td><td>...</td><td>...</td><td>...</td></tr><tr><td>4</td><td>...</td><td>...</td><td>...</td></tr><tr><td>5</td><td>50</td><td>...</td><td>6 ...</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	Réf.	A.D.	Type	Argument(s)	1	...	SEQ	5 3 4	2	50	...	...	3	...	...	...	4	...	...	...	5	50	...	6 ...																
	Réf.	A.D.	Type	Argument(s)																																																																														
	1	...	SEQ	2 3 4																																																																														
	2	50	...	...																																																																														
	3	...	...	...																																																																														
	4	...	...	...																																																																														
Réf.	A.D.	Type	Argument(s)																																																																															
1	...	SEQ	5 3 4																																																																															
2	50	...	...																																																																															
3	...	...	...																																																																															
4	...	...	...																																																																															
5	50	...	6 ...																																																																															

NATURE: création+ transformation TYPE: composée	PARAMÈTRE(S): - réfM, réfF, références de la règle-mère et de la règle à placer (entiers) - ratio, ratio des dimensions restantes gauche et droite (50% = centrer) (réel)	CONDITION(S) D'EXÉCUTION: - la règle-mère est une règle élémentaire et de dimension supérieure à la règle-fille - le ratio entré est correct
EXPLICATION: Place une règle quelconque à l'intérieur d'une règle élémentaire de plus grande dimension. Sa position est calculée en tenant compte du ratio des deux dimensions restantes gauche et droite.		

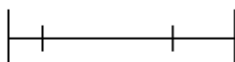
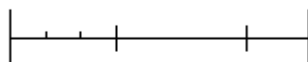
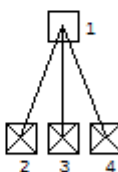
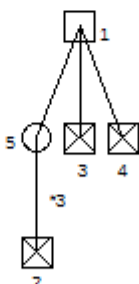
EXEMPLE:	AVANT OPÉRATION	APRÈS OPÉRATION																																																																
GRADUATIONS																																																																		
ARBORESCENCE																																																																		
ESPACE DES RÈGLES	<table><tr><th>Réf.</th><th>A.D.</th><th>Type</th><th>Argument(s)</th></tr><tr><td>1</td><td>100</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>2</td><td>70</td><td>...</td><td>...</td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table>	Réf.	A.D.	Type	Argument(s)	1	100	ELM	-	2	70	...	...																					<table><tr><th>Réf.</th><th>A.D.</th><th>Type</th><th>Argument(s)</th></tr><tr><td>1</td><td>100</td><td>SEQ</td><td>3 2 4</td></tr><tr><td>2</td><td>70</td><td>...</td><td>...</td></tr><tr><td>3</td><td>15</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>4</td><td>15</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table>	Réf.	A.D.	Type	Argument(s)	1	100	SEQ	3 2 4	2	70	...	...	3	15	ELM	-	4	15	ELM	-												
	Réf.	A.D.	Type	Argument(s)																																																														
	1	100	ELM	-																																																														
	2	70	...	...																																																														
	Réf.	A.D.	Type	Argument(s)																																																														
1	100	SEQ	3 2 4																																																															
2	70	...	...																																																															
3	15	ELM	-																																																															
4	15	ELM	-																																																															

NATURE:
création+
modification
TYPE:
composée

PARAMÈTRE(S):
- réfM, référence de la règle-mère (entier)
- pos, position dans la règle-mère de la
règle à multiplier (entier)
- fact, facteur de multiplication (entier)

CONDITION(S) D'EXÉCUTION:
- la règle-mère est une succession
- la position indiquée est valide
- le facteur indiqué est correcte

EXPLICATION: Multiplie une règle quelconque à l'intérieur d'une règle successive (opération située). Une nouvelle évaluation des dimensions de la règle-mère s'ensuit.

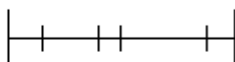
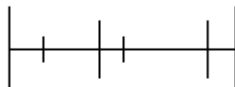
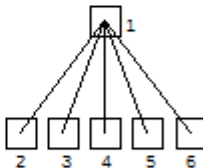
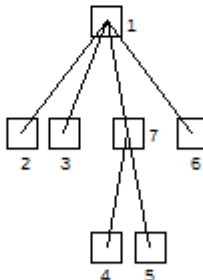
EXEMPLE:	AVANT OPÉRATION	APRÈS OPÉRATION																																																																
GRADUATIONS																																																																		
ARBORESCENCE																																																																		
ESPACE DES RÈGLES	<table><tr><th>Réf.</th><th>A.D.</th><th>Type</th><th>Argument(s)</th></tr><tr><td>1</td><td>50</td><td>SEQ</td><td>2 3 4</td></tr><tr><td>2</td><td>20</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>3</td><td>10</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>4</td><td>20</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>6</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>7</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	Réf.	A.D.	Type	Argument(s)	1	50	SEQ	2 3 4	2	20	ELM	-	3	10	ELM	-	4	20	ELM	-	5				6				7				<table><tr><th>Réf.</th><th>A.D.</th><th>Type</th><th>Argument(s)</th></tr><tr><td>1</td><td>70</td><td>SEQ</td><td>2 3 5</td></tr><tr><td>2</td><td>20</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>3</td><td>10</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>4</td><td>20</td><td>ELM</td><td>-</td></tr><tr><td>5</td><td>30</td><td>MUL</td><td>3 * 2</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	Réf.	A.D.	Type	Argument(s)	1	70	SEQ	2 3 5	2	20	ELM	-	3	10	ELM	-	4	20	ELM	-	5	30	MUL	3 * 2								
	Réf.	A.D.	Type	Argument(s)																																																														
	1	50	SEQ	2 3 4																																																														
	2	20	ELM	-																																																														
	3	10	ELM	-																																																														
	4	20	ELM	-																																																														
	5																																																																	
	6																																																																	
7																																																																		
Réf.	A.D.	Type	Argument(s)																																																															
1	70	SEQ	2 3 5																																																															
2	20	ELM	-																																																															
3	10	ELM	-																																																															
4	20	ELM	-																																																															
5	30	MUL	3 * 2																																																															

NATURE:
création+
modification
TYPE:
composée

PARAMÈTRE(S):
- réf, référence de la règle-mère (entier)
- pos_init, pos_fin, positions initiales et finales
des règles-filles à regrouper (entiers)

CONDITION(S) D'EXÉCUTION:
- la règle-mère est une séquence
- les positions indiquées sont correctes

EXPLICATION: Regroupe deux ou plusieurs règles consécutives quelconques à l'intérieur d'une règle séquentielle. La règle résultante a pour dimension la somme des dimensions de ces sous-règles.

EXEMPLE:	AVANT OPÉRATION	APRÈS OPÉRATION																																																																												
GRADUATIONS																																																																														
ARBORESCENCE																																																																														
ESPACE DES RÈGLES	<table><tr><th>Réf.</th><th>A.D.</th><th>Type</th><th>Argument(s)</th></tr><tr><td>1</td><td>-</td><td>SEQ</td><td>2 3 4 5 6</td></tr><tr><td>2</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>3</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>4</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>5</td><td>20</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>6</td><td>30</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	Réf.	A.D.	Type	Argument(s)	1	-	SEQ	2 3 4 5 6	2	-	-	-	3	-	-	-	4	-	-	-	5	20	-	-	6	30	-	-									<table><tr><th>Réf.</th><th>A.D.</th><th>Type</th><th>Argument(s)</th></tr><tr><td>1</td><td>-</td><td>SEQ</td><td>2 3 7 6</td></tr><tr><td>2</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>3</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>4</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>5</td><td>20</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>6</td><td>30</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>7</td><td>50</td><td>SEQ</td><td>5 6</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	Réf.	A.D.	Type	Argument(s)	1	-	SEQ	2 3 7 6	2	-	-	-	3	-	-	-	4	-	-	-	5	20	-	-	6	30	-	-	7	50	SEQ	5 6								
Réf.	A.D.	Type	Argument(s)																																																																											
1	-	SEQ	2 3 4 5 6																																																																											
2	-	-	-																																																																											
3	-	-	-																																																																											
4	-	-	-																																																																											
5	20	-	-																																																																											
6	30	-	-																																																																											
Réf.	A.D.	Type	Argument(s)																																																																											
1	-	SEQ	2 3 7 6																																																																											
2	-	-	-																																																																											
3	-	-	-																																																																											
4	-	-	-																																																																											
5	20	-	-																																																																											
6	30	-	-																																																																											
7	50	SEQ	5 6																																																																											

GLOSSAIRE

AXE (n.m.) :

[DIC92] Ligne fictive de symétrie (axe de balancement) ou de direction principale d'un ensemble architectural ou de sa représentation graphique : axe d'une façade, d'une colonne, etc...

COORDINATION DIMENSIONNELLE (loc.) :

(Module and metric) Application d'une gamme de mesures au dimensionnement des composants d'un édifice.

COORDINATION MODULAIRE (loc.) :

(Module and metric) Coordination dimensionnelle utilisant le module de base international, les multi-modules, les sous-modules et un système de référence modulaire.

MESURE (n.f.) :

(dictionnaire Flammarion) :

- 1. Évaluation d'une quantité en la comparant à une quantité déterminée. Dimension
- 2. Quantité qui sert de terme à une comparaison. Unité de mesure
- 3. Quantité répondant exactement à un objet déterminé.
- Math. et phys. On appelle mesure d'une grandeur le nombre de fois que l'on trouve dans cette grandeur une autre grandeur de même nature prise pour unité et à laquelle on la compare. Les systèmes de mesure dépendent des unités choisies ; certaines sont indépendantes les unes des autres et fondamentales : ainsi, en physique, la longueur, la masse, le temps. D'autres grandeurs, liées aux premières, sont dites dérivées, et l'unité qui les mesure dépend des unités fondamentales choisies. La mesure des grandeurs permet d'appliquer le calcul et la méthode déductive aux résultats expérimentaux et de traduire ces résultats en lois numériques.

MODULABLE (adj.) :

[DIC92] Qualifie un ouvrage ou un élément qui, du fait de ses dimensions modulaires, se prête à des répétitions ou à des combinaisons multiples ; par exemple des éléments de rangements de cuisine de 40, 80 ou 120 cm de large sont modulables.

MODULAIRE (adj.) :

[DIC92] Qualifie tout ouvrage dont les proportions et les dimensions sont les multiples d'un module de base, ou dont la conception permet la combinaison répétitive.

MODULATION (n.f.) :

[DIC92] Adoption et utilisation d'une unité de base qui, par le jeu de ses multiples, permet de moduler les composants d'une construction, c'est-à-dire d'harmoniser les cotes nominales des ouvrages et des composants préfabriqués.

MODULE (n.m.) :

[DIC92]

1. Longueur prise arbitrairement comme unité de référence pour l'établissement de proportions relatives et de l'ordonnance d'un ensemble architectural. Dans les ordres architecturaux anciens, le module et le demi-diamètre du pied du fût des colonnes.
2. Dans le cadre de la coordination modulaire de l'architecture et des éléments de construction, les organismes officiels ont adopté et normalisé un module de base M de 0,10m ; les cotes nominales du gros-œuvre et des composants industriels doivent être des multiples de ce module M, ou des multi-modules de 2M, 3M et 6M, et éventuellement des sous-multiples M/2 et M/4 ; pour des constructions scolaires, un module de 1,75m est également utilisé.
3. Unité de longueur pratique qui est utilisée en incrément ou coefficient dans la coordination dimensionnelle.

MULTI-MODULE (n.m.) :

[CRO71] Module dont la dimension est un multiple reconnu de 100mm.

PARTITION (n.f.) :

[ZEI77] Une partition du plan est un recouvrement tel que tout point du plan appartient à une partie et une seule, du recouvrement.

PAS (n.m.) :

[DIC92] Distance entre les axes parallèles de deux éléments répétitifs quelconques : tôle ondulée, solives, poutrelles, chevrons, etc...

PAVAGE (n.m.) :

[ZEI77] Un pavage est une partition du plan dont tous les éléments de base sont finis.

RECOUVREMENT (n.m.) :

[ZEI77] Un recouvrement plan est un ensemble de parties du plan, non vides, tel que tout point du plan appartient à l'une d'elles au moins.

SCALAIRE (adj.) :

(Dictionnaire Flammarion) Se dit d'une grandeur complètement connue quand on en connaît la mesure, en la rapportant à une unité (longueur, aire, etc.), par opposition à grandeur vectorielle à laquelle s'ajoute une notion de direction et de sens (force, vitesse, champ électrique).

SOUS-MODULE (n.f.) :

[CRO71] Module dont la dimension est une division reconnue de 100mm.

TAILLE (n.f.) :

La grandeur d'une dimension en terme d'unité définie.

TRAME (n.f.) :

[ZEI77] Trame : une trame est un pavage du plan, admettant deux automorphismes de translation non colinéaires autres que l'identité.

[DIC92]

- 1. Quadrillage qui correspond, sur un plan, au réseau des axes des points d'appui d'une construction (poteaux, pieux de fondations,...). Ensemble formé par des modules de construction répétitifs.
- 2. Une *trame chauffante* (ou nappe chauffante) est un réseau préfabriqué de résistances électriques pour le chauffage par le sol, prête à placer sur le ferrailage d'une dalle (pour un local ou une partie de local) ; une trame chauffante est caractérisée par sa longueur et par son *pas*, espacement entre deux éléments chauffants consécutifs.
- 3. Armature composée de fibres textiles ou synthétiques croisées à 90°, pour servir d'ancrage aux touffes ou aux boucles d'une moquette tuftée ou d'un revêtement tissé. Finition au rouleau d'un enduit de parement.

TRAVAISSON (n.f.) :

[DIC92] Ensemble de travées d'un plancher, d'une couverture. Désigne aussi parfois la largeur d'une travée.

TRAVÉE (n.f.) :

[DIC92] Espace qui sépare deux points d'appui ou deux éléments porteurs d'un ouvrage. Ensemble composé par deux colonnes ou pilastres et par l'entablement ou architrave qui les surmonte.