



HAL
open science

Approche énergétique de la morphologie des opérations de construction

Gilles Olive

► **To cite this version:**

Gilles Olive. Approche énergétique de la morphologie des opérations de construction. [Rapport de recherche] 481/88, Ministère de l'équipement, du logement, de l'aménagement du territoire et des transports / Bureau de la recherche architecturale (BRA); Ecole nationale supérieure d'architecture de Paris-La Villette. 1988. hal-01902135

HAL Id: hal-01902135

<https://hal.science/hal-01902135>

Submitted on 23 Oct 2018

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

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

481



ÉCOLE
D'ARCHITECTURE
DE
PARIS
LA VILLETTE

144
Rue
de Flandre
75019 Paris
Tél. 42.08.79.70

FORMATION DE
RECHERCHE
ARCHITECTURE
URBANISME
ENERGIE

Tél. 42.66.60.00

**Approche énergétique de la morphologie
des opérations de construction**

000

Contrat MELATT 86.01.487

000

RAPPORT FINAL

Janvier 1988



ÉCOLE
D'ARCHITECTURE
DE
PARIS
LA VILLETTE

144
Rue
de Flandre
75019 Paris
Tél. 42.08.79.70

FORMATION DE
RECHERCHE
ARCHITECTURE
URBANISME
ENERGIE

Tél. 42.66.60.00

**Approche énergétique de la morphologie
des opérations de construction**

000

Contrat MELATT 86.01.487

000

RAPPORT FINAL

Janvier 1988

SOMMAIRE

ooo

1 - Résumé de la recherche	1
2 - Fondement de la recherche	3
3 - Déroulement de la recherche	5
4 - Evaluation énergétique simplifiée de la morphologie d'un bâtiment	9
5 - Evaluation énergétique simplifiée des relations d'un bâtiment avec son environnement	38
Annexes	55

ooo

1 - Résumé de la recherche

Cette recherche s'inscrit dans un ensemble plus vaste se déroulant sur 3 années et qui serait consacré successivement aux thèmes suivants :

- 1 - Approche énergétique de la morphologie des opérations de construction
- 2 - Développement de la notion de modèle d'aide à la décision
- 3 - Conception assistée par ordinateur pour l'avant-projet simplifié

Pour ce qui est du premier thème, qui sera le sujet de travail de la formation de recherche "Architecture, Urbanisme et Energie" durant l'année scolaire 86/87, on peut déjà indiquer l'état d'esprit d'exploration qui sera adopté.

Le colloque "Architecture, Urbanisme et Energie" des 12/13-12-85, organisé dans le cadre du programme H2E 85, avait été l'occasion de faire le point sur la prise en compte de la maîtrise de l'énergie dans les démarches architecturales et urbanistiques.

Il s'est avéré que le rapport morphologie/énergie était assez mal maîtrisé depuis l'échelle du logement jusqu'à celle d'une opération concernant un ensemble de logements (immeuble, groupe d'immeubles, lotissement), par manque de moyens conceptuels qui soient, au niveau de l'avant-projet, un compromis judicieux entre précision et utilisabilité.

Dans cette optique, une série de questions sont à aborder :

- comment prendre en considération la forme, le traitement des surfaces et la structuration énergétique interne ?
- quel est le statut énergétique d'un discours architectural donné ?
- que peut-on dire de la faisabilité de l'optimisation multi-critères d'une opération?
- que vont provoquer les nouveaux moyens de gestion sur la morphologie d'une opération ?

Après avoir fait le point des travaux effectués sur le sujet, un séminaire va être organisé avec les principaux spécialistes du domaine concerné.

Ensuite, le travail sera développé selon deux points de vue d'extension de la concrétisation de rapport morphologie/énergie :

- l'échelle
- le nombre de critères d'optimisation

2 - Fondement de la recherche

Tout d'abord, il y a le colloque "Architecture, Urbanisme et Energie" organisé les 12/13-12-85 à l'Ecole d'Architecture de Paris-La Villette par le Plan Construction, la Direction de l'Architecture et de l'Urbanisme du Ministère de l'Urbanisme, du Logement et des Transports et l'Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie, dans le cadre du programme interministériel "Habitat Econome en Energie pour 1985 (H2E 85)". Les actes de ce colloque devraient être publiés courant 1987.

Ensuite, il y a quelques textes écrits en complément de l'étude de Roland CASTRO, réalisée pour le Plan Construction et éditée sous le titre "Où il est montré que l'énergétique n'empêche pas d'architecturer" dans le Collection Expérimentations du Plan Construction en Décembre 86.

Ces textes sont les suivants :

- "Des énergéticiens aux architectes : le relais", A. BORNAREL
- "Architecture et énergie", C. PARANT et J.R. MAZAUD
- "Architecture urbaine bioclimatique", F. NICOLAS et M. REMON
- "La boîte à outils", L. ADOLPHE (Cf. annexe 1)
- "Produits, systèmes et procédés nouveaux", A. BORNAREL

Enfin, il y a le séminaire "Morphologie et Energie" organisé le 24-10-86 par le Bureau d'Etudes Gilles OLIVE (BEGO). (Cf. annexe 2)

3 - Déroutement de la recherche

1. Composition de la Formation de Recherche "Architecture-Urbanisme-Energie" (FRAUE)

Luc ADOLPHE (ingénieur, architecte)

Alain BORNAREL (ingénieur)

Alain ENARD (ingénieur)

Jean-Robert MAZAUD (architecte)

Gilles OLIVE (ingénieur)

2. Structuration du travail

Dans un premier temps, la FRAUE a fait le point de la question "Morphologie et énergie", à partir de l'étude bibliographique de Dominique LAVOLE faite à l'occasion du séminaire "Architecture-Urbanisme-Energie" de 12-85 (Cf. annexe 3).

Dans un deuxième temps, la FRAUE s'est défini deux sujets d'étude à mener parallèlement :

- les opérations de construction d'un seul bâtiment, appelé "1B", où la question à aborder est celle de sa morphologie en relation avec son organisation fonctionnelle interne et avec son environnement.
- les opérations de construction de plusieurs bâtiments, appelé "2B", du fait que l'étude des opérations à 2 bâtiments est celle du cas typologique à partir duquel tous les autres cas peuvent être traités. La question à aborder est celle de la morphologie de l'opération dans les relations qui en résultent entre un bâtiment et son environnement (dont l'autre bâtiment).

Voyons successivement le déroulement de ces deux études.

3. Déroulement de l'étude "1B"

Deux idées directrices ont orienté l'étude. La première a été de construire une typologie des configurations simplifiées des bâtiments à l'aide d'un mode simple de leur génération. Le module élémentaire cubique a été retenu, de 2,5 [m] d'arête. On a supposé que la comparaison de configurations différentes entre elles en serait pas une tâche insurmontable si on travaillait à volume habitable, niveau d'isolation et taux de vitrage donnés.

La deuxième idée a été de se dire que le critère du jugement énergétique de la morphologie d'un bâtiment ne pouvait pas se réduire au coefficient de forme (C_f). Dans la perspective de l'optimisation "volumique" des bâtiments - optimisation de leur configuration - d'autres critères ont été avancés (Cf. annexe 4). Il s'agissait de les définir avec un souci de simplicité, les tester et les comparer entre eux.

Ainsi l'étude a consisté :

- à définir une typologie des configurations simplifiées possibles d'un bâtiment
- à définir des critères simples d'évaluation énergétique de la configuration d'un bâtiment
- à analyser la pertinence de ces critères.

Le chapitre 4 présente les résultats de cette étude.

4. Déroulement de l'étude "2B"

L'idée initiale était d'adopter pour cette étude une démarche analogue à celle présentée précédemment. On aurait défini une typologie des opérations de construction de deux bâtiments, puis évalué énergétiquement la morphologie de ces opérations à travers celle des configurations différenciées.

Mais les paramètres et les contraintes typologiques semblaient difficiles à appréhender qualitativement et quantitativement.

Aussi, après bien des atermoiements, une démarche totalement différente a été adoptée.

Premièrement, on a effectué un repérage des contraintes :

- contraintes physiques : site, soleil, vent
- contrainte urbaines : trame parcellaire, POS et COS, trame des réseaux (voirie, autres)
- contrainte d'agencement : rapport d'un bâtiment à son environnement (autres bâtiments, espaces).

Deuxièmement, on a effectué une analyse typologique de ces contraintes, en termes de relations entre un bâtiment et son environnement.

Le chapitre 5 présente les résultats de cette étude.

5. Conclusions

Comme on pouvait le présumer, l'aboutissement actuel des deux études est inégal.

L'étude "1B" permet d'envisager, au niveau de l'avant-projet simplifié, l'optimisation énergétique en cascade d'un bâtiment : optimisation volumique puis surfacique.

Deux remarques sont cependant à faire. Premièrement, l'optimisation "fonctionnelle" (de la structuration énergétique interne) n'a pas encore été abordée. Deuxièmement, il n'est pas évident que le résultat de cette optimisation en cascade soit optimal.

L'étude "2B" permet d'envisager, au niveau de l'avant-projet simplifié, l'évaluation énergétique d'une opération de construction de plusieurs bâtiments à travers l'évaluation de l'ensemble relationnel caractéristique de cette opération. L'analyse typologique de ces ensembles relationnels permettra peut-être leur optimisation multi-critères.

**4 - Evaluation énergétique simplifiée de la
morphologie d'un bâtiment**

1 - Elaboration d'une typologie des configurations simplifiées possibles d'un bâtiment

Les idées directrices ont été les suivantes :

- générer les configurations possibles de bâtiments par assemblage de modules élémentaires parallélépipédiques. Par simplicité le module choisi a été le cube de 2,5 (m) d'arête.
- limiter le nombre des configurations possibles par la prise en compte de contraintes de simplicité des volumes et d'habitabilité.

Voyons successivement les étapes d'élaboration typologique.

1.1. Caractérisation des facettes d'un cube dans un assemblage :

On caractérisera les facettes par les milieux qu'elles séparent. Ainsi on distinguera 7 types de facettes :

o Les facettes extérieures : elles donnent sur un seul milieu extérieur à l'assemblage. Elles donnent :

- sur le sol (FES)
- sur l'air : a) plancher bas (FEB)
 b) toiture (FEH)
 c) verticales (FEV)

o Les facettes semi-internes (FSE) : elles donnent sur deux milieux extérieurs à l'assemblage (sol et air).

o Les facettes intérieures : elles donnent sur deux milieux intérieurs à l'assemblage. Elles seront :

- éclairées naturellement (FIN)
- non éclairées naturellement, donc éclairées uniquement artificiellement (FIA)

1.2. Caractérisation des cubes dans un assemblage :

On caractérisera les cubes dans un assemblage par leur place relativement à l'extérieur de l'assemblage. On distinguera 5 types de cubes :

o Les cubes périphériques : Ils ont au moins une facette extérieure.

On distinguera 3 types de cubes périphériques :

- cubes enterrés (CE) : toutes les facettes extérieures sont enterrées (FES)
- cubes semi-enterrés (CS) : au moins une facette semi-enterrée (FSE)
- cubes aériens (CA) : pas de facette extérieure en contact avec le sol (FES ou FSE)

o Les cubes intermédiaires (CI) : toutes les facettes sont intérieures et au moins l'une d'entre elles est éclairée naturellement (FIN).

o Les cubes centraux (CC) : toutes les facettes sont intérieures et non éclairées naturellement (FIA).

1.3. Sollicitations et contraintes agissant sur les cubes d'un assemblage :

On distinguera 17 types de sollicitations et contraintes à la traduction plus ou moins complexe :

o Sollicitations et contraintes extérieures :

- sollicitations climatiques spécifiques à chaque facette :

- * ensoleillement direct (DIR)
- * vent (VEN)
- * pluie (PLU)

- sollicitation climatique non spécifique à chaque facette :

- * ensoleillement diffus (DIF)
- * température d'air extérieur (TEX)
- * humidité d'air extérieur (HUM)

- considération sur le site :
- * vue (VUE)
- * bruit (BRU)
- * masques de l'ensoleillement (MAS)

- contraintes urbanistiques :
- * contraintes sur les volumes (VOL)
- * contraintes sur les surfaces (SUR)
- * contraintes d'accès (ACC)

o Sollicitations et contraintes intérieures :

- sollicitations climatiques spécifiques à chaque facette :
- * ensoleillement global transmis à travers les vitrages (GLO)

- sollicitations non spécifiques à chaque facette dues aux effets d'occupation (chauffage, ventilation, éclairage, occupants, processus) traduits par des scénarios d'usages des espaces :
- * espace jour (JOU)
- * espace nuit (NUI)
- * espace cuisine (CUI)
- * espace tampon (TAM)
- * espace salle de bains (SDB)

1.4. Contraintes typologiques :

A partir de ces caractéristiques génératrices des configurations possibles d'un bâtiment, on aboutit à une combinatoire très importante. Aussi va-t-on y apporter des limitations qui n'enlèvent rien de la portée significative de la typologie résultante.

Ainsi trois contraintes simplificatrices sont apportées.

Premièrement, on adoptera une hypothèse de simplicité volumétrique, comme indiqué par la figure 1.

Deuxièmement, on se contentera d'étudier l'effet d'échelle par 3 types de

bâtiments :

- maison individuelle (MI) : 100 m² de surface habitable
- petit collectif (PC) : 750 m² (8 appartements de 93 m² et 12 de 62 m²)
- grand collectif (GC) : 3 000 m² (30 à 50 appartements)

Troisièmement, on respectera une contrainte d'habitabilité, limitant l'épaisseur minimale d'un bâtiment à 2,5 m. C'est la contrainte la plus drastique pour limiter la variété de la typologie.

1.5. Typologie résultante :

Les figures 2 à 4 présentent :

- 9 configurations de maison individuelle
- 8 configurations de petit collectif
- 5 configurations de grand collectif

Ces 22 configurations vont servir de support à l'étude du rapport morphologie/énergie.

2 - Elaboration de critères simples d'évaluation énergétique de la configuration d'un bâtiment

L'idée de réaliser en cascade (cf. annexe 4) l'optimisation énergétique d'un bâtiment, d'abord d'un point de vue volumique (traitement du volume) puis d'un point de vue surfacique (traitement de la surface du volume traité) répond à un souci d'opérationnalité. Comment faire autrement si on veut tenter une procédure d'optimisation d'un projet ? De plus cette optimisation en cascade ne permettra de produire qu'une approximation de la solution optimale.

En revanche l'idée de réaliser en cascade l'évaluation énergétique d'un bâtiment, volumique puis surfacique répond au seul souci de suivre la procédure d'élaboration d'un projet. La conséquence de cette idée est simple : lorsqu'on s'attache à l'évaluation énergétique du volume d'un bâtiment on est obligé de supposer un certain traitement de la surface de

ce volume (isolation et taux de vitrage).

Comme l'évaluation a généralement pour finalité de permettre un choix parmi différentes options par finalité la comparaison de leur évaluation, on comprend que la supposition d'un certain traitement surfacique n'est pas problématique si il est réaliste, c'est-à-dire significatif d'un traitement classique.

Ainsi, on adoptera l'hypothèse de vitrage suivante : seules les facettes extérieures verticales (FEU) sont vitrées avec un taux de vitrage classique aboutissant à 1 m^2 de surface vitrée par cube. On obtient alors la règle de vitrage suivante des cubes :

- cube périphérique aérien (CA) courant (1 seule facette extérieure) : 1 m^2
- cube périphérique aérien (CA) d'angle (2 facettes extérieures) : $2 \times 0,5 \text{ m}^2$
- autres cubes : 0 m^2

De plus on suppose que le vitrage est fait par utilisation d'un seul type de vitrage.

Fort de cette hypothèse de vitrage, on peut alors raisonner en deux temps.

Dans un premier temps, on détermine une stratégie d'isolation de l'enveloppe du bâtiment. Pour cela, on choisit d'isoler les différentes parties opaques de l'enveloppe avec des types définis d'isolants. Puis on effectue l'optimisation de l'isolation de l'enveloppe. La figure 5 présente la procédure de calcul, simple dans le fond. Il en résulte la définition d'un premier critère, appelé **facteur de traitement F_t** .

Il correspond à un coût d'isolation optimal (minimal) réduit, au sens où il ne prend en compte (dans son expression mais pas dans la procédure d'optimisation) que le coût de l'isolant.

Ainsi dans ce premier temps, on tient compte de la difficulté technico-économique de traitement surfacique de l'enveloppe d'un bâtiment. On voit le grand progrès réalisé par rapport :

- au coefficient de forme classique $C_f = \frac{\sum S_j}{V_k}$, où $\sum S_j$ correspond à la

surface extérieure développée par le bâtiment de volume habitable V_h .

- au facteur de forme F_f présenté dans l'annexe 4 : $F_f = \frac{\sum_j S_j}{V_e^{\frac{2}{3}}}$

Dans un deuxième temps, ayant adopté une stratégie d'isolation applicable à tout bâtiment, on définit un **facteur de besoin F_b** qui fournit une évaluation de la qualité énergétique du volume traité surfaciquement d'une manière conventionnelle. La figure 6 présente ce nouveau critère. Il représente les déperditions du bâtiment desquelles on déduit l'énergie solaire incidente sur les parois vitrées. Ce qui, du point de vue morphologique est suffisamment significatif des besoins énergétiques utiles d'un bâtiment.

Pour les coefficients d'irradiation des parois $C_{j,k}$ utilisés dans le calcul de F_b , on adoptera des valeurs déduites de celles données pour le coefficient d'orientation et d'inclinaison CI de CSTB, en les modifiant afin de tenir compte d'un certain effet d'ombre portée :

paroi	C_{jk}
sud	1,00
sud-ouest sud-est	0,84
ouest est	0,54
nord-ouest nord-est	0,29
nord	0,22
toiture	0,81

3 - Analyse de la pertinence des critères d'évaluation énergétique de la morphologie des bâtiments :

Les hypothèses morphologiques ont été présentées précédemment. Pour les hypothèses énergétiques, on rajoutera les suivantes :

- l'énergie solaire incidente sur les parois opaques est négligée (car elle a un poids négligeable par sa partie transmise à travers l'enveloppe dans la détermination des besoins énergétiques utiles du bâtiment).
- le K_{jn} des parois vitrées sera pris égal à $2,6 \text{ (W/m}^2 \times \text{K)}$
- la somme des résistances thermiques superficielles des parois sera prise égale à :
 - * parois verticales : $r_s = 0,22 \text{ (m}^2 \times \text{K/W)}$
 - * toiture : $r_s = 0,18$
- le taux de ventilation adopté sera $N + 0,5 \text{ (vol/heure)}$
- le coefficient G sera pris égal $0,65$ ou $0,70$ ou $0,75$ selon le type de bâtiment MI ou PC ou GC.
- la localisation climatique choisie est la zone HI
- en conséquence de la localisation, $\frac{q}{t}$ sera égal à $7 \text{ (W/m}^2 \times \text{K)}$

Pour chaque type de bâtiment 3 tableaux rassemblent les résultats d'analyse. Tous les calculs sont faits pour l'orientation optimale de chaque bâtiment, c'est-à-dire celle qui maximalise sa surface sud équivalente.

Le tableau I fournit :

- le coefficient de forme (CF) et sa variation relative (VRCF) par rapport à une référence choisie dans la famille étudiée.
- la répartition selon les orientations des parois verticales, exprimées en nombre de facettes (NFVO) et en m^2 (SFV).
- la surface totale de toiture, exprimée en nombre de facettes (NFH)
- la surface totale de vitrage (SV) et sa variation relative (VRSV).
- la répartition selon les orientations des surfaces opaques, exprimées en

m² (S₀)

- la répartition selon les orientations des surfaces vitrées, exprimées en m² (S_{V0})
- l'orientation optimale du bâtiment (O*)
- une approximation de la surface sud équivalente (optimale) du bâtiment (SS*) et sa variation relative (VRSS).

Le tableau II traite plus particulièrement de l'effet d'orientation sur SS et VRSS.

L'étude de sensibilité est faite sommairement pour chaque type de bâtiment de la manière suivante :

- maison individuelle : en barre ou en cube
- petit collectif : appartement de 60 ou 100 m²
- grand collectif : appartement de 100 m² environ en angle ou en partie courante.

Le tableau II fournit pour chaque grandeur sa valeur et sa variation relative. Ces grandeurs sont les suivantes :

- DU : déperditions par les parois opaques, en (W/K)
- K : coefficient traduisant la stratégie d'isolation, pour laquelle on a adopté :
 - o parois horizontales basses : loi I, $\lambda = 0,041$
 - o parois horizontales hautes : loi II, $\lambda = 0,041$
 - o parois verticales : loi II, $\lambda = 0,039$
- FT : facteur de traitement
- FB : facteur de besoin

Les figures 7 à 9 fournissent les tableaux I à III pour la maison individuelle.

Les figures 10 à 12 les fournissent pour le petit collectif.

Les figures 13 à 15 les fournissent pour le grand collectif.

Regardons d'abord l'efficacité des critères d'évaluation. Pour être efficace la variation relative d'un critère doit être ni trop faible, ni trop forte. Qu'en est-il pour les 3 critères CF, FT et FB, sur l'échantillon d'étude des

configurations de bâtiments ?

TYPE	VRCF		VRFT		VRFB	
	max	moy	max	moy	max	moy
maison individuelle	25	12	98	54	55	30
petit collectif	21	7	37	26	17	10
grand collectif	18	13	46	33	9	6

On voit que les 3 critères ont une efficacité intéressante, généralement plus grande pour FT et FB comparativement à CF, sauf pour FB dans le cas de grand collectif. Cela se comprend si on retient que, d'une part CF et FT sont significatifs de l'aspect "déperditions" de l'énergétique de la morphologie, avec CF pour le point de vue technique et FT pour le point de vue économique, et d'autre part FB est significatif de l'aspect "besoins" de l'énergétique de la morphologie. On peut alors repérer les fluctuations d'efficacité suivantes :

- évolutions parallèles des efficacités de CF et FT, avec des efficacités plus faibles pour le petit collectif.
- gain d'efficacité de FB dans son application de la maison individuelle au grand collectif.

Voyons maintenant ce qu'apportent les 3 critères dans le classement d'ordre qu'ils permettent.

Tout d'abord, les enseignements concernant les 3 familles de types de bâtiments sont fournis dans la figure 16. Rien que de logique, à savoir que CF décroît des types MI à GC alors que FT et FB croissent des types MI à GC. Ensuite, les enseignements concernant chacune des 3 familles de types de bâtiments.

Pour la famille MI, on aboutit aux fluctuations d'ordre suivantes, où "min" et "max" sont les ordres "meilleurs" et "plus mauvais".

TYPE	FLUCTUATIONS D'ORDRE	
	min	max
T 11	1 (FB)	8 (FT)
T 12	1 (CF)	8 (FB)
T 13	1 (FT)	9 (CF)
T 14	3	3
T 15	2	4 (FB)
T 16	4 (CF)	9 (FB)
T 17	6 (CF)	7
T 18	5 (FB)	8 (CF)
T 19	6 (FB)	9 (FT)

Les meilleurs types pour un critère sont les plus fluctuants. Deux types sont très stables des 3 points de vue.

Pour la famille PC, on aboutit aux fluctuations d'ordre suivantes :

TYPE	FLUCTUATIONS D'ORDRE	
	min	max
T 21	1 (FT)	5 (FB)
T 22	1 (CF)	7 (FB)
T 23	3 (FB)	5 (FT)
T 24	6 (FB)	7
T 25	2 (FB)	8 (CF)
T 26	4 (FB)	6 (FT)
T 27	1 (FB)	9 (FB)
T 28	2 (FT)	8 (FB)

Les meilleurs types pour un critère sont les plus fluctuants. Un type est très stable des 3 points de vue.

Pour la famille GC, on aboutit aux fluctuations d'ordre suivantes :

TYPE	FLUCTUATIONS D'ORDRE	
	min	max
T 31	1 (CF)	2
T 32	1 (FB)	5 (FT)
T 33	3 (FT)	5 (CF)
T 34	1 (FT)	5 (FB)
T 35	3 (FB)	4

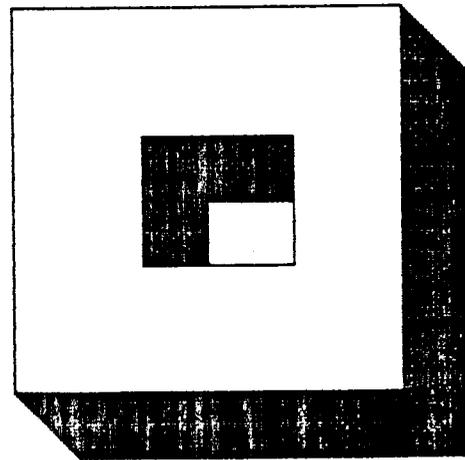
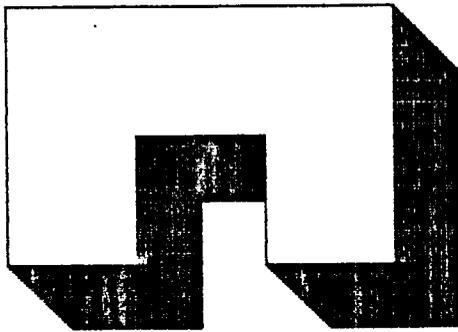
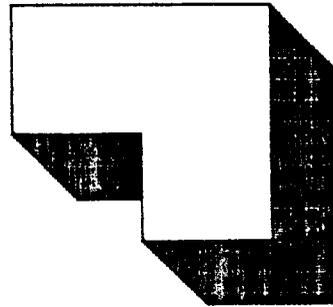
Les meilleurs types pour un critère sont presque toujours les plus fluctuants. Trois types sont stables des 3 points de vue.

D'où une première conclusion sur les critères d'évaluation. Tous les 3 sont très significatifs car ils identifient des meilleures configurations qui sont mal jugées par les autres.

Une deuxième conclusion s'impose, d'après la nature des critères. FT et FB sont plus significatifs que CF (ou le facteur de forme FF). On peut même dire que FT est adapté pour qui ne s'intéresse qu'à la construction d'un bâtiment. FB est adapté pour qui s'intéresse à l'exploitation d'un bâtiment.

Enfin une troisième conclusion peut être tiré de cet exercice. FT et FB sont deux critères un peu plus difficiles d'utilisation que CF, mais ils n'ont rien de complexes qui les feraient rejeter de la phase de conception de l'avant-projet.

o Simplicité de plan :



o Simplicité d'élevation :

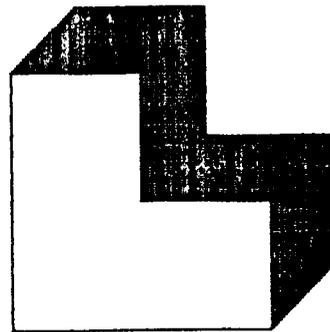
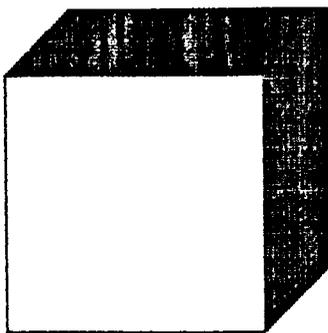
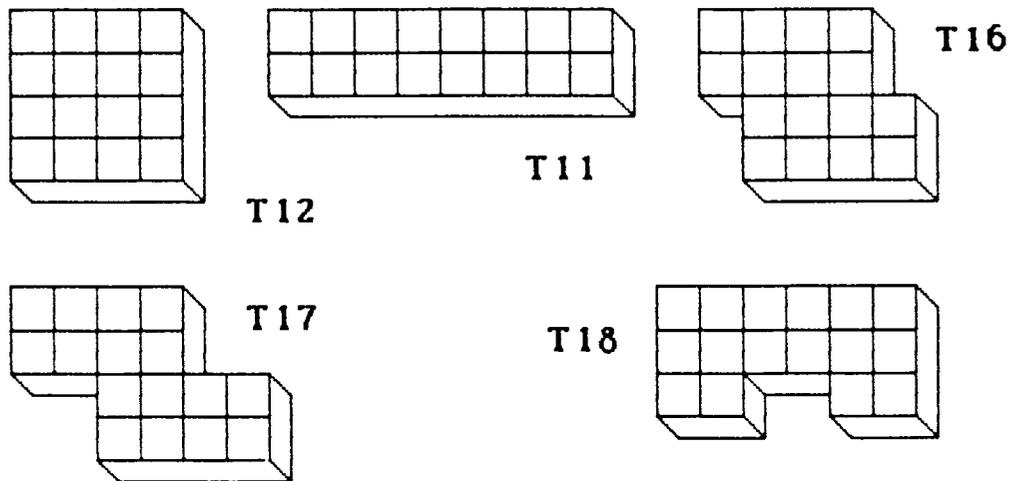


Figure 1 : Hypothèses de simplicité pour la typologie de configuration d'un bâtiment.

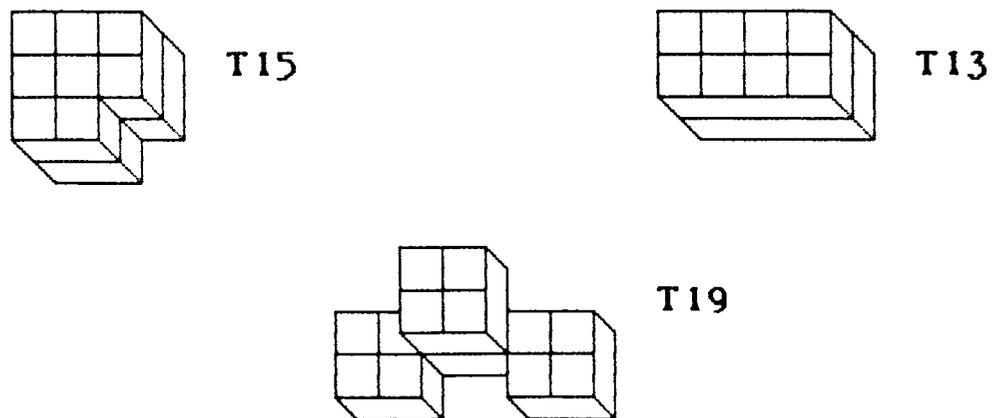
o **Typologie résultante :**

9 configurations de 16 cubes offrant une surface habitable de 100 m².

o **Configurations à 1 niveau :**



o **Configurations à 2 niveaux :**



o **Configurations à 3 niveaux :**

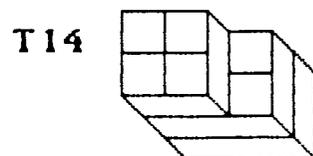
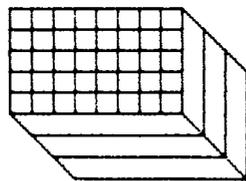


Figure 2 : Typologie de configuration de la maison individuelle.

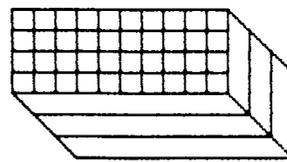
o Typologie résultante :

8 configurations de 120 cubes offrant une surface habitable de 750 m².

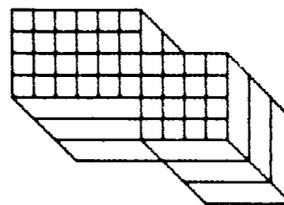
o Configurations à 3 niveaux :



T22

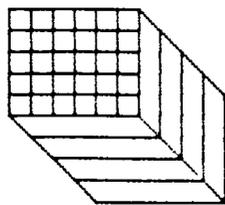


T23

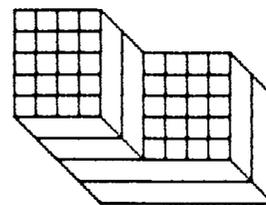


T26

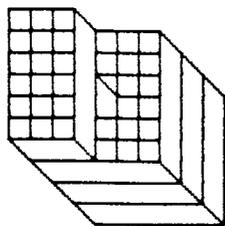
o Configurations à 4 niveaux :



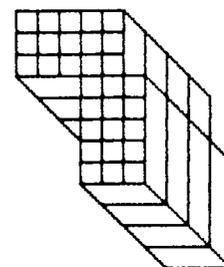
T21



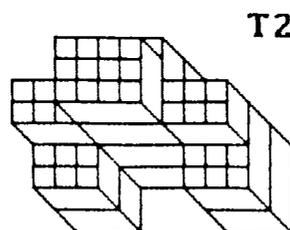
T24



T25



T27



T28

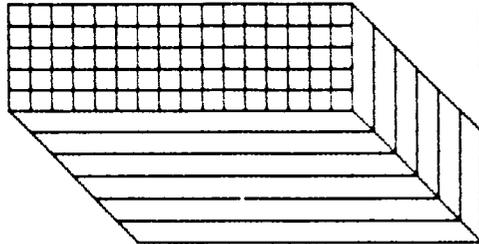
Figure 3 : Typologie de configuration du petit collectif.

o Typologie résultante :

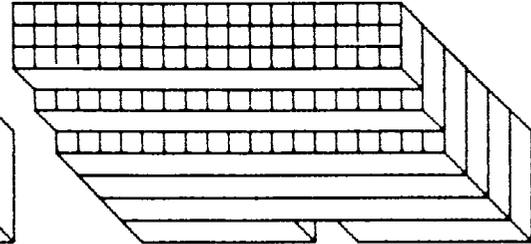
5 configurations de 480 cubes offrant une surface habitable de 3000 m².

o Configurations à 6 niveaux :

T31

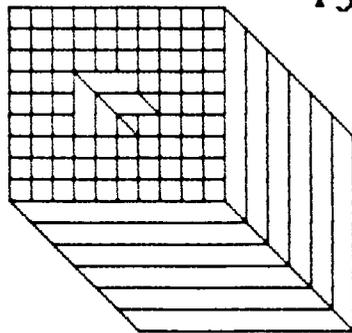


T32

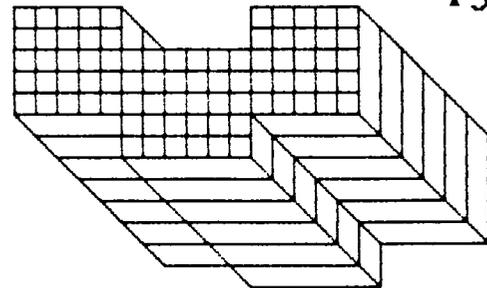


porche (-6 cubes)

T33



T35



o Configuration à 6+1 niveaux :

T34

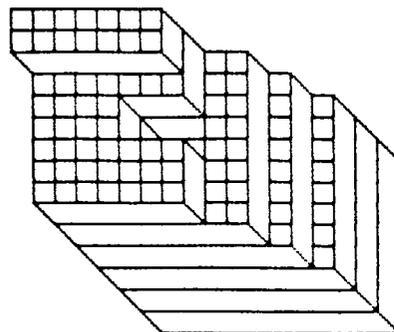


Figure 4 : Typologie de configuration du grand collectif.

o Paramétrage du problème pour les études de sensibilité :

- conformation possible des bâtiments, par combinatoire du module élémentaire cubique de longueur d'arête LA, selon VH (volume habitable).
- coefficient volumique de déperdition G, en (W/m³.K)

selon la formule :

$$G = \frac{1}{VH} \sum_j \sum_k KO_{j,k} \times SO_{j,k} + \frac{KV \times TV \times NFL \times LA^2}{VH} + GA$$

où :

j : indice relatif aux modules élémentaires extérieurs, au nombre de NM

KO_{j,k} : conductance surfacique des parties opaques des parois extérieures

(k = 1 : surface horizontale basse; k = 2 : surface horizontale ou inclinée haute; k = 3 : surface verticale), en (W/m² x K)

$$KO_{j,k} = KO_k \times V_j$$

SO_{j,k} : surface des parties opaques des parois extérieures, selon les

règles suivantes :

k = 1 et 2 : SO_{j,k} = LA² ou = 0 selon j

k = 3 : SO_{j,3} = LA² (1_j - TV)

où 1 représente le nombre de faces extérieures du module concerné (1 = 1 ou 2)

TV : taux de vitrage

SV : surface de vitrage : TV x NM x LA²

KV : conductance surfacique jour-nuit de parties vitrées des parois extérieures

$$SH = NM \times LA^2$$

où NM est le nombre de modules constituant le bâtiment

$$VH = NM \times LA^3$$

GA : part de G relative au besoin en chauffage de l'air neuf :

$$GA = 0,34 \times N \times VH \text{ (avec N taux de ventilation exprimé en vol/heure)}$$

o Optimisation de l'isolation des parties opaques des parois extérieures (optimisation avec contraintes mixtes) :

- Contraintes unilatérales : KO_k - KOM_k ≥ 0

où : KOM_k : conductance minimale



Figure 5 : Prise en compte de la stratégie d'isolation dans la qualification énergétique de la morphologie.

- Contrainte bilatérale :

$$\sum_k KO_k \cdot SO_k - DO = 0$$

avec :

$$SO_k = \sum_j SO_{jk}$$

$$DO = G \times VH - GA \times VH - KV \times TV \times NH \times LA^2 = (G - GA) \times VH - DV$$

- Fonction objectif (coût d'isolation des parties opaques des parois extérieures, CIO) :

$$CIO = \sum_k SO_k \left[\frac{A_k}{KO_k} + B_k \right]$$

- Valeurs optimales :

$$KO_k^* = K \sqrt{A_k} \quad \text{avec} \quad K = \frac{DO}{\sum_k SO_k \sqrt{A_k}}$$

$$CIO^* = \sum_k SO_k \left[\frac{\sqrt{A_k}}{K} + B_k \right]$$

o Facteur de traitement, F_t :

$$F_t = CIO^* \text{ réduit} = \frac{1}{K} \sum_k SO_k \sqrt{A_k} = \frac{DO}{K^2}$$

o Valeurs de A_k :

$$CIO_k = CI_k \times e_k + CPI_k = \frac{A_k}{KO_k} + B_k$$

avec :

CIO_k : coût d'isolation de la partie opaque des parois extérieures.

CI_k : coût d'isolant, en (F/m^3)

CPI_k : coût de pose d'isolant, en (F/m^2)

$$\text{Comme : } \frac{1}{KO_k} = (r_s + r_i)_k = \left(r_s + \frac{e}{\lambda} \right)_k$$

$$A_k = CI_k \times \lambda_k ; B_k = CPI_k - A_k \times r_{sk}$$

$$CI_k = 3980 - 86 \times 10^3 \times \quad (\text{loi de coût élevé ou loi I})$$

$$= 1673 - 36 \times 10^3 \times \quad (\text{loi de coût faible ou loi II})$$

Figure 5 : Prise en compte de la stratégie d'isolation dans la qualification énergétique de la morphologie (suite et fin).

o Définition de la grandeur de base servant pour la définition du facteur de besoin :

$$(G_1 - G_A) V_H - \frac{e}{t} \sum_0 C_0 \times S E_0$$

où :

C_0 : coefficient d'irradiation d'une paroi fonction de son orientation et de son inclinaison

paroi horizontale basse ($k = 1$) : 0

paroi horizontale haute ($k = 2$) : C_{IH}

paroi verticale ($k = 3$) : C_{IV_0}

$S E_0$: surface totale des parois extérieures pour une orientation

$k = 2$: $S E_0 = L A^2 \times N F H$ (NFH : nb de facettes horizontales hautes)

$k = 3$: $S E_0 = S F V_0 = L A^2 \times N F V_0$ (NFV₀ : nb de facettes verticales par orientation)

$S E_0 = S O_0 + S V_0$ ($S O_0$ et $S V_0$ surfaces totales des parties opaques et des parties vitrées)

$\frac{e}{t}$: rapport de la moyenne, durant la période de chauffage, de la puissance du rayonnement solaire reçu par m^2 de surface sud en absence d'ombrage sur l'écart moyen de température entre l'intérieur et l'extérieur, sur la même période.

Il en résulte, en prenant l'orientation optimale d'une configuration :

$$F_b = (G_1 - G_A) V_H - \frac{e}{t} L A^2 [C_{IH} \times N F H + \sum_0 C_{IV_0}^* \times N F V_0]$$

ou :

$$F_b = D O + L A^2 [K V \times T V \times N H - \frac{e}{t} (C_{IH} \times N F H + \sum_0 C_{IV_0}^* \times N F V_0)]$$

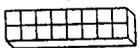
o Définition du facteur de besoin, F_b :

On ne tient compte que de l'éclaircissement des parties vitrées :

$$F_b = D O + K V \times S V - \frac{e}{t} \sum_0 C_{IV_0}^* \times S V_0$$

Figure 6 : Prise en compte de la possibilité de récupération de la chaleur d'ensoleillement dans la qualification énergétique de la morphologie

Figure 7 : Maison individuelle, tableau 1

Type	CF VRCF	NFV ₀	SFV ₀	NFH	SV VRSV	SO ₀	SV ₀	O*	SS* VRSS
T11	0,90 13	2 8 2 8	12,5 50 12,5 50	16	16 33	11,5 43 11,5 43	1 7 1 7		9,62 39
T12	0,80 REF	4 4 4 4	25 25 25 25	16	12 0	22 22 22 22	3 3 3 3		6,90 REF
T13	1,00 25	4 8 4 8	25 50 25 50	8	14 17	23 44 23 44	2 6 2 6		9,48 37
T14	0,85 6	6 8 6 8	37,5 50 37,5 50	6	16 33	34,5 45 34,5 45	3 5 3 5		9,34 35
T15	0,80 0	6 6 6 6	37,5 37,5 37,5 37,5	8	14 17	34,5 33,5 31,5 33,5	3 4 3 4		9,04 31
T16	0,85 6	4 5 4 5	25 31,25 25 31,25	16	11 -8	23 27,75 23 27,75	2 3,5 2 3,5		6,43 -7
T17	0,90 13	4 6 4 6	25 37,5 25 37,5	16	12 0	23 33,5 23 33,5	2 4 2 4		7,04 2
T18	0,95 19	5 8 5 8	31,25 50 31,25 50	12	13 8	28,75 46 28,75 46	2,5 4 2,5 4		7,58 10
T19	0,90 13	4 6 4 6	25 37,5 25 37,5	16	14 17	27,5 32,5 27,5 32,5	2,5 5 2,5 4		7,29 6

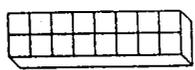
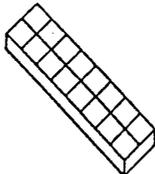
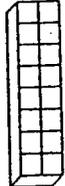
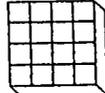
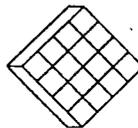
	REF	↑	
			
SS (m ²)	9,62	9,33	8,78
VRSS (%)	0	-3	-9
		REF	
			
SS		6,9	6,78
VRSS		0	-2

Figure 8 : Maison individuelle, tableau II

Figure 9 : Maison individuelle, tableau III

Type	DO		K		FT		FB		Ordre		
									CF	FT	FB
T11	66	REF	0,062	REF	17170	20	40	REF	5	8	1
T12	76	15	0,077	24	12818	46	59	46	1	4	8
T13	71	8	0,090	45	8765	REF	41	2	9	1	2
T14	66	0	0,085	37	9135	4	42	5	3	3	3
T15	71	8	0,090	45	8765	0	44	9	2	2	4
T16	79	20	0,076	23	13677	56	63	55	4	5	9
T17	76	15	0,071	15	15076	72	58	44	6	7	7
T18	74	12	0,073	18	13886	58	55	36	8	6	5
T19	71	8	0,064	3	17334	98	56	40	7	9	6

Figure 10 : Petit collectif, tableau 1

Type	CF VRCP	NFV ₀	SFV ₀	NFH	SV VRSV	SO ₀	SV ₀	O*	SS* VRSS
T21	0,39 0	24 20 24	150 125 125 150	30	72 9	130 109 109 130	20 16 20 16	↑ 	41,68 16
T22	0,39 REF	24 15 24	150 93,75 93,75 150	40	66 0	129 81,75 81,75 129	21 12 21 12	↑ 	38,58 7
T23	0,41 5	30 12 30	187,5 75 187,5 75	40	72 9	160,5 66 66 160,5	27 9 27 9	↑ 	42,66 18
T24	0,43 10	24 20 24	150 125 125 150	40	72 9	130 109 109 130	20 16 20 16	↑ 	41,68 16
T25	0,47 21	24 30 24	150 187,5 187,5 150	34	83 26	131,5 164,5 164,5 131,5	18,5 23 18,5 23	← 	42,76 19
T26	0,41 5	30 12 30	187,5 75 187,5 75	40	72 9	163,5 63 63 163,5	24 12 24 12	↑ 	42,66 18
T27	0,40 3	32 24 32	200 150 150 200	30	82 24	176 132 134 176	24 18 24 16	↗ 	49,18 37
T28	0,42 8	30 17 30	187,5 106,75 106,75 187,5	33	61 -8	165,5 97,75 97,75 165,5	22 8,5 22 8,5	↑ 	36,02 REF

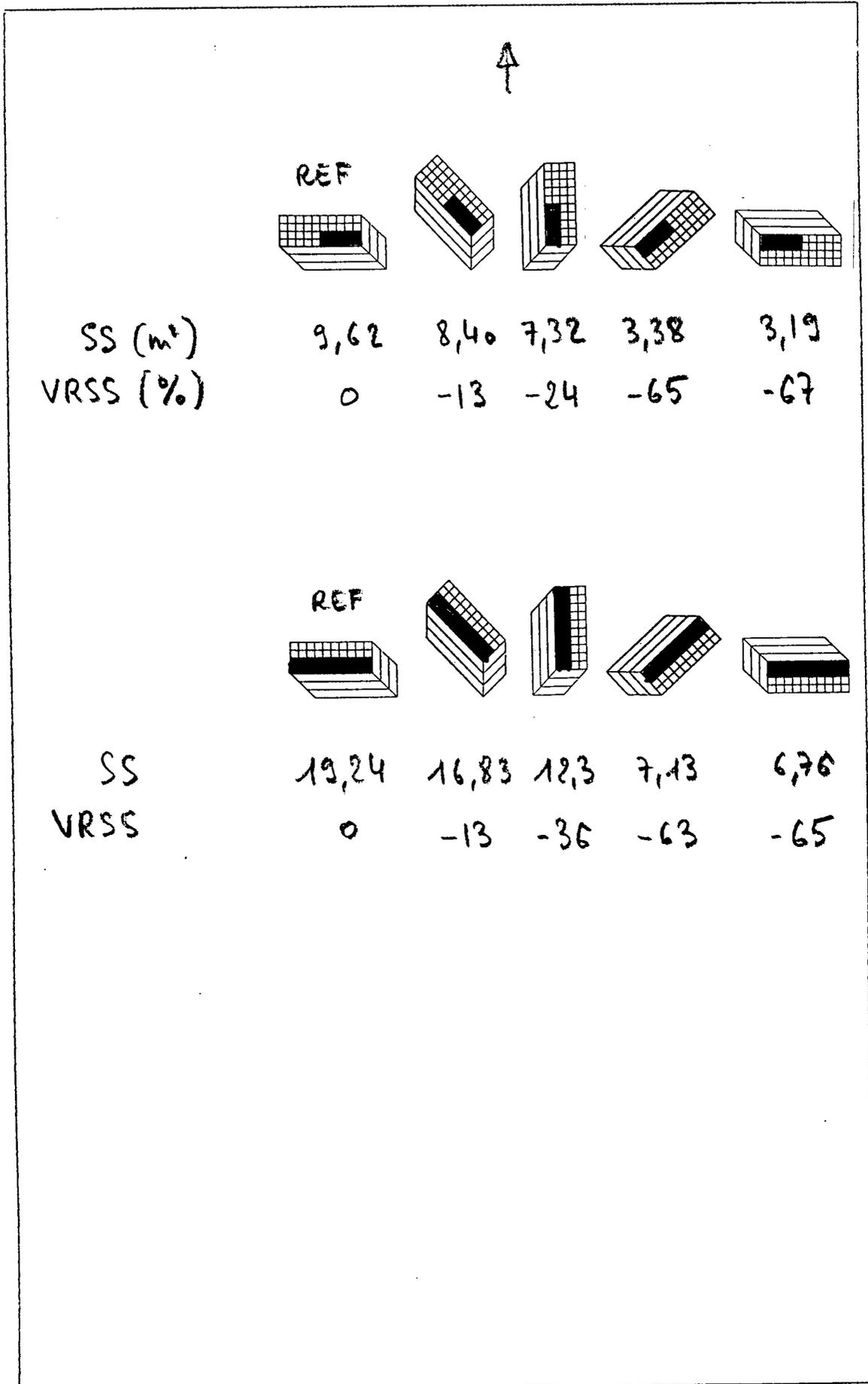
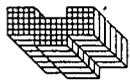


Figure 11 : Petit collectif, tableau II

Figure 12 : Petit collectif, tableau III

Type	DO VRDO	K VRK	FT VRFT	FB VRFB	Ordre		
					CF	FT	FB
T21	712,8 4	0,25 19	11405 REF	608 9	2	1	5
T22	728,4 6	0,23 10	13769 21	630 13	1	3	7
T23	712,8 4	0,22 5	14727 29	601 8	4	5	3
T24	712,8 4	0,22 5	14727 29	608 9	7	7	6
T25	684,2 REF	0,22 5	14136 24	600 8	8	4	2
T26	712,8 4	0,22 5	14727 29	601 8	5	6	4
T27	686,8 0	0,21 REF	15574 37	550 REF	3	9	1
T28	741,4 8	0,24 14	12872 13	648 17	6	2	8

Figure 13 : Grand collectif, tableau I

Type	CF VRCF	NFV ₀	SFV ₀	NFH	SV VRSV	SD ₀	SV ₀	O*	SS* VRSS
T31	0,28 REF	96 30 30	600 187,5 187,5	80	228 0	510 163,5 165,5	90 24 24	↑ 	135,7 22
T32	0,32 14	108 33 33	675 206,25 206,25	96	256 12	573 180,25 180,25	102 26 26	↑ 	147,1 32
T33	0,33 18	84 72 72	525 450 450	80	258 13	456 390 390	69 60 60	↑ 	117,7 6
T34	0,29 6	84 66 66	525 412,5 412,5	53	228 0	460 363,5 363,5	65 49 49	↑ 	111,1 REF
T35	0,32 14	96 54 54	600 337,5 337,5	80	228 0	522 301,5 301,5	78 36 36	↑ 	134,0 21

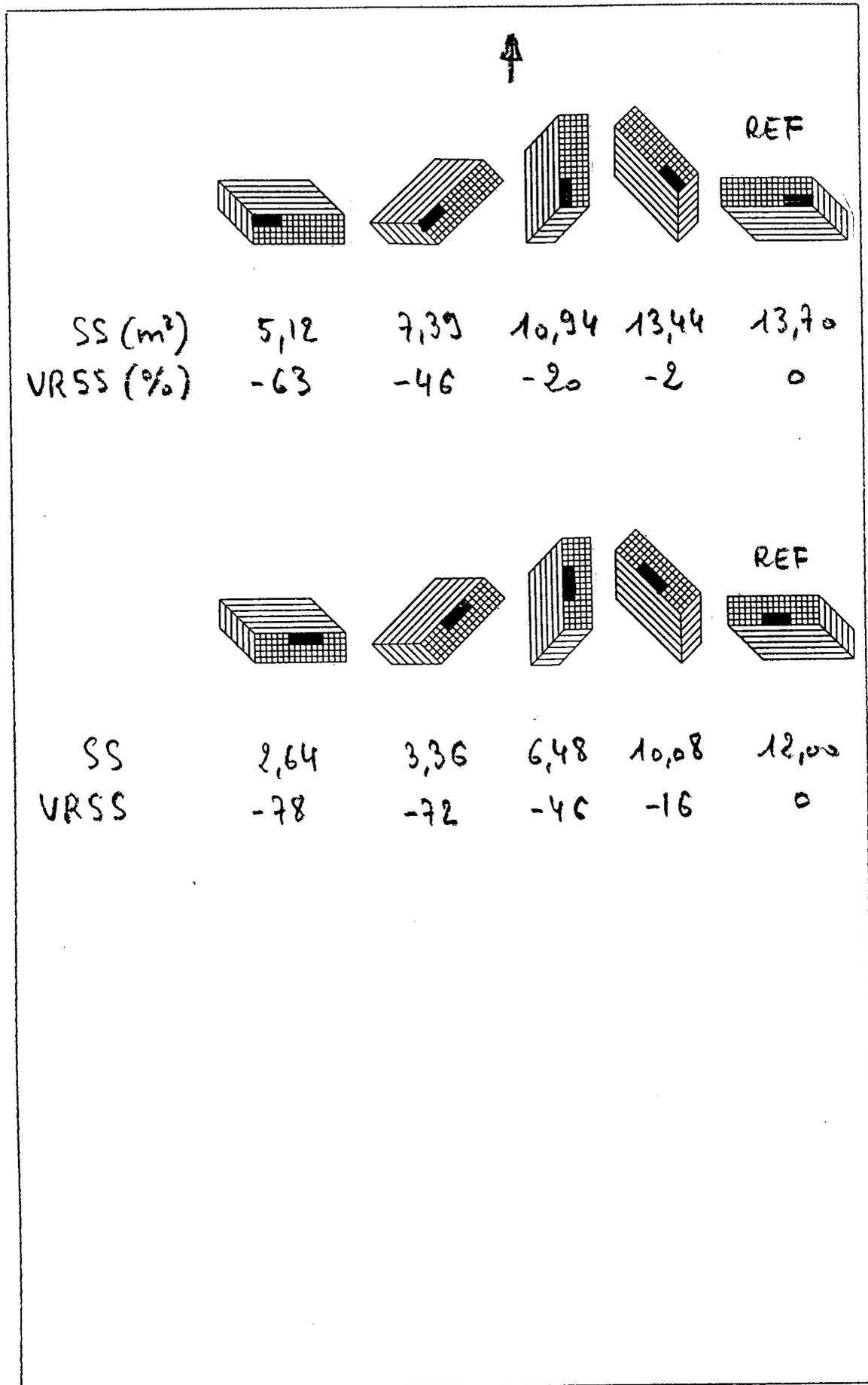


Figure 14 : Grand collectif, tableau II

Figure 15 : Grand collectif, tableau III

Type	DO	K	FT	FB	Ordre		
	VRDO	VRK	VRFT	VRFB	CF	FT	FB
T31	3382 2	0,43 19	18294 5	3025 3	1	2	2
T32	3304 0	0,36 REF	25494 46	2940 REF	3	5	1
T33	3304 REF	0,37 3	24134 38	3151 7	5	3	4
T34	3382 2	0,44 22	17469 REF	3197 9	2	1	5
T35	3382 2	0,37 3	24704 41	3037 3	4	4	3

Critère		Global	MI	PC	GC
CF	moy	0,42	0,88	0,42	0,31
	min	0,28	0,80	0,39	0,28
	max	1,00	1,00	0,47	0,33
FT	moy	15893	12958	13992	22018
	min	8765	8765	11405	17469
	max	25494	17334	15574	25494
FB	moy	939	51	607	3070
	min	40	40	556	2940
	max	3197	63	648	3197

Figure 16 : Comportement moyen des 3 critères.

5 - Evaluation énergétique simplifiée des relations d'un bâtiment avec son environnement

1 - Orientation de la réflexion

La complexité du problème réside dans la multiplicité des facteurs à prendre en compte:

* multiplicité des contraintes intervenant sur les choix d'urbanisme, contraintes souvent tellement contraignantes en milieu urbain qu'elles relèguent l'énergétique à un plan secondaire, quand elles n'interdisent pas toute prise en compte de critères énergétiques.

* multiplicité des configurations et des objets (immeubles, espaces, végétation, relief...) qui interviennent pour modifier, modeler ces contraintes énergétiques (ombres, masques, protection contre les vents ou au contraire création de courants d'air...).

* multiplicité des critères d'évaluation, dont certains peuvent être quantifiés (énergie solaire incidente...), et d'autres relèvent des questions d'usage et de confort (confort des espaces extérieurs...).

L'objectif est de parvenir à une modélisation, non pas forcément au sens mathématique du terme, mais plutôt à un modèle de fonctionnement des effets énergétiques sur une configuration urbaine. Dans une première étape, un certain nombre d'options simplificatrices ont été définies:

* Réduire le problème général au seul rapport d'un seul bâtiment avec son environnement.

* Réduire l'environnement au seul environnement immédiat de l'immeuble choisi et notamment, dans un premier temps, à un seul bâtiment voisin.

* Réduire le nombre des contraintes énergétiques et non énergétiques ainsi que le nombre de critères d'évaluation pris en compte.

On s'efforcera, dans un premier temps de construire un alphabet susceptible de transcrire les relations d'un bâtiment avec son environnement immédiat. Puis, dans un deuxième temps, on utilisera cet alphabet pour qualifier, du point de vue énergétique, la nature de ces relations dans un certain nombre de configurations.

2 - Les éléments de "l'alphabet"

On veut exprimer des relations entre des objets appartenant soit au bâtiment-centre (il s'agit du bâtiment dont on veut étudier, sous l'angle énergétique, les relations avec son environnement immédiat), soit à cet environnement lui-même. Chacun de ces objets sera représenté par une lettre. Quant à la relation entre deux de ces objets, un indice numérique caractérisera la nature de la contrainte qu'elle exprime. Chaque relation entre un couple d'objet s'écrira ainsi sous la forme suivante:

A<12>a

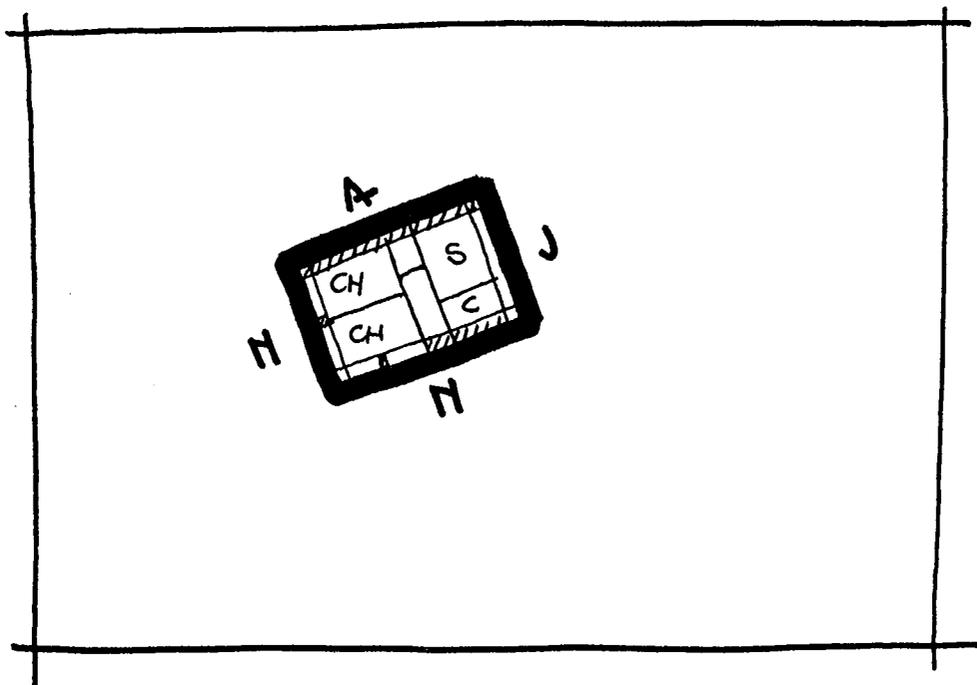
21 - Caractérisation du bâtiment centre

Les parois extérieures constituent l'interface entre cet immeuble et l'environnement. Du point de vue qui nous intéresse, cet interface devrait être qualifié de deux façons différentes:

- * du point de vue de sa transparence à l'énergie solaire, et nous simplifierons le problème en ne considérant que deux cas: paroi aveugle ou paroi transparente (quelle que soit la qualité et la surface de cette transparence).
- * du point de vue de l'effet des contraintes énergétiques (soleil et vent) sur les ambiances intérieures. Il faut donc, à ce niveau, tenir compte de l'usage des espaces intérieurs (ou extérieurs). Nous distinguerons donc des espaces jour et nuit.

Les quatre premiers éléments de l'alphabet représenteront la caractérisation des facettes du bâtiment-centre (les lettres majuscules sont réservées à ce bâtiment-centre):

- A facette aveugle
- J facette transparente sur un espace jour
- N facette transparente sur un espace nuit.
- E espace extérieur



68 Le dernier de ces éléments constitue une facette d'un type particulier, puisqu'elle n'est pas matérialisée par une paroi du bâtiment, mais du point de vue de l'usage, l'existence ou non d'un espace extérieur privatif est loin d'être indifférent.

Tout bâtiment, quelle que soit sa complexité, peut être qualifié à partir de ces quatre types de facette. Néanmoins, pour la suite de l'étude nous nous limiterons à un bâtiment "cube" dont les facettes sont précisées sur la figure 1. Les autres bâtiments représentatifs de l'environnement seront schématisés de la même façon; pour ceux-ci, il n'est pas nécessaire de caractériser l'affectation des facettes.

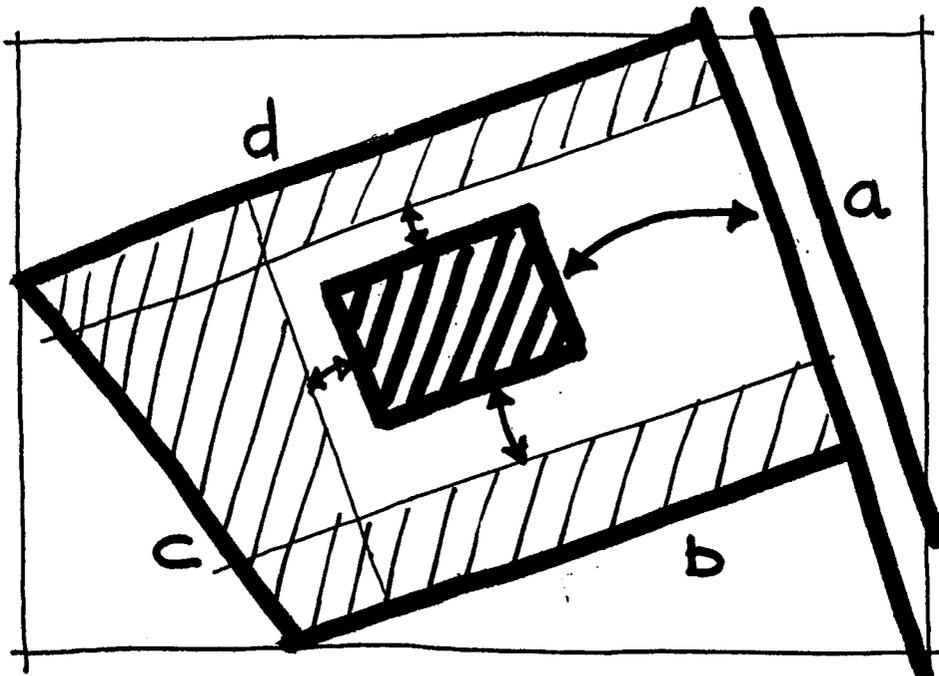
22 - Contraintes urbanistiques Relations <1>

Pour construire un modèle explicatif généralisable aussi bien à l'évaluation de configurations urbaines existantes anciennes ou modernes, qu'à l'élaboration de configurations nouvelles, il faut exprimer et caractériser les fondements mêmes du tissu urbain, en l'occurrence les trames urbaines et les contraintes réglementaires qui y sont attachées.

Devront donc apparaître le tracé des deux trames urbaines fondamentales au voisinage immédiat de l'immeuble-centre:

- * la trame viaire
- * la trame parcellaire

Chaque "segment" de ce tracé constituera un élément de l'alphabet, repéré par une lettre minuscule a, b, c...



Les contraintes urbanistiques seront alors la traduction des règlements d'urbanisme en termes de règles codifiant les relations entre les traces de ces deux trames et chacune des facettes de l'immeuble-centre. Il suffit d'une grammaire de quatre éléments pour en exprimer l'essentiel:

- #11# la distance entre trace de la trame et trace de la facette est bornée inférieurement et supérieurement
- #12# une borne supérieure imposée à la hauteur du bâtiment
- #13# une borne supérieure imposée à la surface de plancher
- #14# diverses contraintes de position et de surface imposées aux fenêtres

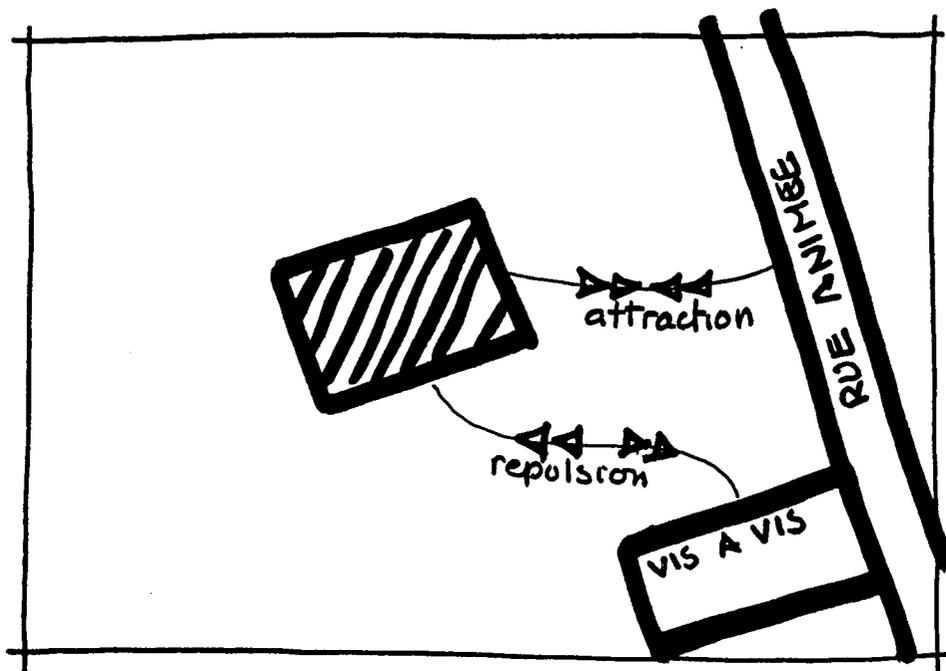
Les deux premières conditions peuvent d'ailleurs être regroupées sous la forme d'un gabarit (auquel on peut donner une expression mathématique dans un plan vertical).

23 - Contraintes d'environnement Relation <2>

Nous ferons rentrer dans cette catégorie les relations privilégiées qui peuvent s'imposer entre les différentes facettes du bâtiment-centre et certains des éléments structurants de l'environnement: rues commerçantes, places, espaces publics, vues remarquables sur lesquelles il serait souhaitable d'ouvrir en priorité les pièces principales, ou au contraire zones de bruit, par exemple dont il serait souhaitable d'éloigner les pièces de repos...

Les relations induites sur les facettes du bâtiment-centre s'exprimeront donc en termes d'attraction ou de répulsion, et ne seront pas forcément des contraintes impératives, au contraire des contraintes urbanistiques. Elles se traduiront donc dans deux règles non impératives:

- #21# attraction par un élément d'environnement
- #22# répulsion par un élément d'environnement



24 - Contrainte énergétique: solaire Relations <3> et <4>

C'est évidemment celle dont l'effet sur le bâtiment-centre est le mieux connu, quantifié et couramment pris en compte dans l'évaluation des caractéristiques de ce bâtiment.

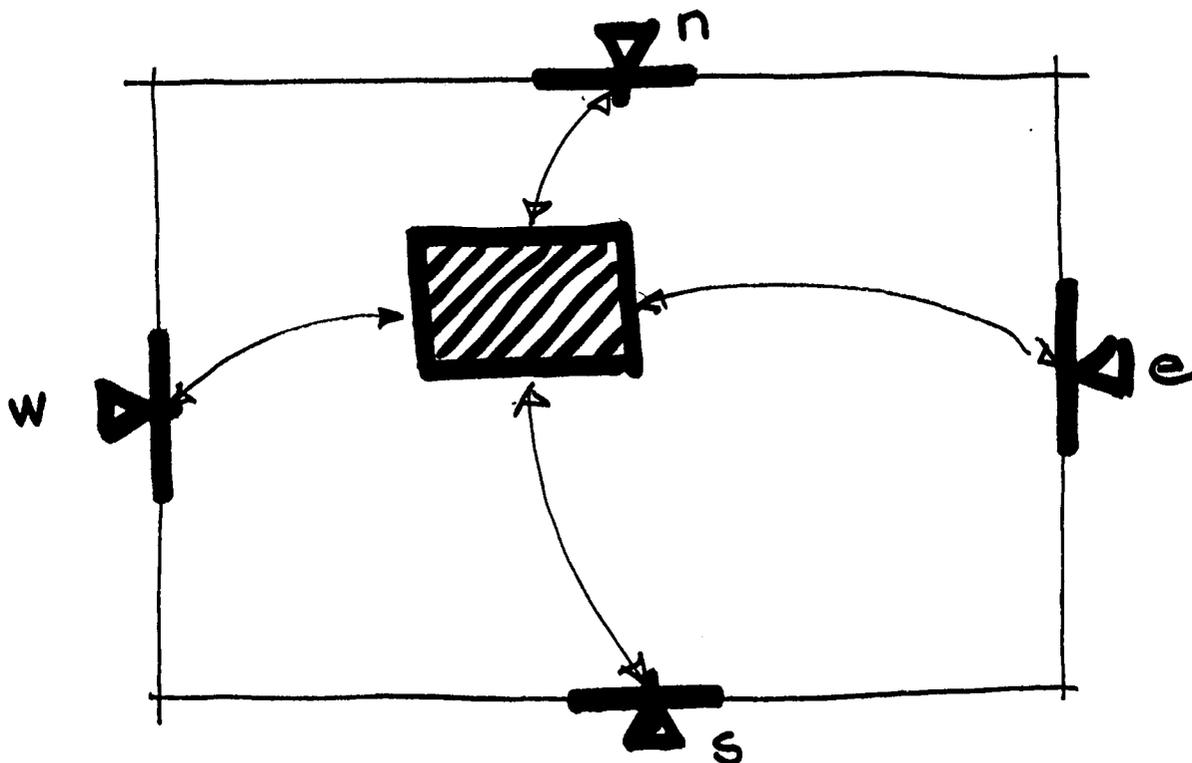
Différents facteurs permettent d'évaluer cet effet. Certains sont liés au bâtiment lui-même: transparence et orientation des facettes, masques proches. D'autres sont directement déterminés par l'environnement: masques lointains. L'énergie solaire pénétrant à l'intérieur de chaque pièce peut ainsi être calculée et son effet défini en termes d'apports solaires gratuits ou de surchauffes. Evidemment cet effet sera jugé différemment selon la saison: apports gratuits intéressants en période de chauffe, et surchauffes à éviter en toute période.

Nous modéliserons donc la contrainte solaire par une relation existant entre une facette donnée du bâtiment-centre et une orientation donnée (symbolisée par un objet virtuel situé à l'infini dans cette direction). Nous nous contenterons des quatre orientations cardinales, définissant ainsi quatre nouveaux éléments de l'alphabet exprimant la contrainte solaire:

s sud
w ouest
e est
n nord

Enfin, comme dans cette première partie, l'objectif n'est pas d'exprimer en termes mathématiques cette contrainte, mais simplement de la qualifier du point de vue de ses effets sur le bâtiment-centre, nous prendrons donc en compte deux types d'effet, schématisés en solaire d'hiver (apports gratuits) et solaire d'été (surchauffes):

<3> solaire d'hiver
<4> solaire d'été



On pourra ainsi traduire de façon schématique la notion d'énergie solaire pénétrant dans une pièce par une série d'appréciations sur la relation entre facettes et orientations:

Relation entre une facette et l'orientation:	solaire d'hiver	solaire d'été
sud	très forte	forte
ouest	forte	très forte
est	forte	forte
nord	nulle	nulle

Appréciations qui s'expriment grâce à une grammaire simple de trois règles:

#31# et #41# relation très forte
 #32# et #42# relation forte
 #33# et #43# relation nulle

Ces relations sont, bien entendu, perturbées par la présence des masques lointains dus à l'environnement immédiat du bâtiment. Il faut traduire cette perturbation sous la forme d'une règle simple. L'objet n'étant pas de faire des calculs d'énergie incidente mais d'apprécier les qualités énergétiques d'une configuration urbaine, il semble qu'on pourra schématiser cette perturbation en disant que les relations décrites ci-dessus s'annulent sur un périmètre autour du masque dont le contour et les dimensions exactes seront à préciser dans une deuxième étape. On peut, pour donner une image de cette règle, assimiler ce périmètre à une sorte d'ombre portée dont l'angle d'incidence dépendra de l'orientation avec laquelle la facette est en relation, de la nature de cette relation (solaire d'été ou d'hiver), et peut être de la situation géographique du lieu. Tout cela sera à préciser à partir des multiples études déjà effectuées sur les questions de masques et d'ensoleillement, et permettra de définir une quatrième série de règles:

#34# et #44# si la distance entre la facette et la trace du masque est inférieure à une valeur donnée, la force de la relation correspondante est nulle

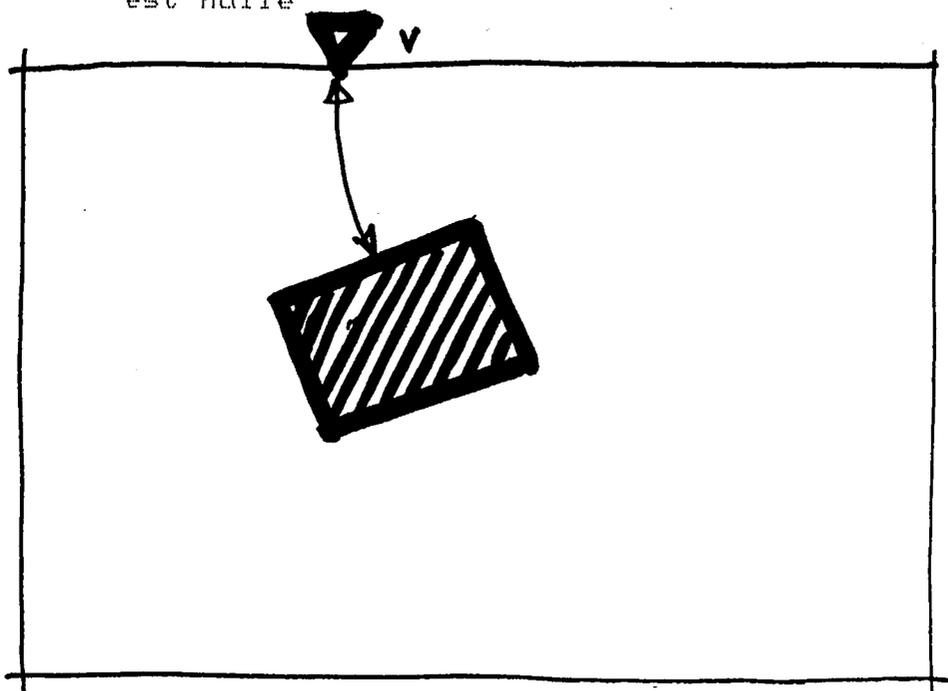
25 - Contrainte énergétique: vent Relation <5>

De même que les effets du soleil sur le bâtiment-centre, ceux du vent peuvent se caractériser par une direction, une intensité et des masques lointains (immeuble ou végétation).

Dans le même souci de simplification, on se contentera donc de définir une ou plusieurs directions de vents dominants et les masques constitués par l'environnement. On considérera que l'effet d'un masque se fait sentir sur une distance de 5 à 10

fois sa hauteur (selon la nature du masque et la force du vent). La contrainte vent sera donc modélisée par une relation entre une facette donnée et un objet virtuel situé à l'infini dans la direction des vents dominants, et par une règle simple:

#51# la relation entre une facette et la direction du vent est forte si la distance entre ces deux objets est supérieure à une valeur donnée. Sinon, cette relation est nulle



26 - Critères d'évaluation

Il s'agit là de qualifier, du point de vue énergétique une relation entre deux objets. Il semble nécessaire de porter deux types d'appréciation différents selon la nature de la relation en cause.

Pour ce qui est des relations traduisant des contraintes non énergétiques (<1> et <2>), il importe prioritairement de savoir si le réseau de ces contraintes laisse un quelconque degré de liberté pour la prise en compte des contraintes énergétiques. On définira donc deux situations:

- () une situation ouverte à la prise en compte de critères énergétiques
- () une situation fermée à la prise en compte de critères énergétiques

Pour ce qui est des relations traduisant des contraintes directement énergétiques, on pourra alors porter une appréciation qualitative, pour laquelle on ne retiendra que 3 niveaux d'évaluations:

- 0 relation neutre du point de vue énergétique
- + relation dans laquelle la contrainte énergétique joue favorablement (économie d'énergie, ou amélioration du confort)
- relation néfaste du point de vue énergétique (le confort thermique d'hiver ou d'été ne peut être assuré qu'avec un surcoût non négligeable)

Dans ces conditions on peut affecter à chacune des règles liées à des contraintes énergétiques une appréciation:

J<3>s #31# vérifiée -----> CONFIGURATION +

27 - Récapitulation de l'alphabet et de sa grammaire

271 - objets éléments de l'alphabets

2711 - facettes de l'immeuble-centre:

aveugle	A
transparent jour	J
transparent nuit	N
espace extérieur	E

2712 - traces et objets divers:

a, b, c, d...

2713 - orientations:

sud	s
ouest	w
est	e
nord	n

272 - relations entre objets:

2721 - contraintes urbanistiques <1>

2722 - contraintes d'environnement <2>

2723 - contrainte solaire
 d'hiver <3>
 d'été <4>

2724 - contrainte de vent <5>

273 - règles:

2731 - règles d'urbanisme

- * distance horizontale bornée inf. et sup. #11#
- * hauteur bornée sup. #12#
- * surface bornée sup. #13#
- * réglementation fenêtrés #14#

2732 - règles d'environnement

* attraction	#21#
* répulsion	#22#

2733 - règles solaires d'hiver

* relation très forte	#31#
* relation forte	#32#
* relation nulle	#33#
* relation nulle si distance < borne	#34#

2734 - règles solaires d'été

* relation très forte	#41#
* relation forte	#42#
* relation nulle	#43#
* relation nulle si distance < borne	#44#

2735 - règles de vent

* relation nulle si distance < borne	#51#
--------------------------------------	------

274 - critères d'évaluation

2741 - degrés de liberté

ouvert	((
fermé	()

2742 - niveaux d'évaluation

neutre	0
favorable	+
défavorable	-

3 - Essai de manipulation de l'alphabet

31 - Contraintes urbanistiques sur une facette quelconque

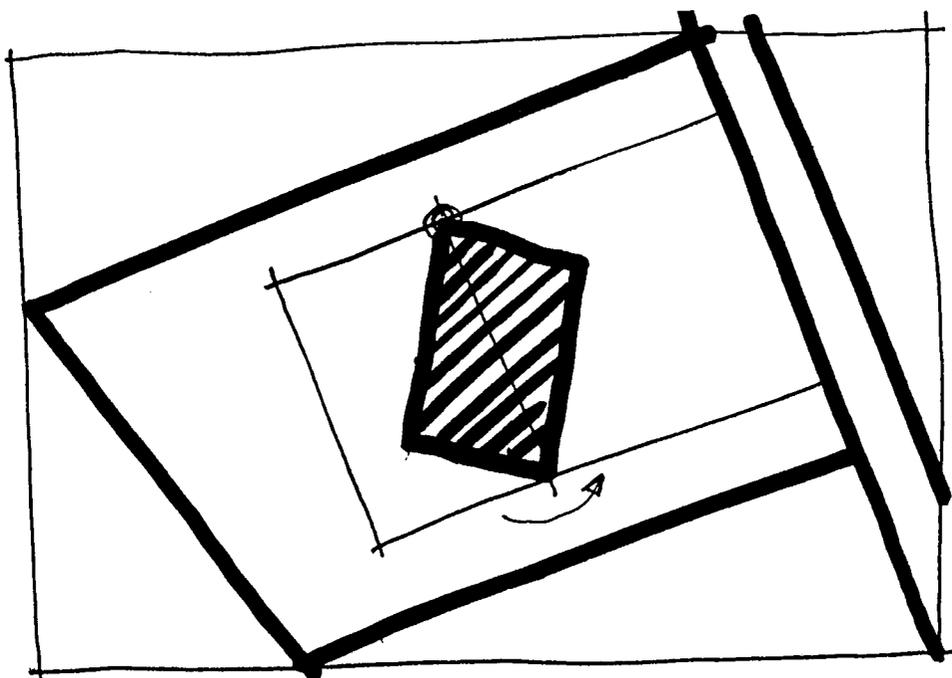
La première étape consistera à évaluer énergétiquement l'effet de l'application des règlements d'urbanisme. En clair, ceux-ci laissent-ils un quelconque degré de liberté pour la prise en compte de préoccupations énergétiques.

L'application des règles d'urbanisme (#11# et #12#) définit dans l'espace une zone constructible à l'intérieur de laquelle doit s'inscrire le volume enveloppe du bâtiment-centre. Celui-ci n'a pas besoin d'être défini avec la précision de tous ses redents et décrochés, car il s'agit là de choix architecturaux propres au bâtiment, sur lesquels l'environnement n'a que peu d'effet. D'autre part, ce volume enveloppe n'est jamais totalement arbitraire, il peut se définir schématiquement à partir de quelques données simples:

- * la surface de plancher définie dans le programme, et qui doit être compatible avec les COS réglementaires (#13#)
- * la hauteur du bâtiment définie dans le programme ou sinon extrapolée à partir de celle des immeubles voisins ou des techniques courantes à l'époque de la construction
- * la profondeur du bâtiment définie selon le programme (répartition des appartements à l'étage) ou extrapolée à partir des coutumes d'éclairément ou des techniques courantes à l'époque de la construction.

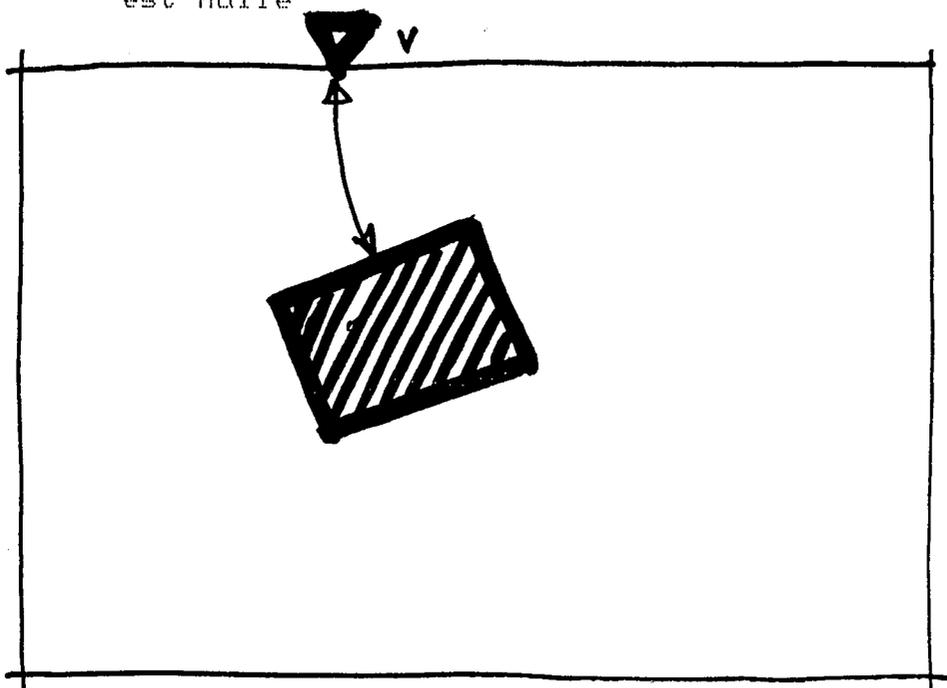
Au besoin, on répètera la même opération sur plusieurs volumes enveloppes différents. Chacune de ces opérations devra comporter deux tests, l'un sur l'orientation, l'autre sur l'implantation.

Le test d'orientation peut se réaliser à l'aide de règles géométriques simples de comparaison des dimensions du périmètre constructible au sol avec celles des diagonales du périmètre enveloppe du bâtiment-centre. Il s'agit de tester si toutes les orientations sont possibles pour toutes les facettes de ce bâtiment.



fois sa hauteur (selon la nature du masque et la force du vent). La contrainte vent sera donc modélisée par une relation entre une facette donnée et un objet virtuel situé à l'infini dans la direction des vents dominants, et par une règle simple:

#51# la relation entre une facette et la direction du vent est forte si la distance entre ces deux objets est supérieure à une valeur donnée. Sinon, cette relation est nulle



26 - Critères d'évaluation

Il s'agit là de qualifier, du point de vue énergétique une relation entre deux objets. Il semble nécessaire de porter deux types d'appréciation différents selon la nature de la relation en cause.

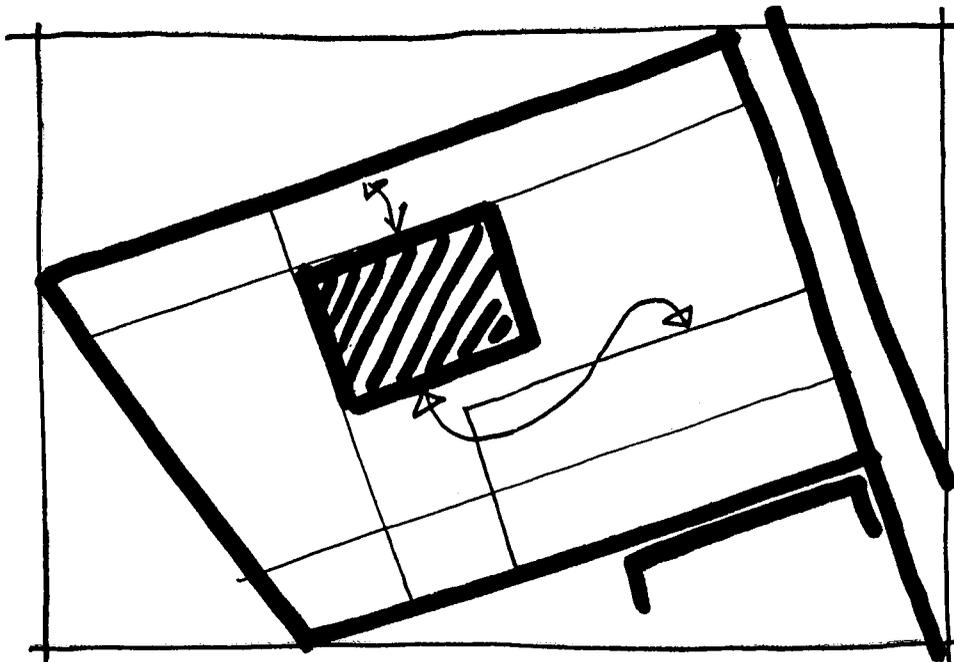
Pour ce qui est des relations traduisant des contraintes non énergétiques (<1> et <2>), il importe prioritairement de savoir si le réseau de ces contraintes laisse un quelconque degré de liberté pour la prise en compte des contraintes énergétiques. On définira donc deux situations:

- () une situation ouverte à la prise en compte de critères énergétiques
- () une situation fermée à la prise en compte de critères énergétiques

Pour ce qui est des relations traduisant des contraintes directement énergétiques, on pourra alors porter une appréciation qualitative, pour laquelle on ne retiendra que 3 niveaux d'évaluations:

Le test d'implantation consistera à vérifier si les règles d'urbanisme laissent la liberté d'implanter une ou plusieurs façades transparentes dans une zone d'ensoleillement correct. Chacune des facettes sera d'abord mise en relation avec les limites du périmètre constructible. L'application de la règle concernant les fenêtres (#14#) permettra d'éliminer les facettes. Peut-on trouver au moins une implantation, à l'intérieur du périmètre constructible, telle que au moins une des facettes vérifie les deux conditions ci-dessous:

- * la réglementation fenêtre (#14#), dans sa relation avec les limites du périmètre constructible
- * les règles de bornage solaires et de vent (#34#, #44# et #51#) appliquées à sa relation avec le sud, pour les deux premières, et les directions de vent, pour la dernière, donnent des relations non nulles.



Si les deux tests (orientation et implantation) sont positifs, on peut qualifier la configuration d'énergétiquement ouverte. Si l'un des deux est négatifs, elle est fermée:

```

si ORIENTATION ( ) -----> CONFIGURATION ( )

si ORIENTATION ( ( --> IMPLANTATION ( ( s'il existe F tel que:
    F<1>u   #14# vérifié
    F<3>s   #34# non nulle
    F<4>s   #44# non nulle
    F<5>v   #51# non nulle --> CONFIGURATION ( (
    sinon -----> CONFIGURATION ( )
  
```

32 - Contraintes d'environnement sur les facettes affectées

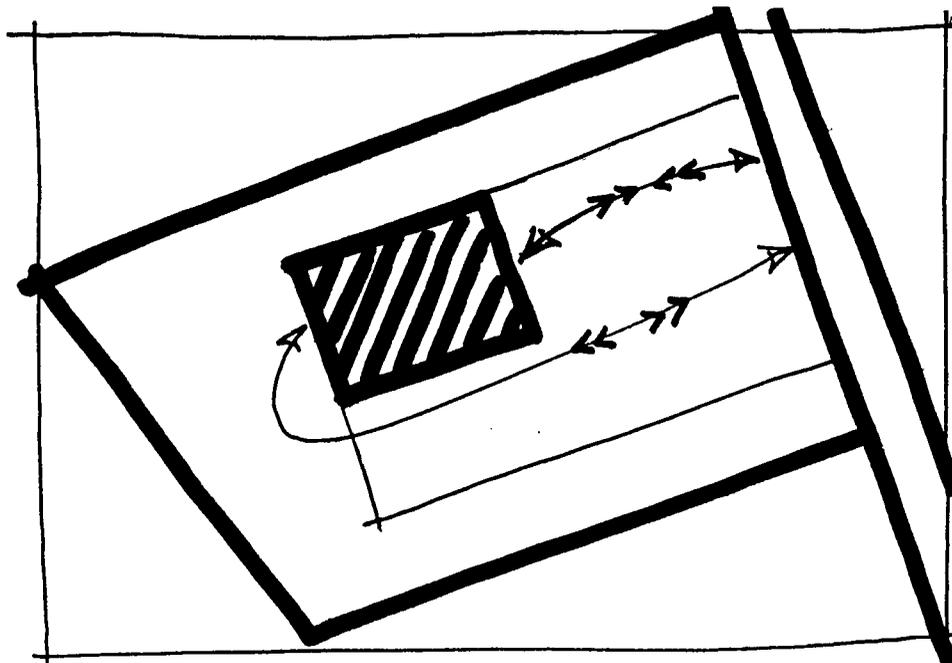
Essayons de traiter l'exemple d'une rue commerçante dont la trace sur le plan est r . La tradition est d'ouvrir les pièces de séjour (facettes J) sur cette rue mais d'en protéger les chambres (facettes N).

Cette étape ne peut être abordée que si l'étape précédente, impérative, conduit à une configuration ouverte. Nous définirons alors une procédure ENVIRONNEMENT qui consistera:

- * à vérifier en outre, pour la facette F repérée lors de la procédure précédente IMPLANTATION, qu'elle est ouverte sur la rue (attraction par r)
- * à trouver une autre facette (F'), vérifiant la règle fenêtre dans ses relations avec les limites du périmètre, mais non ouverte sur la rue

le modèle de la procédure IMPLANTATION précédente: peut-on trouver au moins une implantation à l'intérieur du périmètre constructible telle qu'au moins deux facettes différentes (J et N) vérifient les conditions ci-dessous:

ENVIRONNEMENT ((si F est tel que:
F<2>r #21# vérifié
et s'il existe F' telle que
F'<1>u #14# vérifié
F'<2>r #22# vérifié --> CONFIGURATION ((

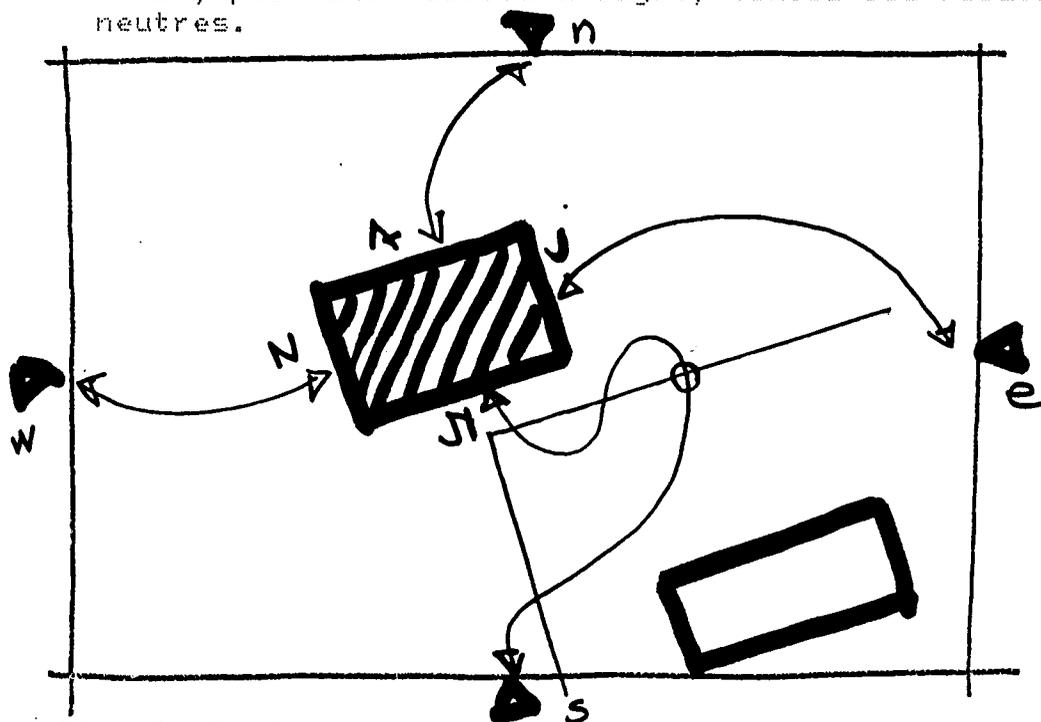


33 - Contraintes solaires sur les facettes affectées

Le problème est alors de vérifier, dans le cas d'une configuration fermée, si les dispositions imposées sont neutres, favorables ou défavorables, du point de vue énergétique; et dans le cas d'une configuration ouverte, d'évaluer, avec les mêmes niveaux d'appréciation, les choix faits ou possibles.

Il s'agit donc d'affecter un niveau d'évaluation à chaque relation, selon la nature de la facette et de l'orientation mise en relation. On peut schématiquement adopter les critères suivants:

- * si la facette est une facette transparente sur un espace de jour, et s'il s'agit du solaire d'hiver, une relation très forte est favorable, une relation forte est neutre, et une relation nulle est défavorable.
- * pour la même facette, en solaire d'été, une relation forte ou très forte est défavorable, et une relation nulle est favorable.
- * pour une facette transparente sur un espace de nuit, en solaire d'hiver, toutes les relations sont neutres
- * pour la même facette en solaire d'été, les relations très fortes sont défavorables, fortes sont neutres et nulles sont favorables.
- * enfin, pour une facette aveugle, toutes les relations sont neutres.

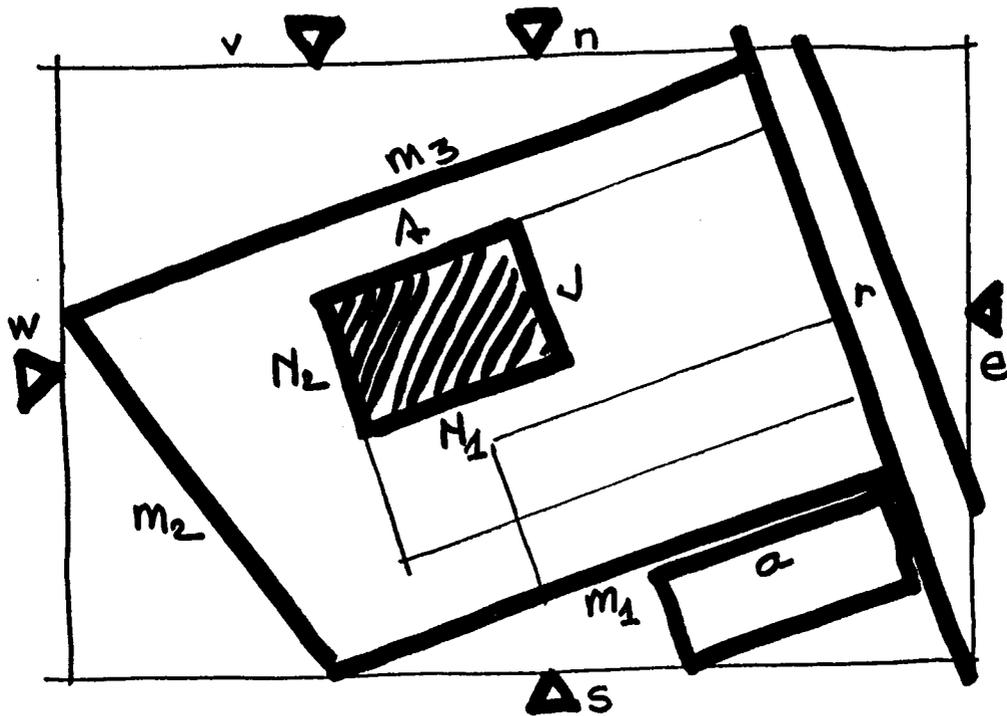


34 - Contraintes de vent sur les facettes affectées

Le raisonnement est le même que précédemment, à la différence que toute relation non nulle est défavorable, pour toute facette transparente, et toute relation est neutre, pour toute facette aveugle.

35 - Tableau récapitulatif

Appliqué à la configuration ci-dessous



OBJETS

FACETTES DE L' IMMEUBLE	J	N1	N2	A
URBANISME	r	m1	m2	m3
ENVIRONNEMENT	r			
MASQUES		a		
ORIENTATIONS	e	s	w	n
VENT				v

RELATIONS

<1> URBANISME	((
<2> ENVIRONNEMENT	()			
<3> SOLAIRE HIVER	o	o	o	o
<4> SOLAIRE ETE	-	o	-	o
<5> VENT	+	+	+	o

L'interprétation des résultats demande une pondération des différentes lignes du tableau. Les relations <i> sont impératives donc doivent être fortement pondérées. Le choix de la pondération entre les 3 dernières dépend de chaque cas particulier. Nous choisirons ici une région plutôt abritée du vent et privilègerons le soleil d'hiver. Il s'agit donc d'une configuration plutôt ouverte, la seule contrainte d'environnement étant une ouverture sur rue peu pondérée. Les choix d'implantation sont plutôt neutres du point de vue énergétique

- Annexe 1. Synthèse du travail de diplôme d'architecte de
Luc ADOLPHE (07-85) 73
- Annexe 2. Compte-rendu du séminaire permanent du BEGO sur
"Morphologie & Energie" (10-86) 72
- Annexe 3. Données bibliographiques sur "Architecture-Urbanisme-Energie"..... 76
- Annexe 4. L'optimisation énergétique en cascade d'un bâtiment neuf 73

La boîte à outil
par Luc ADOLPHE (ingénieur et architecte)

Ce texte est une synthèse du travail de diplôme d'architecte de Luc ADOLPHE, "Des contraintes énergétiques à des règles de l'art favorisant la conception architecturale", présenté le 03-07-85 à l'Ecole d'Architecture de Paris-La Villette. Il présente un outil d'aide à la conception permettant d'évaluer, dès les premières phases de l'esquisse avec des méthodes simples, la qualité énergétique d'un projet.

● INTRODUCTION

Au delà d'une symbolique intrinsèque, la conception architecturale se doit de prendre en compte aussi rationnellement que possible, dès le stade de l'esquisse, des éléments de faisabilité technique (énergétique, acoustique...), sans pour cela aboutir à des contraintes techniques hégémoniques. Le choix des grandes options architecturales et techniques se fait en effet, très en amont dans le processus de conception, à l'esquisse ou, à l'A.P.S. on assiste, depuis quelques années au développement d'outils d'aide à la conception énergétique des bâtiments. Ils sont malheureusement souvent trop marqués par leur origines : soit des outils détaillés difficiles à utiliser dans ces premières phases du projet, soit des outils dit "réglementaires" dont le rôle est plus de dresser un bilan ou de faire un contrôle après coup, soit des règles de l'art rarement en adéquation avec la complexité croissante des techniques performantes du bâtiment.

C'est pourquoi nous avons tenté de développer un outil d'aide à la conception (une boîte à outil en quelque sorte), utilisable dans les premières phases critiques de l'esquisse d'un projet architectural.

1 - Processus de conception et facteurs énergétiques

Le processus de conception schématisé grossièrement dans le tableau I, n'est en fait pas linéaire. C'est un itinéraire qui se suit par foisonnement (essais-erreurs) et dont certaines étapes peuvent être court-circuitées.

Pour rendre plus explicite les relations entretenues entre les étapes du processus de conception et les niveaux et facteurs énergétiques, nous avons donc dû simplifier son déroulement pour en faire un cheminement linéaire où les étapes "énergétiques" se déroulent plus naturellement que dans la réalité d'un projet.

Dans un cas concret, ce canevas peut s'avérer inutile sinon dangereux. En effet, la qualité architecturale d'un projet peut se définir dans la capacité de jouer avec les symboles sans nuire à la cohérence organique du projet : c'est pourquoi, l'architecte d'expérience partira plus volontier du symbole issu de son "encyclopédie personnelle", que de la démarche "organigramme" proposée ici. Dans ce cas-ci, l'outil proposé est utilisé après mise en place du symbole pour le rendre performant techniquement.

1.1 - Niveaux énergétiques et facteurs énergétiques

• A chaque étape du processus de conception, il est possible d'associer un ou plusieurs niveaux énergétiques qui sont respectivement [6] :

- la collecte de l'information
- la distribution du site
- la distribution de l'espace
- la distribution de l'enveloppe
- l'estimation des déperditions thermiques
- l'estimation des besoins thermiques
- l'estimation des consommations thermiques

• A chacun de ces niveaux énergétiques, on peut associer des facteurs énergétiques élémentaires qui sont (ou voudrait être) indépendants des uns et des autres et peuvent être, d'ores et déjà, quantifiés à l'aide de méthodes simples issues, soit de mesures in situ, soit de corrélatons à partir de modèles énergétiques détaillés, soit de règles de l'art suffisamment fixes. A chaque étape du processus de conception, les architectes sont donc en mesure de trouver des outils en adéquation avec leur pratique.

Nous nous bornerons ici à les énumérer, et dans le chapitre suivant (II), nous expliciterons ceux qui nous paraissent les plus significatifs.

Ce sont :

- les contraintes de site (pos, prospect, Tex, To...)
- les contraintes normatives (sécurité, handicapés...)
- les relations de voisinage (orientation au vent, accès, relief, nuisances...)

...\$...

- l'irradiation solaire et grande longueur d'onde (relief, effet de masque, orientation)
- la typification des activités (type d'activités des habitants et surfaces à alouer)
- les facteurs de forme (rapport surfaces d'échange du bâtiment avec l'extérieur/surface habitable)
- la proportion de vitrages des façades (confort visuel intérieur, optimisation des gains thermiques, limitation des déperditions...)
- le niveau isolatif des parois opaques (isolation statique ou dynamique, ponts thermiques)
- le niveau isolatif des parois vitrées (isolation nocturne type de vitrages, parois à isolation variable)
- le niveau isolatif de la toiture (isolation et effet de comble)
- le niveau isolatif du sol (déperditions linéiques au pourtour du bâtiment)
- le taux de ventilation (par des dispositifs spécifiques : V.M.C. simple ou double flux ou par la ventilation parasite-porosité des façades)
- la température intérieure de confort souhaitée (en fonction du métabolisme dans chaque pièce et du type et habillement)
- la température estivale maximum atteinte (pour respecter un critère de confort d'été)
- les activités domestiques (  la fois au niveau des gains internes que des consommations - à partir d'un profil type d'occupation)
- le taux de couverture par recours à des énergies renouvelables (apports "passifs" et "actifs")
- les autres effets de l'usager (intermittence, zonage, gestion)
- le rendement propre de l'installation de chauffage et les effets de l'inertie

1.2 - Logique du processus de conception

1.2.1 - Collecte de l'information

A partir du recueil de données sur le site (analyse du terrain, ressources constructives locales, contraintes normatives...) et de données sur les désirs de l'usager (financiers, psychiques et physiologiques, schémas d'occupation...) cette collecte aboutit à la définition des critères d'usages ( nerg tiques ou non) et des critères de coût, utilisés à chaque étape suivante du processus :

- Les critères architecturaux : ces critères ne sont fondamentalement pas différents de ceux utilisés pour la conception traditionnelle, puisque la conception n'est pas fondamentalement "mutante" (voir architecture vernaculaire). A partir de son "encyclopédie personnelle", l'Architecte juge des qualités architurales du projet. Ce peut être, par exemple :
 - le monde poétique d'un RUSGOFF
 - la capacité à maîtriser les éléments techniques d'un BOTTA
 - l'intégration à un paysage physique et mental d'un WRIGHT

- Les critères d'usage énergétiques ou non (acoustique, vue, qualité lunaire, dimension sociale, psychique, physiologique ou esthétique...)
- Les critères de coût :

Au stade d'une esquisse, on se limitera au prix du m² construit en intégrant le coût de la construction, les honoraires, les équipements en fonction des deux seuls paramètres, surface et degré de finition.

1.2.2. - Distribution du site

A partir d'une hiérarchisation des contraintes d'urbanisme, d'accès, de relief, d'orientation au vent, d'irradiation solaire disponible, de nuisances, ou d'autre relation de voisinages spécifiques, le terrain est partagé en zones homogènes par rapport à ces contraintes hiérarchisées entre elles à partir des critères d'usage. On en déduit un nombre réduit de (2 ou 3) zones les plus favorables à la construction.

1.2.3. - Distribution de l'espace

A partir du type d'activités exercées dans chaque pièce, de la distribution du site et des relations de voisinage, des facteurs de forme et de l'irradiation solaire disponible, et pour chaque zone du terrain déterminée dans l'étape précédente, on évalue les surfaces de plancher nécessaires à la fois chauffés et hors-oeuvres, en séparant les activités qui nécessitent du chauffage en hiver des autres activités et en orientant ces surfaces vers des zones de l'environnement le plus approprié aux transferts thermiques (diagramme à bulles). Cette étape, plus architecturale que technique aboutit à des croquis de plans de maison.

1.2.4. - Distribution de l'enveloppe

Dans cette étape, on pose des surfaces horizontales aux surfaces de parois verticales (vitrées et opaques).

A partir des plans de maison définies dans l'étape précédente, on calcule un facteur de forme, ratio surface d'enveloppe par surface de plancher (voir II.1), ce qui permet d'aboutir à une surface brute d'enveloppe. Il faut maintenant séparer parois opaques et vitrées : pour ce faire on se fixe un taux de couverture solaire par recours à des énergies renouvelables (voir II.4) appliqué au gain direct par les vitrages, pour déterminer une surface sud équivalente.

L'effet de vitrage étant très dépendant de l'orientation, on répartira les vitrages par façades (voir II.2), en fonction des facteurs proportion de vitrage, irradiation et relations de voisinage, donc par orientation et inclinaison.

On en déduit des surfaces de parois opaques par orientation.

Cette étape, très signifiante vis à vis de l'architecture du bâtiment, aboutit à des croquis de façades.

...§...

1.2.5. - Déperditions thermiques

Cette étape permet d'évaluer les pertes thermiques des enveloppes en séparant les pertes par :

- les parois verticales opaques
- les parois verticales vitrées
- le toit
- le sol
- le renouvellement d'air

et aboutit à la résolution graphique de G (voir II.3) (coefficient de déperditions volumiques), en fonction aussi du facteur de forme et de la proportion de vitrages.

Cette analyse des déperditions est complétée par la définition de la puissance de chauffage nécessaire ainsi que la température de non-chauffage TNC (température dans le local sans apports internes).

1.2.6. - Besoins thermiques

En fonction des déperditions, et des apports solaires, on évalue dans cette étape le K-bilan de chaque paroi externe (voir II.3) par orientation et inclinaison : c'est-à-dire la balance thermique entre déperdition et apports solaires.

La combinaison aux apports internes, aux déperditions par le sol, par la ventilation et les apports par les autres systèmes passifs (taux de couverture par énergies renouvelables) (voir II.4) permettra, quant à elle, le calcul des besoins de chaque projet. Ces besoins permettent l'évaluation de la température sans-chauffage TSC (augmentation moyenne de la température extérieure due à l'énergie solaire). La comparaison de TNC et TSC permet très rapidement de comparer les caractéristiques thermiques de deux projets.

1.2.7. - Consommations thermiques

En fonction des besoins thermiques et des niveaux énergétiques suivants :

- consommation induites par les activités domestiques
- température intérieure de confort souhaitée
- taux de couverture par recours à des énergies renouvelables "actives"
- autres effets de l'utilisateur
- rendement propre de l'installation de chauffage

On aboutit dans cette étape, pour chaque enveloppe, de chaque zone du terrain définie dans le niveau "distribution du site", à un bilan global énergétique à comparer aux critères de coût et à la stratégie d'investissement apparus lors de la phase collective de l'information.

Tout le processus peut être itéré si les critères définis ne sont pas atteints.

2 - Facteurs énergétiques fondamentaux

Nous développons dans ce chapitre les facteurs énergétiques qui nous paraissent les plus significatifs de la démarche "énergétique" de conception.

2.1. - Facteurs de forme

Le facteur de forme F_f intervient à la fois sur les déperditions thermiques (surface d'échange entre l'extérieur et l'ambiance), mais aussi sur les apports solaires (surface d'échanges avec le rayonnement solaire), sur l'éclairage naturel des espaces intérieurs, sur la prise au vent des bâtiments...

Sa définition usuelle est le ratio entre la surface d'échanges d'un bâtiment avec l'extérieur (façades et toitures, sol non compris) et soit le volume habitable, soit la surface habitable.

Nous lui préférons la seconde définition qui tient plus compte de la qualité architecturale des projets.

• Pour des volumes parallélépipédiques simples, l'équipe de l'Université de Liège a montré qu'on pouvait déterminer ce ratio à partir de quatre variables élémentaires (voir Tableau II) [1] :

- : largeur/longueur du bâtiment
- : surface du rectangle circonscrit/surface du plan
- : surface de parois communes à 2 bâtiments/surfaces verticales
- : nombre de niveaux (entre 1 et 3)

Cette méthode permet à la fois de prédire la surface totale d'enveloppe à partir des surfaces horizontales, mais aussi d'étudier la sensibilité du facteur de forme aux variations de ces facteurs élémentaires.

• Au-delà de ces volumes "classiques", il est intéressant d'essayer d'obtenir des formes thermiquement idéales [8] ou plus modestement d'associer rapidement un ou plusieurs volumes architecturaux à des valeurs données de facteur de forme. C'est pourquoi nous avons, sur des volumes élémentaires (cube, sphère, prisme, 1/2 prisme, cube + toiture à un ou plusieurs pans...), calculé puis hiérarchisé les facteurs de forme (Tableau III). Les premiers enseignements de cette confrontation sont que :

- les volumes doubles prismatiques surtout aigus sont mauvais pour ce critère
- les volumes prismatiques de moindre façon
- les volumes techniquement difficiles à réaliser (cône, sphère ou colotte sphérique) n'apportent pas de grands progrès par rapport au "bon vieux" volume à deux pans.

2.2. - Surface transparente sud équivalente

La surface transparente sud équivalente correspond à la surface de vitrage orientée au sud, équivalente d'un point de vue énergétique à tous les dispositifs de captation solaires passifs (direct par vitrage, mur trombe, serre,...) du bâtiment considéré [3].

Pour passer d'une orientation et d'un azimuth quelconque à une façade sud verticale, il convient d'introduire un coefficient correctif C_1 qui permet, sur une saison de chauffe, de cerner les possibilités de captation solaire de chacune des façades du projet (Tableau IV) [3].

Il est possible comme pour les facteurs de forme, pour des volumes élémentaires, en supposant toutes les façades transparentes, de calculer des ratios surface sud équivalente sur volume en surface extérieure (Tableau V) [8].

Les volumes de révolution et les doubles-prismes sont très défavorisés par une importante surface orientée au nord. Les faibles pentes sont à proscrire. Les bâtiments à deux pans et surtout à un pan orienté vers le sud se comportent très honorablement.

2.3 - Niveau isolatif

Le niveau isolatif d'un bâtiment est fonction de variables élémentaires qui sont :

- le niveau isolatif des parois verticales opaques (Kop)
- le niveau isolatif des parois vitrées (Kf)
- la proportion de vitrage des parois verticales (%)
- le niveau isolatif de la toiture
- le niveau isolatif du sol

Au stade de l'esquisse, il est possible de forfaitiser les deux derniers paramètres et d'en déduire simplement :

- le K bilan des parois par orientation et azimuth ou l'énergie annuelle en kwh/m^2 (pour le climat considéré) traversant la paroi (Tableau VI), déperditions et apports par les vitrages compris [1]
- le coefficient de déperditions volumiques G à partir des variables élémentaires Kop, Kf, %, Ff et N (taux de ventilation) (Tableau VII) [1] ainsi que des études de sensibilités sur ces différents paramètres.

2.4 - Taux de couverture par recours à des énergies renouvelables

Pour optimiser le dimensionnement, l'orientation et l'inclinaison des systèmes de captation solaire, en minimisant les surcoûts d'investissement puisque ces éléments peuvent recouvrir la double fonction d'enveloppe et de capteur, nous nous fixons comme but un taux de couverture par recours à des énergies renouvelables (SHF) et, par une méthode simplifiée (BALCOMB) [2], utilisée à "l'envers", nous calculons la surface sud équivalente (S) du système passif considéré (vitrage, mur trombe, serre) donné au travers du ratio GV/S où G est le coefficient de déperditions volumiques du bâtiment et V est le volume habitable (voir tableau VIII) [8], pour le climat considéré. La combinaison de plusieurs procédés sera calculée de la façon suivante $SHF = 1 - (1 - SHF1) (1 - SHF2)$.

Ces courbes montrent que, quelque soit le procédé, les premiers mètres carrés de capteur ont un rendement bien meilleur que les derniers et de ce fait, chercher des couvertures importantes, par recours à des énergies renouvelables coûtera très cher à l'investissement.

3. - Conclusion

La pratique de tels outils favorise naturellement le développement de bâtiments dit "passifs", c'est-à-dire qui, dans des contraintes économiques définies, représentent une maximisation des apports par des ressources naturelles et une minimisation de la dépendance en énergie fossile et équipements mécaniques. Ceci par un couplage sélectif des parties du bâtiment aux parties de l'environnement le plus approprié aux transferts thermiques désirés à un instant donné, par opposition à la conservation traditionnelle basée sur l'isolation de l'environnement.

On comprend l'intérêt possible de la possible conjugaison des fonctions énergétiques et structurelles des éléments du bâtiment, par l'utilisation le plus tôt possible dans la démarche de conception du projet, d'outils permettant d'en optimiser les fonctions.

Cette démarche rigoureuse, venant s'accorder à la proposition d'un nouveau paysage mental de l'architecte, ne pourra que renforcer la force et la cohérence du projet architectural : le mariage de la rationalité des phénomènes énergétiques (ou autres) et de la liberté imaginative de l'architecte.

4 - Bibliographie

- [1] A. DUPAGNE, M. CORNET Basic characteristic for low-cost houses in order to reduce energy consumption for heating
UNIVERSITE DE LIEGE 02.84
- [2] W.O. WRAY A simple procedure for assessing thermal confort "passive solar heated building" "Los Alamos"
SOLAR ENERGY Vol 25 80
- [3] C.S.T.B. Règles Th G-82
Th B-85 Cahier du C.S.T.B. n° 1767
04.82
- [4] P. DEPECKER, J.J. ROUX et J. BRETON Le rôle de la configuration des bâtiments. Une question hybride de conception architecturale et d'énergétique
JOURNEES de l'ITBTP 84
- [5] C. QUEFFELEC A la recherche d'une typologie de l'habitat bioclimatique
CAHIERS du C.S.T.B. n° 208 4.80
- [6] J.R. MAZAUD, A. POUGET Etude et bilan du concours "Ecoles, Economies en Energie" 83
- [7] G. OLIVE, B. SESOLIS Dossiers de synthèses H2E 85
l'Isolation 7.84
le composant fenêtre 5.83
la gestion de l'air 2.84
- [8] L. ADOLPHE Des contraintes énergétiques a des règles de l'Art favorisant la conception architecturale
Diplome UP6 7.85

•••

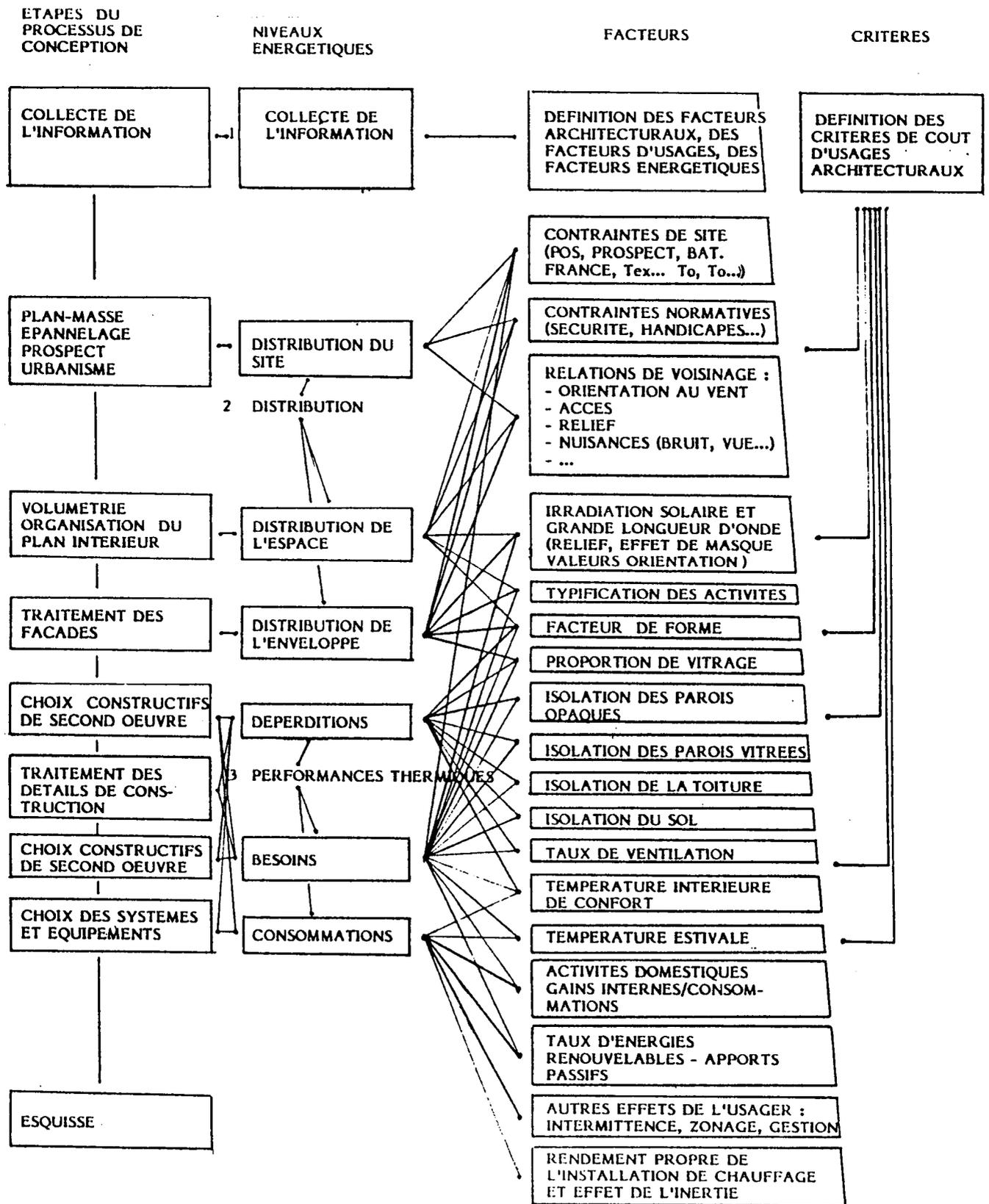
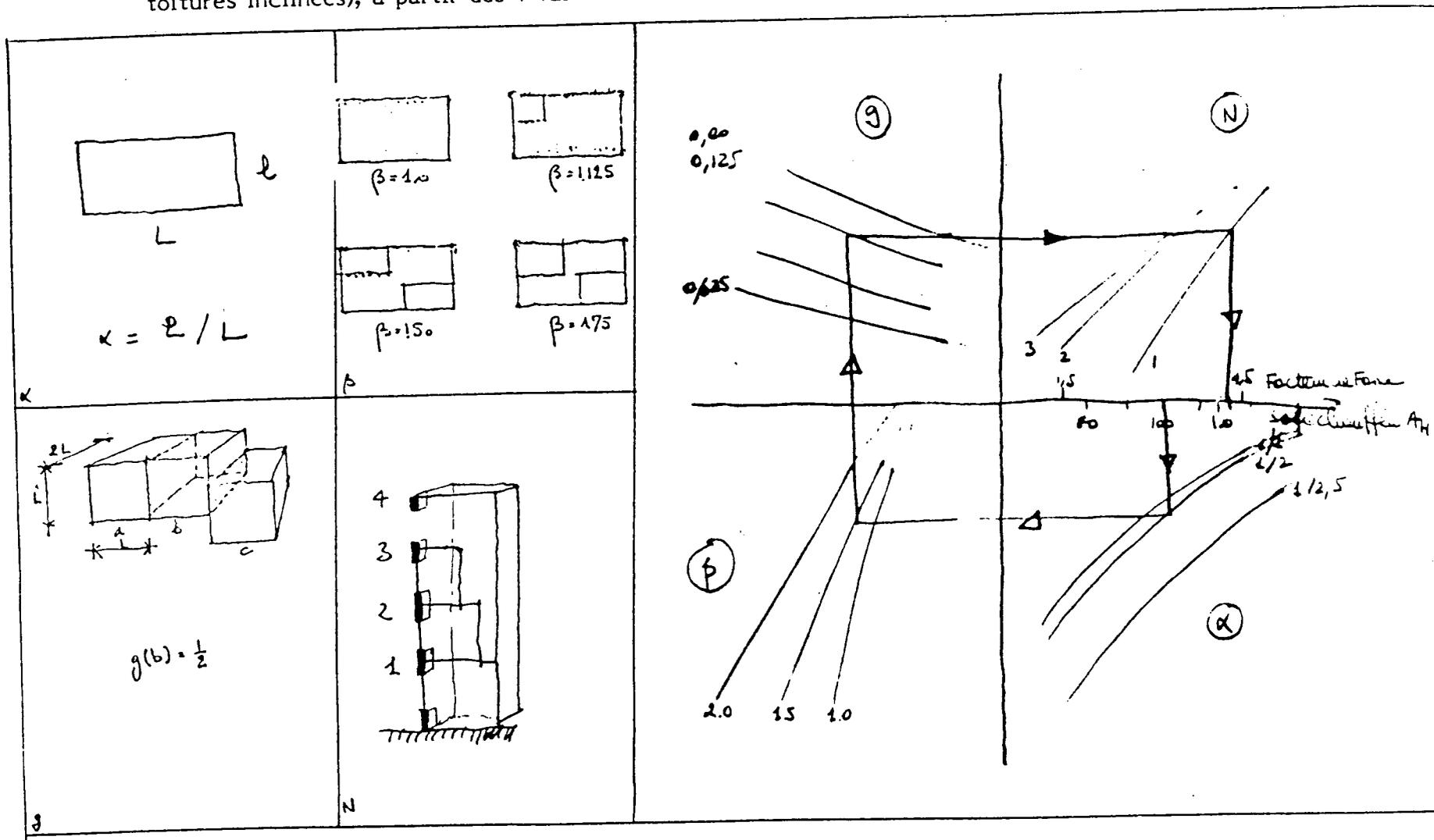


TABLEAU I

Pour des volumes parallélépipédiques à hauteur d'étage constante $H = 2,7$ m, sans redents internes, avec même surface par étage, avec un toit plat (ou un nombre fictif d'étage - souvent 1,6 pour toitures inclinées), à partir des 4 variables élémentaires



Cette méthode permet à la fois de passer des surfaces horizontales, à la surface totale d'enveloppe, mais aussi d'étudier la sensibilité du facteur de forme aux variations de ces facteurs élémentaires.

TABLEAU II

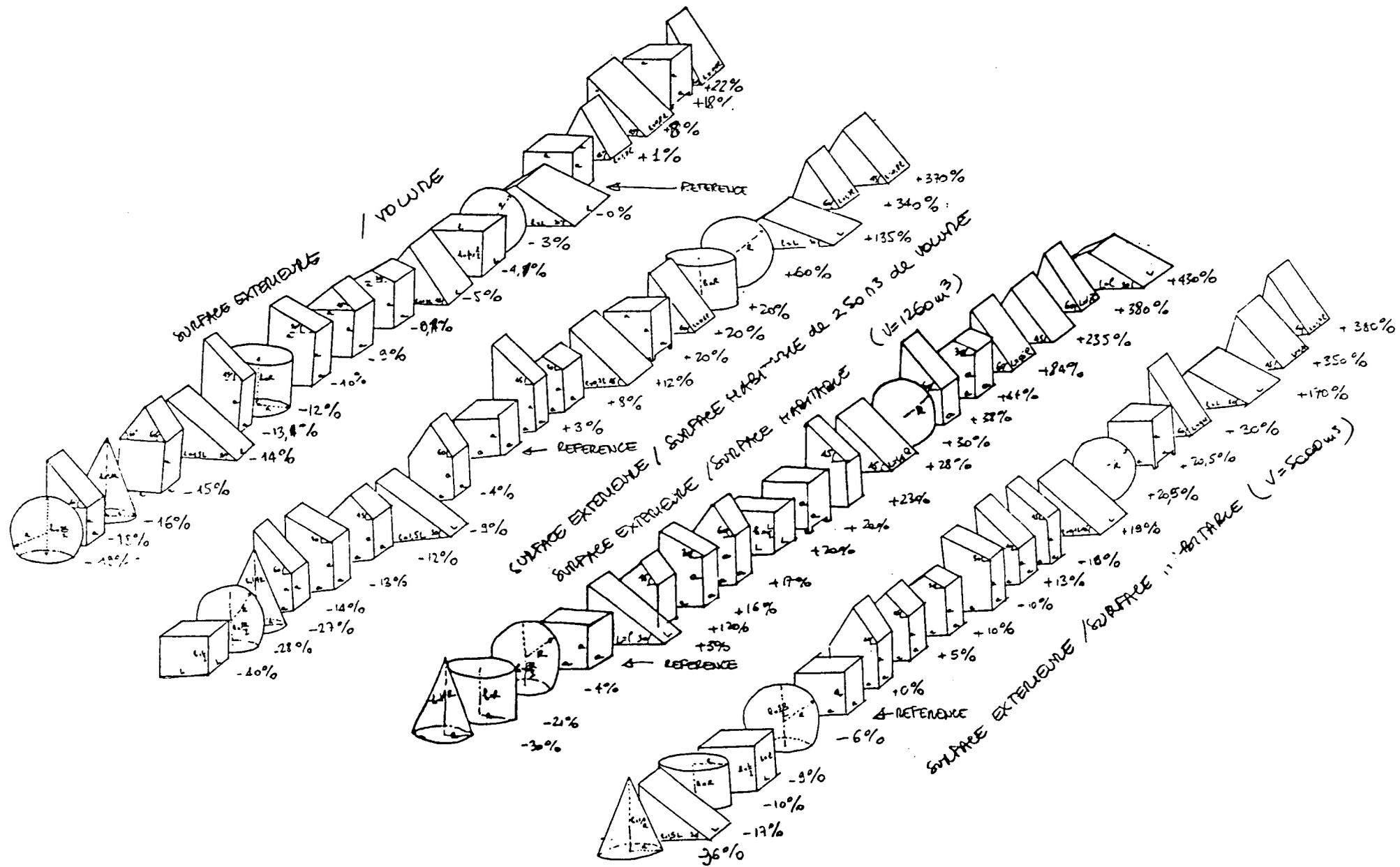


TABLEAU III

La surface transparente sud équivalente correspond à la surface de vitrage orientée au sud, équivalente d'un point de vue énergétique à tous les dispositifs de captation solaire passifs (direct par vitrage, mur trombe, serre...) du bâtiment considéré.

$$S_S = A \omega \cdot C_1 \quad [m^2] \quad \text{avec}$$

A surface de l'élément
 ω proportion d'énergie incidente pénétrant dans le logement
 C_1 facteur d'ombre (voir relief)
 C_1 coefficient correctif tenant compte de l'orientation et de l'inclinaison de l'élément.

paroi vitrée
 paroi opaque

Cette surface sud équivalente va nous permettre d'élaborer un outil simple d'estimation réciproque des aptitudes de captation solaire des volumes élémentaires.

Les règles de l'art d'une bonne utilisation de l'irradiation solaire sont :

- au niveau de la distribution du site, de rechercher les zones les plus favorables à partir d'une analyse fine des masques proches et lointains, existants au futur.
- au niveau de la distribution de l'espace, de rechercher à placer les zones de vie le plus proche possible des surfaces de captation de l'irradiation solaire (murs capteur ou fenêtres) et les zones à fort métabolisme (ateliers, pièces de service) le plus loin possible et en tampon thermique. De même l'irradiation solaire variant au stade de la journée on recherchera à disposer les zones utilisées principalement le matin vers l'est, les zones plutôt utilisées l'après-midi ou la nuit vers le sud (avec stockage important) ou à l'ouest (avec stockage modéré).
- au stade de l'évaluation des besoins thermiques on utilisera une méthode graphique d'évaluation du rendement solaire du bâtiment à partir de la balance énergétique de chaque paroi (sur la saison de chauffe) en fonction :
 - de la pente de la paroi
 - de l'orientation de la paroi
 - de la proportion de vitrage
 - du niveau d'isolation souhaitée pour les parois verticales (et pour la toiture)

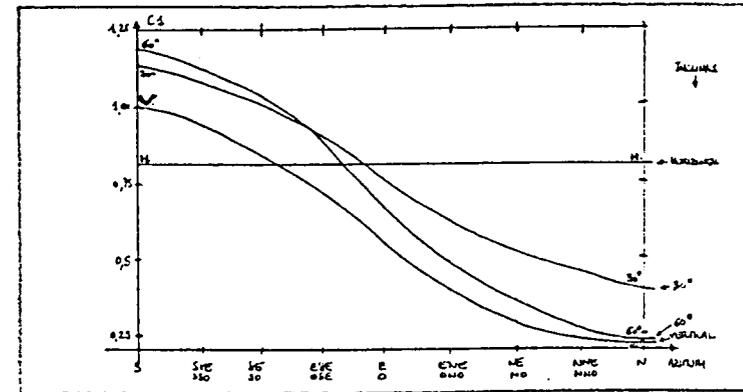


TABLEAU IV

Un outil d'aide à la conception a été développé comparant pour des volumes élémentaires, les notions surface sud transparente équivalente sur volume et sur surface d'échanges avec l'extérieur.

Pour ces volumes élémentaires équivalents ($V \approx 250 \text{ m}^3$ correspondant à une moyenne dans l'habitat individuel), nous avons supposé toutes les surfaces transparentes et calculé les surfaces transparentes sud équivalentes correspondantes, puis classé par capacité d'absorption de l'irradiation solaire décroissante.

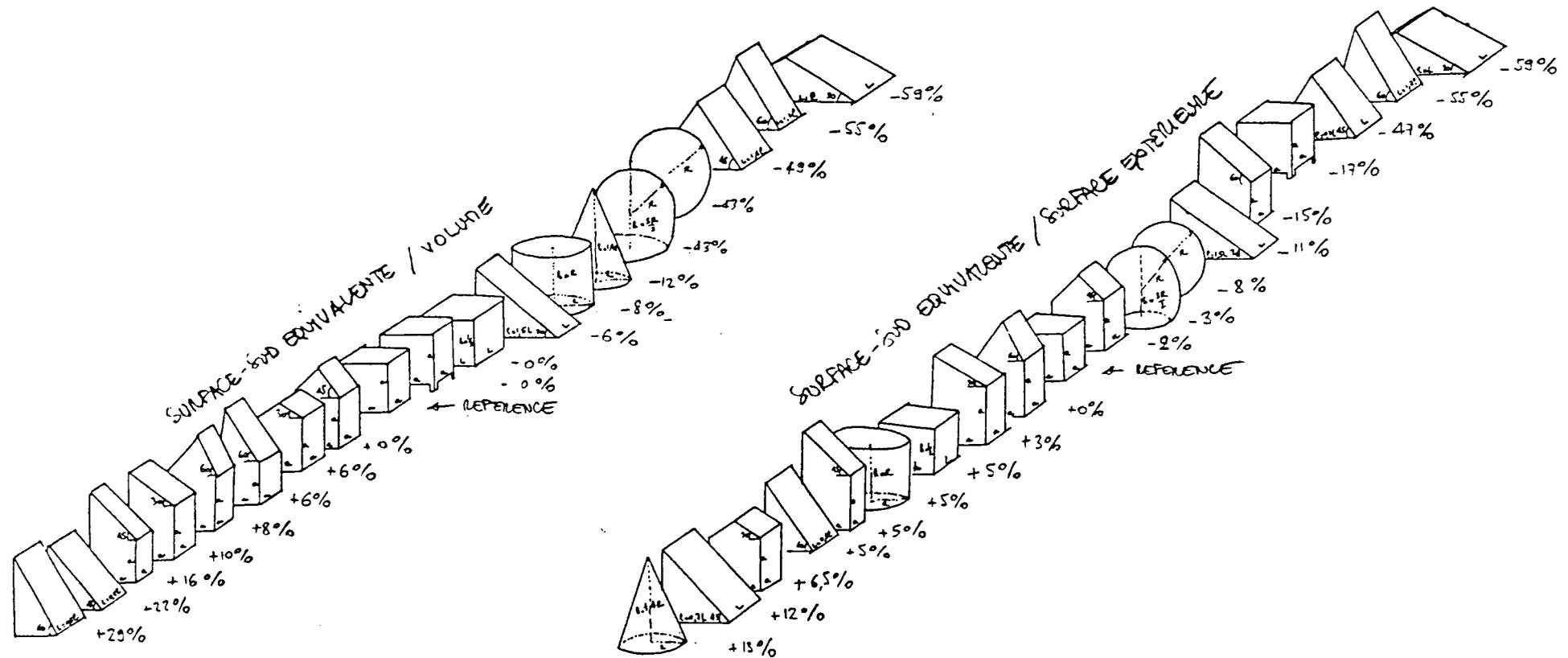


TABLEAU V

Intégration du niveau isolatif des parois verticales opaques K_{op} à l'outil graphique unique développé dans l'Etape 3.2 (besoins thermiques, en relation avec les autres paramètres de la paroi (% vitrage, simple ou double vitrage...) pour obtenir un bilan global déperditif et solaire de chaque paroi (K bilan).

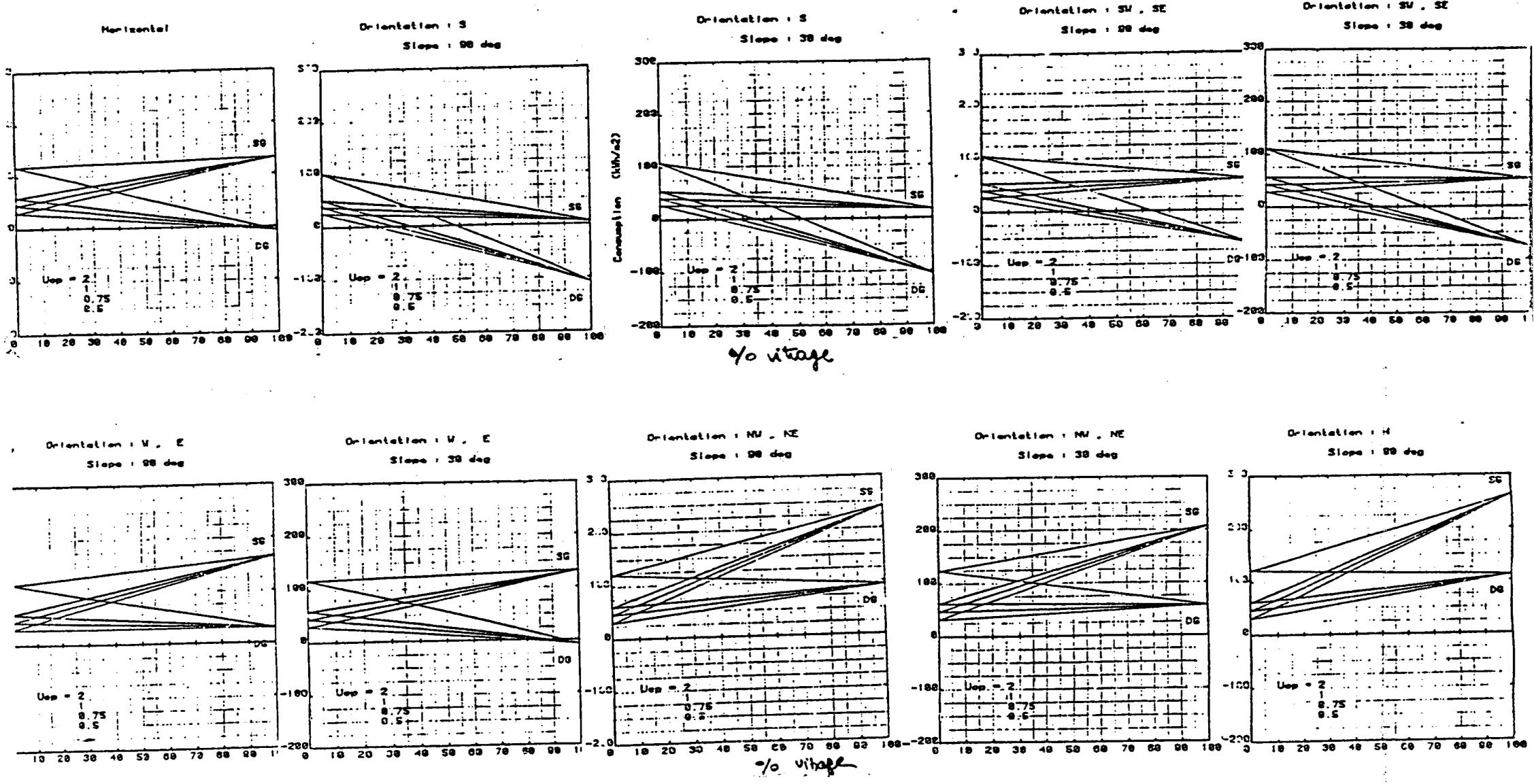
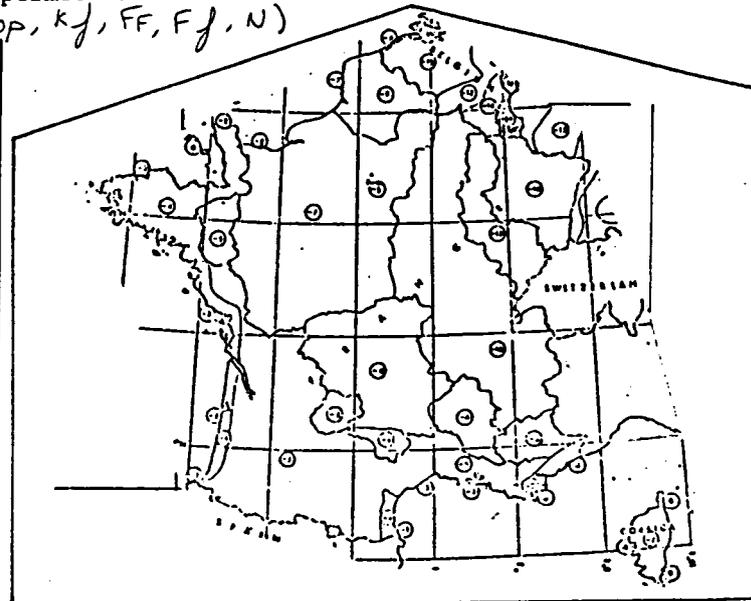
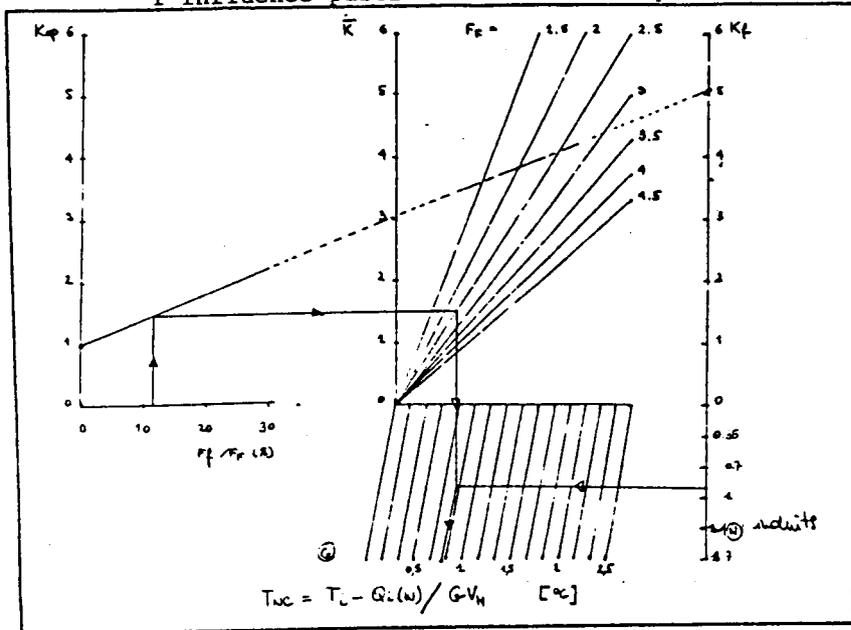


TABLEAU VI

- 1 Une résolution graphique de G (pour des valeurs forfaitaires $K_{TOIT} = K_{OP}$, $\lambda = 1$, $B = 0$, $h = 2,7$ m) permet d'aboutir directement à cette valeur, et permet de faire une étude de sensibilité sur l'influence particulière d'un des paramètres (K_{OP} , K_f , F_f , F_j , N)



- 2 Définition de la température de référence T_0 minimale (valeur extrême de la moyenne journalière hivernale dépassée durant 1 journée sur une période de 2 ans) (Voir carte.)
 A partir du facteur température intérieure de confort, définition de T_i moyenne sur tout le volume habitable.
 On en déduit la puissance servant à dimensionner les installations de chauffage :

$$P_c = G V_H (T_i - T_0) \quad [W]$$

- 3 A partir des Activités Domestiques, calcul des apports internes induits.
 Définition de la température de non-chauffage.

$$T_{nc} = T_i - Q_i(w)/G V_H \quad [°C]$$

TABLEAU VII

1 Choix de la ville de France, la plus proche climatiquement du site choisi.

2 - Choix d'un critère fraction solaire SHF donné et déduction de la surface sud de capteurs à partir des tableaux proposés en Annexe 5,

ou

- Choix d'une surface de capteur sud et déduction de la fraction solaire SHF des besoins à partir des tableaux proposés en Annexe 5 (S_G intègre un ω de l'ordre de 0,5)

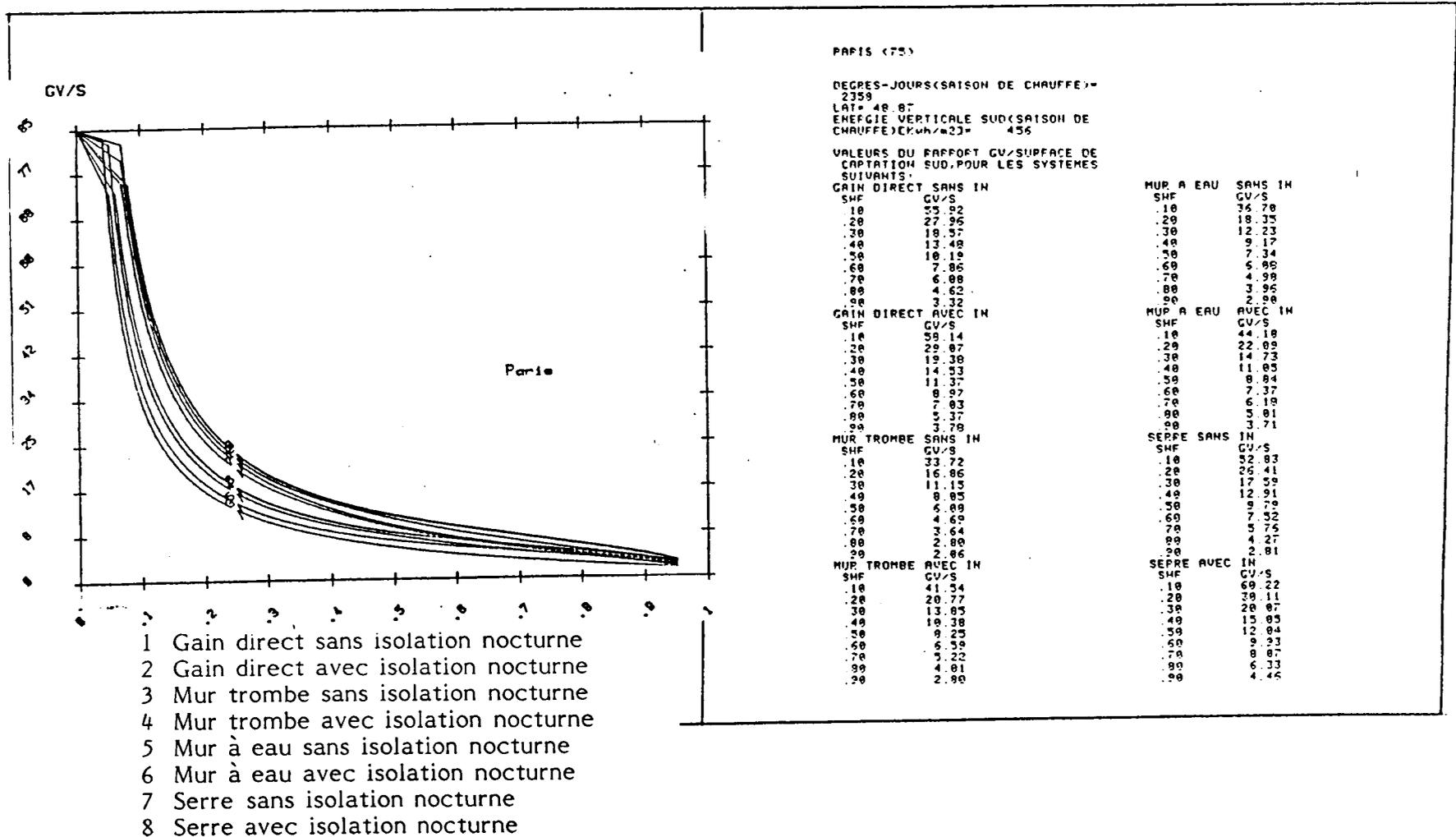


TABLEAU VIII



Paris, le 07-01-1987

Compte-rendu du séminaire
du 24-10-86 sur
"MORPHOLOGIE & ENERGIE"



1. Participants au séminaire :

Melle Dominique	LAVOLE	Architecte
MM. Alain	BORNAREL	TRIBU
Paul	BREJON	ENSMP
Jean-Pierre	CORDIER	Ecole d'Architecture de TOULOUSE
Bruno	COUSSY	Atelier d'environnement & d'architecture de ROCHEFORT
Alain	ENARD	Ecole d'Architecture de PARIS/LA VILLETTE
Gilles	OLIVE	BEGO
Jean-Pierre	PENEAU	CERMA (NANTES)
Michel	RAOUST	DIALOGIC
La wrence	WARNER	ENSMP

2. Introduction

En ouverture de cette session, G. OLIVE rappelle l'objet du séminaire.

Le colloque "Architecture, Urbanisme et Energie" des 12/13-12-85, organisé dans le cadre du programme H2E85, avait été l'occasion de faire le point sur la prise en compte de la maîtrise de l'énergie dans les démarches architecturales et urbanistiques.

Il s'est avéré que le rapport morphologie/énergie était assez mal maîtrisé depuis l'échelle du logement jusqu'à celle d'une opération concernant un ensemble de logements (immeuble, groupes d'immeubles, lotissement), par manque de moyens conceptuels qui soient, au niveau de l'avant-projet, un compromis judicieux entre précision et utilisabilité.

Dans cette optique, une série de questions sont à aborder :

- comment prendre en considération la forme, le traitement des surfaces et la structuration énergétique interne ?
- quel statut énergétique d'un discours architectural donné ?
- que peut-on dire de la faisabilité de l'optimisation multi-critères d'une opération ?
- que vont provoquer les nouveaux moyens de gestion sur la morphologie d'une opération ?

Après cette introduction suit un tour de table afin de situer la position de chaque participant sur la question.

P. BREJON indique qu'un groupe de travail, auquel participent ARMINES, DIALOGIC, ABACUS, LEMA (Université de Liège) et deux autres équipes (Irlande et Grèce), sous l'égide de la CCE-DGXII, a pour objectif la mise au point d'un modèle informatique pour la réhabilitation énergétique urbaine.

J.P. PENEAU présente succinctement une démarche sur 15 ans. Travail de modélisation de l'environnement (vent, soleil, bruit). Démarche de modélisation utilisable pour l'avant-projet, très différente de celle du CSTB qui a opté pour la simulation physique de l'aérodynamique des projets. Travail d'analyse énergétique des références pour les projets d'architecture. Colloque International des 24/25-10-86 à NANTES sur "Conception des formes urbaines et contrôle énergétique". Mise au point d'un outil informatique de représentation.

J.P. CORDIER décrit les premières conséquences d'un travail d'évaluation des implications économiques de la conception architecturale : mise au point d'un outil d'aide à la conception, collaboration avec des CAUE, mise en évidence de la grande sensibilité des évaluations économiques et de la faiblesse de certains critères de conception comme le coefficient de forme.

B. COUSSY souligne la difficulté à surmonter la séquentialisation de l'urbanisation et la nécessité d'aider à intégrer la dimension énergétique dans les décisions urbanistiques et la commercialisation des lotissements.

A. ENARD pose la question de la réalité de la prise en compte de l'environnement.

D. LAVOLE pose la question de l'état de la réglementation urbanistique.

A. BORNAREL souligne la complexité du choix d'un ensemble structuré de critères hétérogènes (climatiques, architecturaux, urbanistiques, économiques).

Enfin, ce tour de table est achevé en faisant référence à d'autres travaux connus :

- du groupe ABC de MARSEILLE, sur le rôle de la végétation et sur l'ensoleillement.
- de l'équipe de Mme MILLER-CHAGAS, de STRASBOURG, sur l'approche pédagogique du rapport architecture/énergie (Cf. "Le milieu physique et le projet d'architecture" issu du séminaire "Architecture et environnement physique")
- de F. NICOLAS et M. REMON, sur le rapport "Structuration de l'espace intérieur/environnement".

3. Débat

Il a tourné autour de deux interventions, celles de J.P. PENEAU et B. COUSSY.

J.P. PENEAU a ancré sa réflexion dans la problématique du projet.

Tout d'abord, il a insisté sur la multiplicité et l'évolutivité des techniques et des références. Une première préoccupation est de s'intéresser à la qualité énergétique des références architecturales et urbaines dans les théories et dans les pratiques (prise en compte et moyens de prise en compte des considérations énergétiques). Une deuxième préoccupation est de s'intéresser au rapport des qualités architecturales et énergétiques des projets.

Ensuite, il a souligné l'évolutivité de la notion d'énergétique et la relative stabilité de la notion de confort extérieur par rapport à celle de confort intérieur.

Enfin, il a rappelé le rapport délicat qu'entretiennent la différenciation spatiale avec la différenciation thermique. Ce rapport a une influence certaine dans l'orientation de la démarche du diagnostic thermique.

De son côté, B. COUSSY a développé le point de vue de l'urbaniste.

Tout d'abord, il a repéré l'intérêt pratique des règles adoptées historiquement.

Il a ensuite souligné la nécessité de prendre en compte le contexte climatique dès le début d'une réflexion urbanistique. Quelques règles simples semblent pouvoir être adoptées à ce sujet :

- les espaces publics doivent être protégés
- le dessin de la voirie doit permettre une bonne orientation des bâtiments.
- la conception des bâtiments doit prendre en considération les ombres portées.
- la localisation et l'orientation des bâtiments du secteur tertiaire doit tenir compte de leur utilisation.

Des règles du jeu spécifiques devraient être clairement produites en conséquence pour l'ensemble des séquences d'urbanisation.

Puis, il a indiqué que la production d'un atlas de morphologie urbaine (rues, places, ensembles) serait possible et utile.

Enfin, il a conforté la position de J.P. PENEAU sur la stabilité de la notion de confort extérieur et précisé que le rapport entre confort extérieur et intérieur était délicat à traiter, particulièrement dans le cas des lotissements.

4. Conclusion

Pour ce qui est de la question "morphologie-énergie" concernant les bâtiments, il semble que trois problèmes soient encore à élucider en grande partie :

- approche multicritères du rapport entre morphologie et coût global
- évolution du traitement morphologique, de l'approche externe à l'approche interne.
- relation des caractérisations spatiale et thermique.

Pour ce qui est de la question "morphologie-énergie" concernant l'urbanistique, il semblerait utile :

- . d'évaluer l'ensemble des règles simples présentées par B. COUSSY
- . d'élaborer un atlas de morphologie urbaine qui tienne compte de deux types de "rugosité" des opérations : forte d'un côté, moyenne et faible d'un autre.

. de proposer, selon les opportunités de concours ou d'élaboration de POS, une règle du jeu énergétique.

A la question de savoir quels acteurs pourraient être intéressés par des travaux selon les orientations précédentes, une première réponse serait : CCE, STU, collectivités locales, producteurs de mobilier urbain.

Données bibliographiques
du colloque A.U.E. des 12/13-12-85
par Dominique LAVOLE (architecte)

000

ARCHITECTURE ET ENERGIE :

OUVRAGES GENERAUX :

- The architecture of the well-tempered Environment
Reyner Banham
Architectural Press, 1969
- Critique architecturale
Reyner Banham
Institut de l'Environnement, 1975
- Du bon usage des énergies
Techniques et Architecture/Juin. Juillet 1977
- L'enseignement de Las Vegas
Robert Venturi, Denise Scott Brown, Steven Izenour
Mardaga, 1978
- L'Homme, l'architecture et le climat
Givani, Technion Haïfa Israël
Moniteur 1978
- Les 4 éléments
Techniques et Architecture/Juin. Juillet 1979

FORME ET CONCEPTIONS ARCHITECTURALES :

- Pour une approche bioclimatique de l'architecture
La face cachée du soleil
Nicolas, Traisnel, Vaye - 1974
- La façade épaisse
Michel REMON
Plan Construction, 1978
- A la recherche d'une typologie de l'habitat bioclimatique
Queffelec, Trebi, Le Quérré
CSTB Cahier n° 208, Avril 1980
- Principes et formes de l'habitat climatique
Queffelec
CSTB, 1982

- Rues Couvertes
Christian Devillers
Rapport de recherche CORDA
Plan Construction, AUA Recherche, 1982
- Maisons solaires - premiers bilans
Jean-Pierre Ménard
Ed. du Moniteur, 1980
et Cahiers Techniques du Bâtiment n° 55, 1983
- Architecture climatique
Techniques et Architectures/Juin. Juillet 1984
- Architecture urbaine bioclimatique
Frédéric Nicolas - Michel Rémon
Rapport de recherche Plan Construction et Habitat, Janvier 1985
- Des contraintes énergétiques à des règles de l'art favorisant la conception architecturale
Luc ADOLPHE, Juillet 1985

REGLEMENTATION :

- La conception et la réglementation à propos du programme H2E 85
Gilles OLIVE
Techniques et Architecture/Juin. Juillet 1984
- Formulation simplifiée des consommations pour le chauffage et la production d'ECS
Gilles OLIVE
Bâtiment-Energie/Octobre. Novembre 1985
- La prochaine réglementation thermique : où en est-on ?
Anne FLORETTE
ENPC - Direction de la formation continue et de l'action internationale, Décembre 1985

TECHNIQUES :

- Typologie thermique des éléments de façades
Gilles OLIVE
Techniques et Architecture/Octobre 1980
- Effets de serres
Conception et construction des serres bioclimatiques
I. Hurpy, F. Nicolas
Edisud/Pyc-Edition, 1981
- Guide de l'Energie solaire passive
Mazria
Ed. Parenthèses, 1982

- Dossiers annuels de consultation H2E 85
MULT 1981, 1982, 1983
à paraître 1984, 1985
- Catalogue de techniques H2E 85
MULT, 1985
- Construire en bois
ENPC
Direction de la Formation continue et de l'action internationale, 1985

METHODES ET OUTILS

- Les outils d'aide à la conception des enveloppes thermiques des bâtiments
Vers une utilisation a priori des méthodes de calcul disponibles
Depecker, Allard, Roux
Revue CVC/Janv. Février 1984
- Les récents développements en Modélisation et Simulation de la Thermique de Bâtiments
J. Sornay
Congrès annuel S.F.T. Sophia Antipolis, 1985
- Le nouveau concept de performance thermique
Dualité Energie - Confort
Congrès International Intersol, Montréal, Juin 1985
- Problèmes de l'optimisation appliquée à l'énergétique des bâtiments neufs
Gilles OLIVE
Bâtiment-Energie/Juin. Juillet 1985
- Qui sont les diagnostiqueurs ?
Dans quel corps de métier se recrutent-ils ?
Quelle formation doivent-ils acquérir ?
Fontanel
Intervention au Colloque ATEE - Mai 1985

ENSEIGNEMENT :

- Etude préliminaire à la mise au point d'un didacticiel en thermique et climatique
Peneau, Groleau, Marenne
CERMA, Nantes, 1984
Contrat SRA du MULT
- Développement d'une version opérationnelle du logiciel de simulation thermique Simula
Fragnaud, Groleau, Marenne
CERMA, Nantes, 1985
Contrat SRA du MULT

- Constitution et mode de transfert d'un savoir scientifique dans le champ de l'architecture
Le cas de la thermique
P. DEPECKER
Thèse de Doctorat d'Etat, Lyon, Juillet 1985

URBANISME ET ENERGIE :

OUVRAGES GENERAUX :

- Etude sur les relations entre problèmes énergétiques et aménagement urbain
Hervé Mathieu
CRU, Paris, 1978
- L'infléchissement des politiques urbaines aux Etats-Unis d'Amérique en faveur des économies d'énergie.
CRU, Paris, 1978
- L'environnement et l'utilisation de l'énergie dans la région urbaine
Hervé Mathieu
Paris, OCDE, 1978
- L'énergie et la ville
Actes de colloque - CRU, 1979
- Ville et énergie. L'art d'aménager l'espace : une réponse aux pénuries futures
Hervé Mathieu
Urbanisme et Environnement n° 3/Juin 1979
- Adaptation urbaine et mutations énergétiques
CRU, Paris, 1979
- Choix énergétique et choix de sociétés
Futuribles 2 000 n° 22, Avril 1979
- Planning and Energy : International Society of City and regional planners congress Strasbourg
Zurich, ORT - ETH, Avril 1980
- Préoccupation énergétique en Urbanisme
L. Muyldermans - Bureau d'Etude CREAT
Louvain-la-Neuve, Université Catholique, 1981
- Le grand tournant énergétique
Guibert, Kanffmann
Syros, Paris, 1983

- Schéma général d'aménagement de la France
Energies et régions, production et consommation,
perspectives 1985 - 2 000
DATAR
La Documentation Française
Coll. travaux et recherches de prospective n° 79, 1980
- Les perspectives régionales d'offre et de demande d'énergie en France à l'horizon 2 000
Pierre Bonaiti, Bernard Bourgeois, Jacques Girod
Revue de l'énergie, n° 334/Mai 1981
- Pouvoir régional et politique énergétique
Actes du colloque d'Avignon du 25 Septembre 1982
Futuribles, Paris, 1982
- Energie et développement local
Rencontres Diagonales
STU, Décembre 1983

COLLECTIVITES LOCALES - PLANNIFICATION URBAINE

- Politique Energétique d'une agglomération
IEJE, CNRS, Grenoble - Décembre 1978
- Les Collectivités locales : politique énergétique et développement urbain
Anne FLORETTE
Paris, ENPC, IFE promotion 1981
- Energie et urbanisme
Agence d'Urbanisme de Reims, Octobre 1981
- Action municipale et énergie, une enquête de terrain en Bretagne 1981-82
Revue Autrement
- Energies et Collectivités Locales
P. Romain
Cahiers du C.F.P.C. n° 10/Mars 1982
- L'énergie et la ville, pour un pouvoir énergétique local
Bernard et Mettelet
C.F.P.C., 1983
- La ville et l'énergie
Colloque AGHTM, 28 et 29 Janvier 1982 et aussi, 15 et 16 Juin 1983
- Coût de l'énergie et localisation résidentielle
Charreyron, Mathieu
Etudes Foncières n° 13/Automne 1981

- Maîtrise de l'énergie dans le secteur domestique
Leyral, Monnier
AFME, Paris, 1983
- Un équipement urbain - le réseau de chaleur
STU, Paris, 1982
- Les réseaux de chaleur : un aspect du redéploiement énergétique de la France
Paris, ENPC, 1981
- Energie et transports urbains
IRT, Arcueil, Avril 1980
- Dépense énergétique pour les déplacements en structures urbaines
J.P. Orfeuil
Communication ATEC, 1981
- Le budget énergie - transport : nouvel outil d'analyse urbaine ?
J.P. Orfeuil
Recherche Transport n° 36
- Maîtriser l'espace et l'énergie
STU, CETUR, IRT - Décembre 1984
- Les budgets énergie - transport à l'horizon 2 020 dans l'aire du schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme
Agence d'Urbanisme de Rennes

FORMES URBAINES ET ENERGIE :

- Soleil et Formes Urbaines
Magnan, Claux, Pessio, Raoust
Plan Construction, CRU, 1979
- Energy, urban form and planning
Owens
University of Nottingham, 1980
- Essai d'urbanisme solaire. A Nantes un quartier sur la pointe d'une île de la Loire
Peneau
Architecture d'Aujourd'hui n° 217, Octobre 1981
- Renaissance de communes rurales ou nouvelles formes d'urbanisation ?
Economie et Statistique n° 149/1982
- Critique du paysage de l'énergie
Gildes Bandez, François Beguin
SRA, 1982
- Espaces urbains de transition, valeur d'usage et capacités climatiques
J.M. Boucheret, G. Féry, R. Joly
Rapport de recherche CORDA, GAA - 1982

- Problèmes énergétiques et urbanisme
François Gentilhomme
UPA n° 5, 1983
- La protection du droit au soleil aux USA
Lambrechts.
Revue juridique de l'Environnement, 1979
- De l'inauthenticité à une certaine réglementation archaïque ou des difficultés à construire un habitat climatique
Lavigne
Bâtiment-Energie n° 33, 1984
- La réception de l'énergie solaire et le droit de l'Urbanisme en France et aux Etats-Unis
Jamet
ATP-CNRS
Socio-Economie de l'Energie
- Microclimats urbains, étudiés sous l'angle du confort à l'extérieur des bâtiments
Pénicaud
Rapport de recherche Plan Construction
RAUC, 1978
- Connaissances fondamentales de climatologie en urbanisme et architecture
Fédération Internationale pour l'Habitation, l'Urbanisme et l'Aménagement des Territoires -
La Haye -
La Haye - Fihuat, 1980
- La protection contre le vent
J. Gandemer
CSTB, Juin 1981
- Le confort dans les espaces extérieurs : analyse microclimatique
Sacré
CSTB - Plan Construction, 1983
- Configurations urbaines et bilans énergétiques
Ph. MILLER-CHAGAS
Strasbourg, rapport de recherche
Plan Construction, Arias

...

L'optimisation énergétique en cascade
d'un bâtiment neuf
par Gilles OLIVE

...

L'optimisation énergétique d'un bâtiment neuf, sans prendre en considération ses équipements, passe par la minimisation de ses besoins énergétiques nets (BN). La formulation de ces besoins est fournie par les figures 1 et 2.

Dans le mesure où la localisation, l'orientation, la configuration et la ventilation du bâtiment sont données, cette minimisation de BN consiste à travailler les facteurs de sensibilité des variations des caractéristiques indépendantes des différentes parois de l'enveloppe du bâtiment. Le fondement de ce travail est fourni par la figure 3, sachant que les caractéristiques indépendantes des parois sont :

S: surface

PV: proposition de vitrage

KO et **KV**: conductances surfaciques globales des parties opaques et vitrées

TO et **TV**: transmittances surfaciques globales des parties opaques et vitrées

A ces caractéristiques, il faudrait ajouter la perméabilité à l'air de la paroi pour être exhaustif.

Cette optimisation qui se préoccupe du traitement de parois données peut être appelée optimisation surfacique de l'énergétique de l'enveloppe du bâtiment. Elle n'a de sens que si le traitement de la configuration du bâtiment a été réalisé auparavant selon un critère qui va dans le sens du travail ultérieur et selon une démarche indépendante de la suivante.

Ce traitement préalable de la configuration du bâtiment n'est pas nécessairement une optimisation. Actuellement, une proposition sérieuse est faite par J.P. TRASNEL qui adopte le critère de la réduction des déperditions du bâtiment de la manière suivante, en partant du coefficient G :

$$G = G_i + G_a$$

avec :

G_i : partie du coefficient G relative aux déperditions de l'enveloppe

G_a : partie du coefficient G relative aux besoins en chauffage de l'air neuf

$$G_i = \frac{1}{V_h} \cdot \sum_j K_j S_j$$

où :

K_j : conductances surfaciques globales des parois de surface S_j

V_h : volume habitable

Une reformulation de $G_{i,j}$ donne :

$$G_{i,j} = \frac{\sum_j S_j K_j}{\sum_j S_j} \cdot \frac{1}{V_h^{\frac{1}{3}}} \cdot \frac{\sum_j S_j}{V_h^{\frac{1}{3}}} = K_m \cdot F_e \cdot F_f$$

avec :

K_m : conductance surfacique globale moyenne de l'enveloppe du bâtiment

F_e : facteur d'échelle

F_f : facteur de forme

Cette formulation adimensionnelle du classique facteur de forme amène à introduire un facteur d'échelle. La réduction de $G_{i,j}$ suppose évidemment celle de K_m d'un côté et celle de F_e et F_f de l'autre. Normalement, des considérations d'usages devraient pousser à chercher cette réduction de F_e et F_f à V_h constant. On est donc ramené à un classique problème du travail de la forme d'un bâtiment à travers la réduction de son facteur de forme (selon la nouvelle formulation).

Toujours en travaillant à V_h constant, on pourrait envisager une autre voie de réflexion qui correspondrait à une véritable optimisation qu'on pourrait appeler optimisation volumique de l'énergétique de l'enveloppe du bâtiment selon les suggestions fournies figure 4. Cette optimisation, qui ne peut être que du type optimisation combinatoire, traiterait simultanément de la configuration et de l'orientation du bâtiment.

...

Référence :

COFEDES, "Architecture, climats, énergie. Outils et démarches pédagogiques", 86.

...

- Variables de définition énergétique d'une paroi de forme donnée et de surface S (appelée A par le CSTB).

PV : proportion de vitrage (avec un décompte de la surface vitrée en surface de tableau).
 KO : conductance surfacique globale de la partie opaque
 TO : transmittance surfacique globale de la partie opaque
 KV : conductance surfacique globale de la partie vitrée
 TV : transmittance surfacique globale de la partie vitrée

- Définition de la transmittance surfacique globale d'une paroi, T :

$$T = T_t \cdot T_m \cdot T_o$$

avec :

T_o : transmittance due à l'orientation et l'inclinaison de la paroi, appelée C_1 par le CSTB.

Si I et I_s sont les irradiances sur une période donnée de la paroi et d'une surface sud verticale, sans ombre portée, on aura : $I = T_o \cdot I_s$

T_m : transmittance due aux ombres portées par les obstacles lointains ou proches (masques), appelée f ou facteur d'ensoleillement par le CSTB.

T_t : transmittance due à la transmission d'énergie solaire incidente surfacique ($T_m \cdot T_o \cdot I_s$) par la paroi, appelée ω par le CSTB.

Si I_t est l'irradiation solaire transmise : $I_t = T_t \cdot T_m \cdot T_o \cdot I_s$

- Définition de la surface transparente sud équivalente d'une paroi, S_s :

$$S_s = S \cdot T_t \cdot T_m \cdot T_o \text{ ou selon le CSTB : } A \cdot \omega \cdot f \cdot C_1$$

- Définition de l'énergie d'apports solaires transmis à travers l'enveloppe d'un bâtiment, EAS :

$$EAS = I_s \sum_j S_{sj}$$

I_s est appelé ensoleillement sud (E) par le CSTB.

C'est-à-dire :

$$EAS = E \sum_j S_j [PV_j \cdot TV_j + (1 - PV_j) TO_j] = E \cdot S_s$$

où :

S_s : surface transparente sud équivalente du bâtiment.

Figure 1 : Formulation de l'énergie d'apports solaires transmis à travers l'enveloppe du bâtiment.

• Définitions :

BB : besoins énergétiques bruts (pour compenser les déperditions et satisfaire les besoins en chauffage de l'air neuf).

BN : besoins énergétiques nets : $BN = BB(1 - TA)$

TA : taux de couverture par récupération d'énergie d'apports (EA)

$EA = EAS + EAO + EAP$

EAS : énergie d'apports solaires transmis

EAO : énergie d'apports d'occupation (occupants, éclairage)

EAP : énergie d'apports de pertes des installations

$BB \cdot TA = RA \cdot EA = RAS \cdot EAS + RAO \cdot EAO + RAI \cdot EAI$

RA : taux de récupération de EA

RAS : taux de récupération de EAS

RAO : taux de récupération de EAO

RAI : taux de récupération de EAI

• Formulation de BB :

$BB = G \cdot V_h \cdot DH$

avec :

G : coefficient volumique de déperditions thermiques

V_h : volume habitable

DH : degrés-heures pendant la période de chauffage

• Formulation de BN :

$BN = BB - RAS \cdot EAS - RAO \cdot EAO - RAI \cdot EAI = BB - RA \cdot EA = BB(1 - TA)$

Selon le CSTB :

$BN = BB(1 - F)$

avec :

F : fraction des besoins de chauffage couverts par les apports gratuits

$$F = \frac{\alpha X + X^2}{\alpha + X + X^2}$$

α : coefficient dépendant de l'inertie du bâtiment

$$X = \frac{4,17 \cdot S_h \cdot NH + S_g \cdot E}{G \cdot V_h \cdot DH}$$

S_h : surface habitable

NH : nombre d'heures de la période de chauffage

Figure 2 : Formulation des besoins énergétiques nets d'un bâtiment

- Variation relative de BN pour une localisation, une orientation et une configuration données d'un bâtiment ventilé d'une certaine manière :

$$\frac{dBN}{BN} = \frac{dBB}{BB} - \frac{dF}{1-F}$$

$$g = G \cdot V_h$$

$$\frac{dBB}{BB} = \frac{dg}{g}$$

$$dF = \frac{\partial F}{\partial X} dX$$

$$dX = \frac{E}{g \cdot DH} dS_s - \frac{4,17 \cdot S_h \cdot NH + S_s \cdot E}{g^2 \cdot DH} dg$$

donc :

$$\begin{aligned} \frac{dBN}{BN} &= \frac{1}{g} \left[1 + \frac{1}{1-F} \cdot \frac{\partial F}{\partial X} \cdot \frac{4,17 \cdot S_h \cdot NH + S_s \cdot E}{g \cdot DH} \right] dg - \frac{1}{1-F} \cdot \frac{\partial F}{\partial X} \cdot \frac{E}{g \cdot DH} dS_s \\ &= \alpha dg + \beta dS_s \end{aligned}$$

avec :

$$dg = \sum_j S_j [(KV_j - KO_j) dPV_j + (1 - PV_j) dKO_j + PV_j dKV_j]$$

$$dS_s = \sum_j S_j [(TV_j - TO_j) dPV_j + (1 - PV_j) dTO_j + PV_j dTV_j]$$

d'où :

$$\begin{aligned} \frac{dBN}{BN} &= \sum_j S_j \left\{ [\alpha (KV_j - KO_j) + \beta (TV_j - TO_j)] dPV_j \right. \\ &\quad + \alpha (1 - PV_j) dKO_j \\ &\quad + \alpha PV_j dKV_j \\ &\quad + \beta (1 - PV_j) dTO_j \\ &\quad \left. + \beta PV_j dTV_j \right\} \end{aligned}$$

Figure 3 : Fondements de l'optimisation surfacique de l'énergie de l'enveloppe d'un bâtiment

● Fonction objectif :

$$F = K_m \sum_j S_j - E \sum_j C_j S_j$$

avec :

K_m : conductance surfacique globale moyenne de l'enveloppe du bâtiment, donnée

C_j : coefficient d'irradiation d'une paroi, fonction de son orientation et de son inclinaison (correspond au C_1 du CSTB et au T_0 de la figure 1).

d'où :

$$F = \sum_j (K_m - EC_j) S_j$$

● Contraintes :

1) $S_{es} \leq S_{es \text{ max}}$

S_{es} : Surface d'emprise au sol

2) Orientations possibles de l'emprise au sol

3) $\sum_j S_j \leq \phi$

ϕ : fonction de S_{es} maximum, de H (hauteur conventionnelle sous plafond), de S_R (surface habitable donnée).

Figure 4 : Fondements de l'optimisation volumique de l'énergétique de l'enveloppe d'un bâtiment.