



**HAL**  
open science

# Conception architecturale bioclimatique et parasismique

Jean-Louis Izard, Milan Zacek

► **To cite this version:**

Jean-Louis Izard, Milan Zacek. Conception architecturale bioclimatique et parasismique. [Rapport de recherche] 699/91, Ministère de l'équipement et du logement / Bureau de la recherche architecturale (BRA); Ministère de la recherche et de la technologie; Ecole nationale supérieure d'architecture de Marseille-Luminy / Groupe ABC - Laboratoire Architecture Bioclimatique et Constructions exposées aux risques naturels. 1989. hal-01910292

**HAL Id: hal-01910292**

**<https://hal.science/hal-01910292v1>**

Submitted on 31 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.

699 (2)

Ministère de l'Équipement, du Logement, des Transports et de la Mer  
Direction de l'Architecture et de l'Urbanisme  
Bureau de la Recherche Architecturale

# Conception architecturale bioclimatique et parasismique



Groupe ABC  
Ecole d'Architecture de Marseille-Luminy  
13288 Marseille Cedex 09

Ministère de l'Équipement, du Logement, des Transports et de la Mer  
Direction de l'Architecture et de l'Urbanisme  
Bureau de la Recherche Architecturale

**Conception architecturale  
bioclimatique  
et  
parasismique**

Essai de traitement multicritère de la conception

par

Jean-Louis IZARD, Architecte  
Milan ZACEK, Ingénieur-architecte

Etude effectuée dans le cadre du programme de recherche 1986-1989  
du Groupe ABC  
Ecole d'Architecture de Marseille-Luminy  
13288 Marseille Cedex 09

Décembre 1989

Le présent document constitue le rapport final d'une recherche remise au Bureau de la Recherche Architecturale en exécution du programme général de recherche mené par la Ministère de l'Équipement et du Logement, avec le Ministère de la Recherche et de la Technologie. Les jugements et opinions émises par les responsables de la recherche n'engagent que leurs auteurs.

## Introduction

Toutes les théories sur l'"architecture bioclimatique" et toutes les réalisations qui s'en réclament montrent que la conception architecturale "bioclimatique" concerne l'ensemble du projet, de l'implantation au second-œuvre.

La conception architecturale "parasismique", qui est une intelligente manière d'appliquer les "règles parasismiques", met en jeu, elle aussi, tous les aspects du projet.

Il est donc souhaitable de comparer les solutions architecturales issues des exigences bioclimatiques d'une part, et celles qui satisfont aux exigences parasismiques d'autre part, et de vérifier si elles ne sont pas en contradiction totale ou partielle.

L'objectif de cette recherche exploratoire est de procéder à cette vérification, et de trouver les "caractéristiques" sur lesquelles existeraient d'éventuelles contradictions, sans pour l'instant chercher à les résoudre.

Il est aussi de montrer comment on peut s'y prendre pour résoudre le problème de la "conception multicritère" d'un bâtiment. Il est enfin de préparer le terrain à un programme plus vaste de conception multicritère.

La présente étude se limite donc aux habitations, et au climat méditerranéen français. Elle est basée sur un état du savoir homogène entre les deux champs qu'elle recouvre, et n'a donné lieu à aucune investigation spécifique. Elle a simplement pu bénéficier des résultats les plus récents acquis dans le cadre des recherches effectuées au Groupe ABC en matière de conception thermique.

## Zones climatiques/zones sismiques

Le croisement des exigences "bioclimatiques" et "parasismiques" présente un intérêt intellectuel certain, lié à la problématique des études "multicritères".

Mais l'intérêt de ce type d'études est également fondé sur le fait qu'il existe effectivement des zones de territoires soumis à la fois à des contraintes climatiques d'hiver et d'été justifiant la conception bioclimatique des édifices, et à des risques sismiques imposant la conception parasismique. Il est donc intéressant de montrer dans quels cas un traitement croisé des solutions architecturales "bioclimatiques" et "parasismiques" s'impose.

Nous présentons dans ce qui suit comment se répartissent les zones de sismicité et les zones climatiques en se limitant aux pays bordant le bassin méditerranéen.

Voyons d'abord de manière globale quelle est la situation sismique dans le Bassin Méditerranéen. Nombreux sont les pays "à risque sismique": sur une échelle à 4 graduations (sismicité négligeable, faible, moyenne ou forte), tous les pays ont une zone de risque au moins égal à "3", y compris la France.

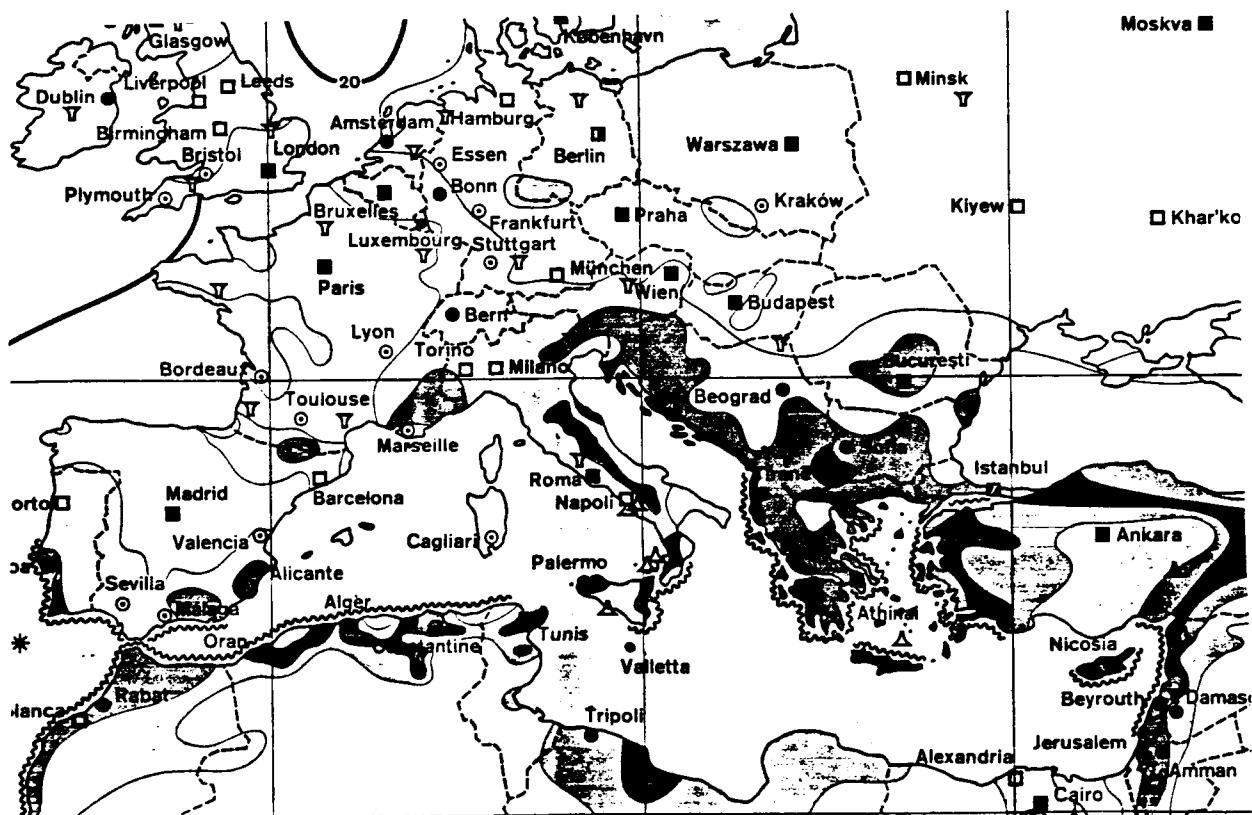


Fig. 1: Zones de risque sismique dans le Bassin Méditerranéen: tous les pays riverains sont concernés, avec cependant un foyer plus actif dans le bassin oriental : Sud de l'Italie, Yougoslavie, Grèce, Turquie.

L'aire couverte par ces zones de risque est intéressée par divers climats, comme le montre la carte des climats du Bassin Méditerranéen.

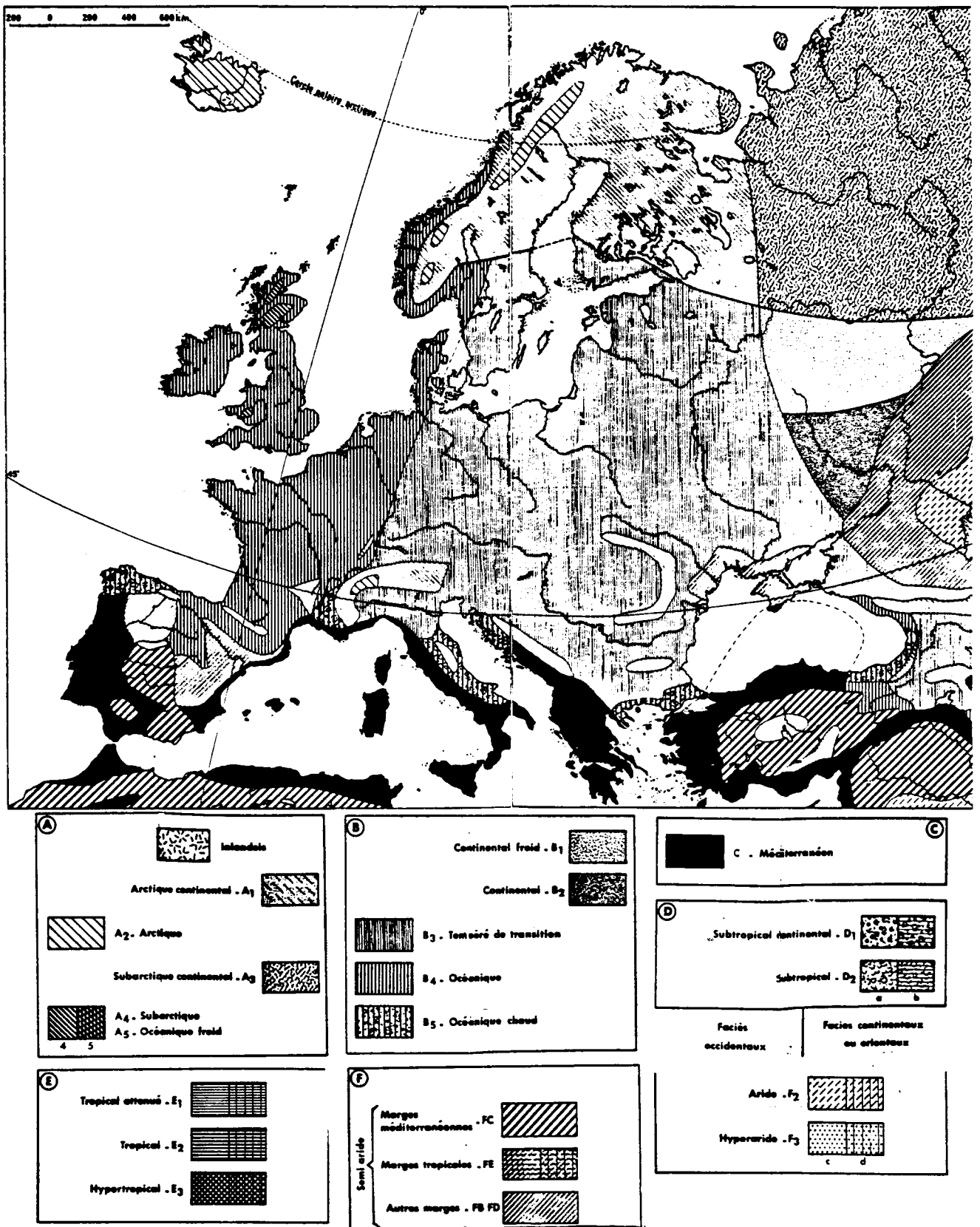


Fig. 2: Principaux climats du Bassin Méditerranéen (extrait du "Précis de climatologie" de Ch. P. PEGUY).

La superposition des deux cartes montre que les zones sismiques correspondent aux zones climatiques suivantes (selon la classification PEGUY):

- "Méditerranéen"
- "semi-aride, marges méditerranéennes"
- "océanique"
- "océanique chaud"
- "subarctique"
- "tempéré de transition".

C'est à dire qu'il ne manque dans cette liste que l'"inlandsis", l'"arctique", le "subarctique continental" et l'ensemble des climats tropicaux, qui ne sont pas représentés dans cette aire géographique.

Les problèmes climatiques à résoudre dans les zones sismiques sont donc très variés, alors que l'on se limite ici au bassin méditerranéen.

Cette variété se retrouve dans le territoire métropolitain français.

En France, la carte de sismicité fait apparaître l'existence de zones de moyenne sismicité (zones II ) en plusieurs points du territoire.

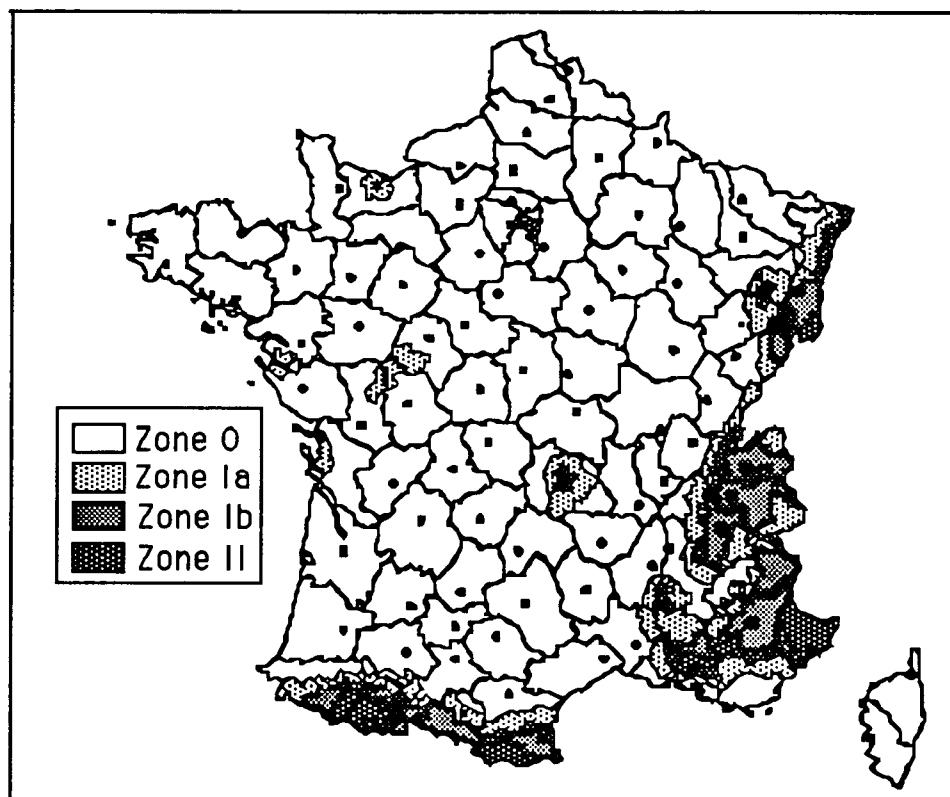


Fig. 3: Carte des zones sismiques en France (révision de 1985) mise au point par le BRGM pour l'application des règles parasismiques.



On trouve dans ces zones les départements suivants:

- en zone Ib (sismicité faible): le Bas-Rhin (67), partie orientale; le Haut-Rhin (68) presque en entier; les Vosges (88) (Remiremont); le territoire de Belfort (90), le Doubs (25) partie Nord; l'Ain (01) partie Est; la Haute-Savoie (74) presque en entier; la Savoie (73) moitié Nord-Ouest; l'Isère (38) partie centrale; les Hautes-Alpes (05) partie Nord-Est; les Alpes de Haute Provence (04) presque en entier; le Vaucluse (84) partie Sud; les Bouches-du-Rhône (13) partie Nord; la Drôme (26) partie Sud; les Pyrénées-Orientales (66) presque en entier; l'Ariège (09) partie Sud; la Haute Garonne (31) extrême Sud; les Hautes Pyrénées (65) presque en entier; les Pyrénées Atlantiques (64) partie Sud; le Puy-de-Dôme (63) canton de Clermont-Ferrand.

- en zone II (sismicité moyenne): le Haut-Rhin (68) extrême Sud; les Alpes-Maritimes (06) presque en entier; les Alpes de Haute Provence (04) partie Sud; les Bouches du Rhône (13) partie Nord; les Pyrénées-Orientales (66) extrême Sud; les Hautes Pyrénées (65) partie Sud; les Pyrénées Atlantiques (64) partie Sud; ;

Les zones concernées appartiennent à des aires climatiques différentes. Intéressons-nous aux "zones climatiques d'hiver", qui servent à déterminer le niveau de performance énergétique des bâtiments au plan règlementaire:

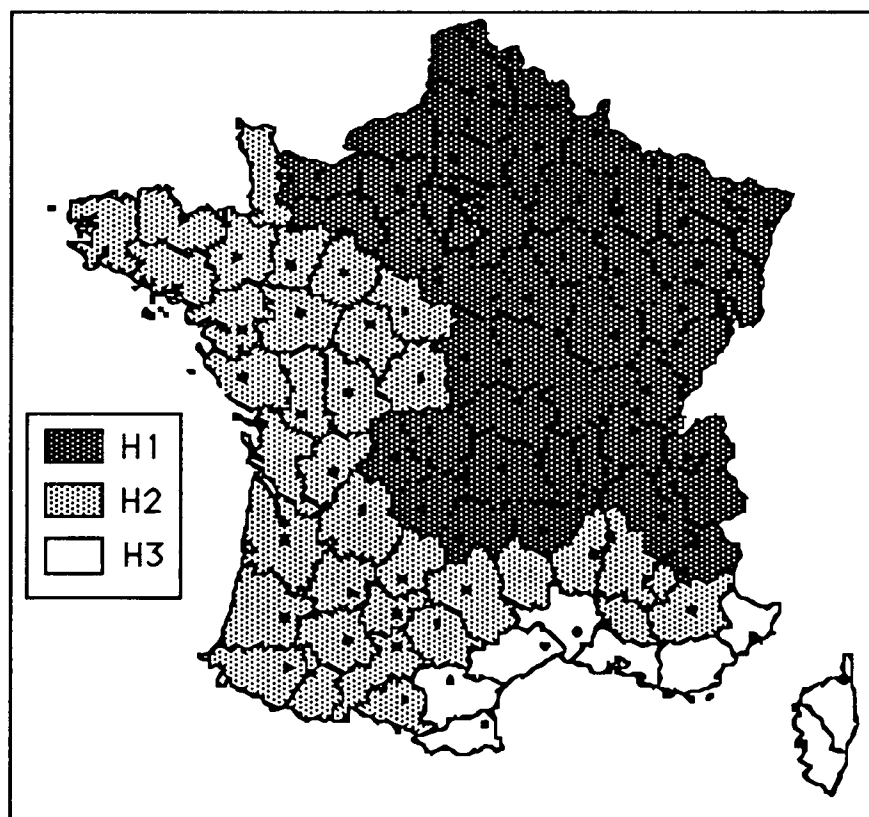


Fig. 4: carte de France des zones climatiques d'hiver : de "H1", la zone la plus froide et la moins ensoleillée, à "H3", la zone la plus douce et la plus ensoleillée pendant la saison de chauffage.

Rappelons que ces zones sont établies à partir des "Degrés-Jours de chauffage" et des "fractions d'insolation" ramenées à l'unité départementale. Elles doivent donc être corrigées par les effets de l'altitude et de la distance à la mer: cela concerne notamment les départements alpins (Alpes-Maritimes, Alpes de Haute-Provence, Hautes-Alpes), dont les zones réelles dépendent de l'altitude du canton.

Voyons maintenant les "zones climatique d'été", qui n'ont aucune correspondance réglementaire, mais qui servent de zones d'applications des "exemples de solutions pour satisfaire au exigences du confort d'été" du CSTB.

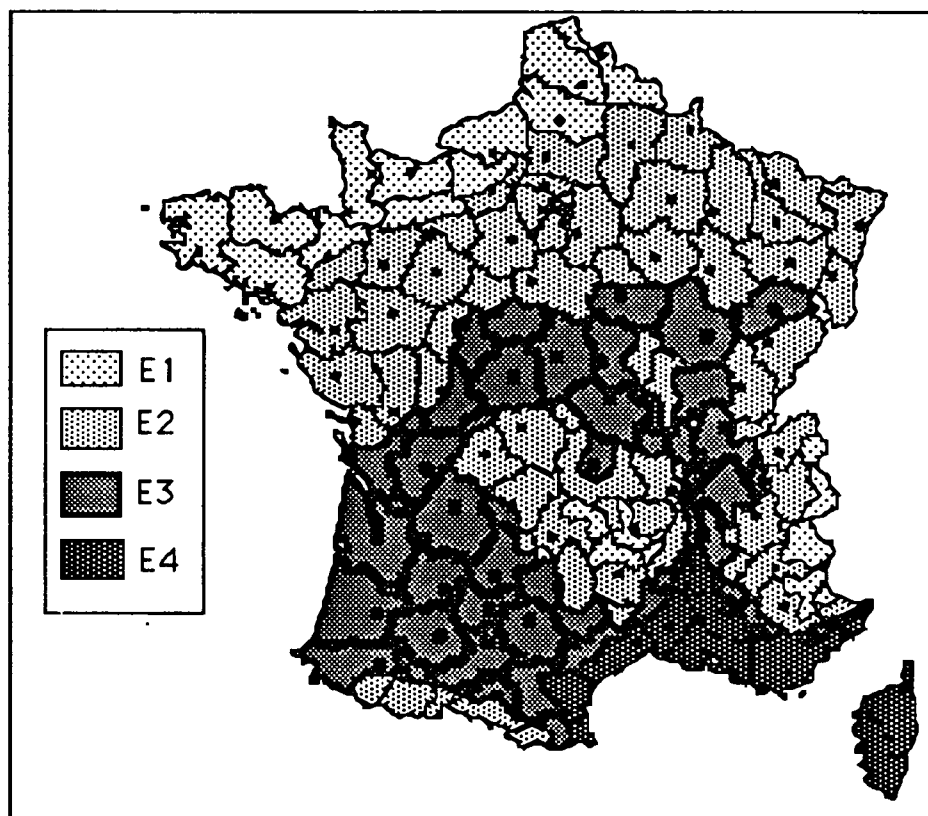


Fig. 5: carte de France des zones climatiques d'été: elles vont de E1 (la plus fraîche) à E4 (la plus chaude).

Ces zones sont influencées par la proximité de la mer (Manche, Méditerranée) et par l'altitude (Pyrénées, Massif Central, Alpes, Jura).

Elles se répartissent différemment des zones d'hiver. A noter que la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur est la seule à posséder les quatre zones sur son territoire, parfois en peu de distance, comme dans les Alpes-Maritimes.

Si les deux premières zones climatiques intégraient de fait la température et l'ensoleillement, le vent, facteur climatique également important en été comme en hiver, doit aussi être pris en compte. Les "zones d'exposition au vent" ont été distinguées en France:

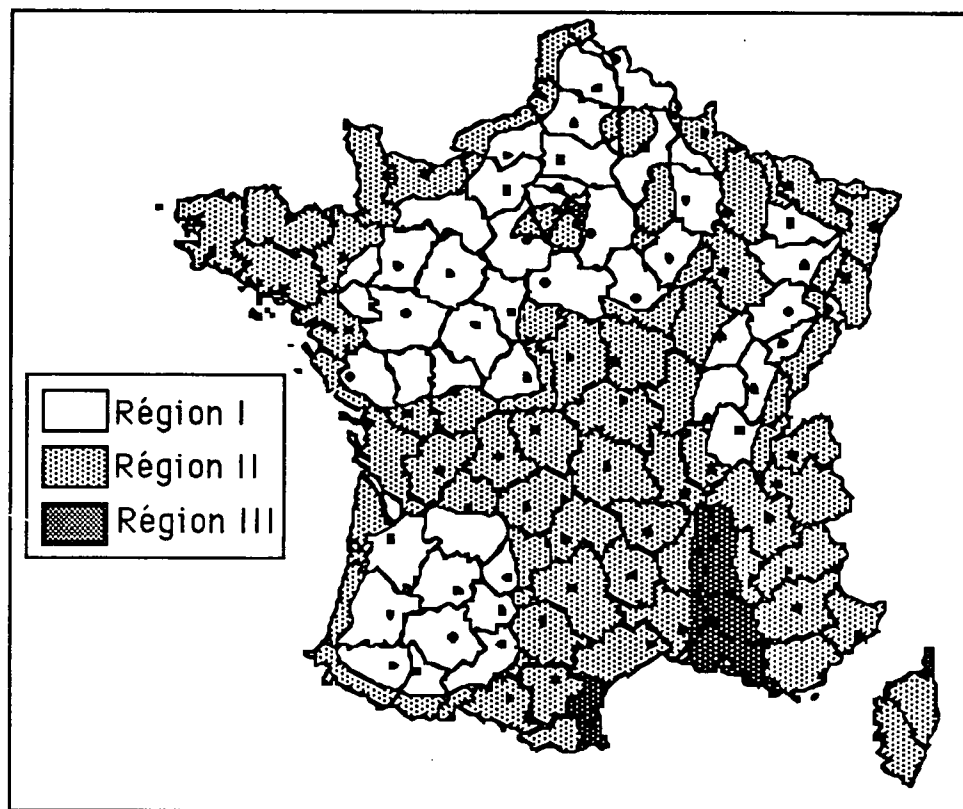


Fig. 6: carte de France des zones d'exposition au vent (NV 65) : les "régions" correspondent à des "pressions dynamiques de base" en  $\text{daN/m}^2$ .

Un classement des zones sismiques peut être fait en relation avec ces diverses zones climatiques:

Zone sismique "Ib" ou "II"	Hiver	Ete	Expo vent
Alsace	H1	E2	II
Savoie, Hautes-Alpes	H1	E1	II
Alpes-Maritimes	H3,H2	E4,E3,E2	II
Var, AHP	H3,H2	E4	II
Bouches du Rhône	H3	E4	III
Pyrénées Orientales	H2,H3	E4,E3,E2	II,III
Pyrénées Occidentales	H2	E3,E2	I,II

Cette classification fait apparaître la diversité des combinaisons entre zones climatiques et zones sismiques : les trois zones d'hiver et les quatre zones d'été sont représentées. Cela laisse entrevoir que les solutions architecturales "croisées" sont nécessairement nombreuses et complexes à arrêter.

## Grille des critères bioclimatiques et parasismiques

Dans une première approche, la méthodologie retenue consistait à analyser des édifices jugés "bien conçus" par rapport à un critère (par exemple, le contrôle climatique) sous l'angle de l'autre critère, puis de procéder de manière inverse. De cette manière, il aurait été théoriquement possible de mettre en évidence, sur le tas en quelquesorte, les contradictions et concordances entre les solutions satisfaisant aux deux types d'exigences.

Cette méthode s'est heurtée d'entrée au problème du choix effectif d'édifices correctement conçus, que ce soit en matière de contrôle climatique ou de parasismique. S'intéressant en priorité au territoire de la région Provence Alpes Côte d'Azur, il était très difficile de trouver des édifices irréprochables sur le plan climatique (hormis les "maisons solaires", généralement non conçues pour traiter du confort d'été). Par ailleurs, il n'y a pas non plus de nombreux exemples de constructions parasismiques, procédant vraiment d'une conception spécifique vis-à-vis de ce critère.

Ce contexte de rareté des édifices "exemplaires" a entraîné le choix d'une autre méthode.

L'idée qui a prévalu a été de constituer des modèles exemplaires "à priori", en partant des caractéristiques que devrait revêtir un "édifice idéal" sous l'angle bioclimatique d'une part, et sous l'angle parasismique, d'autre part. A partir de là, la confrontation de ces caractéristiques entre elles devait conduire à identifier les contradictions.

Pour arriver à ce résultat, il est nécessaire que les règles trouvées des deux cotés s'appliquent aux mêmes éléments de la conception architecturale. En d'autres termes, il faut arriver à croiser les critères "contrôle climatique" et "contrôle parasismique" avec les mêmes caractéristiques de l'édifice idéal (appelons-les "caractéristiques", puisqu'ils permettent de décrire l'édifice). Ce croisement peut prendre la forme d'une grille.

L'expérience de l'équipe en matière de grilles de sélection existait au Groupe ABC:

- Une première grille avait été mise au point pour établir le "Bilan de la production architecturale bioclimatique en France" (R. DABAT et M. STEVE, Groupe ABC, programme de recherche 1983-1985) où un système de notation à trois valeurs (+1, 0, -1) avait été utilisé pour noter les édifices sur le plan "bioclimatique" par rapport à des caractéristiques de la "qualité architecturale".
- Une deuxième grille a été mise au point pour les besoins du Prix "Architecture, Ambiances, Energie", où la même notation a été adoptée pour noter des

caractéristiques des édifices par rapport aux critères "cohérence architecturale", "contrôle énergie" et "contrôle confort" (R. DABAT, J.L. IZARD).

Dans le cas présent, la grille à mettre au point doit donc comporter d'un côté des caractéristiques des édifices et, de l'autre, les critères "contrôle climatique" et "contrôle parasismique".

Pour mettre au point cette grille, il fallait préalablement arrêter, au moins "à priori", la liste des caractéristiques pertinentes dans chaque critère.

Après analyse, la liste des caractéristiques parasismiques s'avère plus longue que celle des caractéristiques bioclimatiques. Bien que le premier objectif soit de montrer les éventuelles contradictions, ce qui justifierait de ne retenir que les caractéristiques communes, la décision de les conserver intégralement a été prise afin de préfigurer les rubriques permettant de présenter les futures "règles de conception" complètes.

Les caractéristiques retenues vont de la "relation au site", au "second-œuvre". Cette découpe ne prétend pas constituer un modèle du processus de conception du projet. Il s'agit simplement de ne rien oublier. La méthode qui consiste à aller "du général au particulier" est une méthode qui a probablement le défaut d'être "linéaire", mais elle répond assez bien à l'objectif fixé de ne laisser aucune caractéristique de l'architecture dans l'ombre.

Les exigences de "contrôle de l'énergie" et de "confort thermique" (comprenant surtout le "confort d'été") sont regroupées sous le critère global de "contrôle climatique", alors que ces deux sous-critères impliquent parfois des solutions architecturales déjà contradictoires, comme par exemple l'usage de l'isolation thermique. Mais il s'agit d'une étude exploratoire, nécessairement basée sur l'état du savoir des acteurs au moment où celle-ci est entreprise.

Après un premier essai, suivi de quelques corrections, la grille des critères bioclimatiques/parasismiques prend la forme montrée dans la page suivante.

Critères Caractéristiques		CONTROLE CLIMATIQUE		CONTROLE PARASISMIQUE
		Contrôle énergie	Confort thermique	
1-RELATION AU SITE	morphologie	11A		11B
	nature du sol	12A		12B
2-FORME	forme générale	21A		21B
	vol. intérieur	22A		22B
3-DISTRIBUTION INTERIEURE		3A		3B
4-IMPLANTATION	orientation	41A		41B
	relation environnement	42A		42B
	relation au terrain	43A		43B
5-STRUCTURE	système porteur	51A		51B
	contreven-tements	52A		52B
	éléments constructifs	53A		53B
	fondations	54A		54B
6-MATERIAUX		6A		6B
7-FACADES	nature	71A		71B
	perçements	72A		72B
	saillies	73A		73B
8-SECOND OEUVRE	fermetures	81A		81B
	cloisons	82A		82B
	revêtements	83A		83B
	menuiseries	84A		84B

Fig. 7: Grille des critères d'analyse pertinents communs à la partie "bioclimatique" et à la partie "parasismique".

### 3 Utilisations de la grille

La grille ainsi définie sert tout d'abord de guide pour la rédaction des modèles associant d'un côté les "caractéristiques du bâtiment" et, d'un autre côté, les divers contrôles: "énergie", "confort thermique" et "parasismique".

La rédaction des "modèles" prend la forme de "solutions-types" composant:

- un "modèle idéal",
- un "modèle pathologique"
- un modèle "tolérable".

La confrontation des caractéristiques relatives à un même critère met en évidence les relations recherchées entre "conception bioclimatique" et "conception parasismique".

On distingue plusieurs cas de figure de relations entre les solutions-types issues des deux conceptions :

"Concordance parfaite" : modèle idéal A = modèle idéal B; ou modèle pathologique A = modèle pathologique B.
---

"Concordance/contradiction partielles" : modèle idéal A = modèle tolérable B; ou modèle tolérable B = modèle pathologique A...etc.
--

"Contradiction caractérisée" : modèle idéal A = modèle pathologique B, et inversement.
--

"Spécificités" : modèle A mettant en jeu des éléments indifférents au modèle B et inversement.
--

Cette classification permettra de rédiger un "guide de la conception bioclimatique-parasismique" en partant des caractéristiques sélectionnées, après avoir réduit les contradictions totales et partielles..

Une autre utilisation de la grille peut être évoquée : c'est celle qui consiste à analyser des bâtiments existants en vue de les "qualifier" totalement, partiellement, ou de les "disqualifier" (contre-exemples). Il y a là un enjeu important : la qualification d'édifices reconnus comme des "références architecturales" permettrait de motiver de manière plus puissante les architectes pour la prise en compte de ces facteurs pendant le projet, indépendamment des inévitables problèmes d'outils et de méthodes que cette prise en compte sous-tend.

Une telle étude pourra conduire à une notation globale des édifices analysés, par codage des modèles "idéal", "pathologique" et "tolérable".

Trois catégories d'édifices pourront être soumis à une telle analyse:

- les bâtiments à ambition énergétique ou "maîtrise des ambiances" : de nombreux catalogues en ont été dressés: notons sur le plan européen les "Project Monitor" de la CEE.
- les bâtiments réputés "parasismiques".
- les édifices considérés comme des "références architecturales", conçues par des architectes célèbres contemporains ou plus anciens, sans ambition particulière sur le plan bioclimatique ou parasismique.



## 4 Définition des Modèles "bioclimatiques"

Il s'agit de donner ici les premiers résultats obtenus à l'aide de la grille : cela comprend pour commencer la rédaction des solutions-types concernant le "contrôle climatique".

Les éléments qui sont donnés ici sont basés sur une expertise, reflétant l'état du savoir avant de commencer l'étude. Aucune investigation n'a été entreprise spécifiquement pour améliorer ou compléter les réponses qui sont apportées. Certains arbitrages entre les aspects énergétiques d'hiver et le confort d'été ont été faits sans vérification de leur bien fondé, qui eût nécessité une étude spéciale.

### 4.1. Caractéristique 1.1.A. "Relation au site/morphologie"

L'un des principes essentiels mis en avant par la doctrine bioclimatique est que l'architecture doit être "située". C'est dire si la relation au site revêt une grande importance.

A l'intérieur de ce principe, la relation la plus forte avec le site dans les régions méditerranéennes concerne les possibilités de réception du rayonnement solaire. Deux caractéristiques du site sont principalement mises en jeu :

- l'orientation de la ligne de plus grande pente du terrain,
- la présence de masques naturels (ou artificiels) présents ou futurs .

L'exposition du versant d'un site a une double influence :

- par son effet micro-climatique global : un "adret" (versant d'une vallée ou d'un vallon orienté quart SUD) est thermiquement plus favorable qu'un "ubac" (versant orienté quart NORD).
- par les possibilités d'implantation : celle-ci ne doit pas entraîner d'ombre pour le voisinage et ne pas en subir en provenance de celui-ci. Cette condition est beaucoup plus facile à satisfaire sur un adret que sur un ubac.

A noter que l'implantation en fond de vallée doit être évitée à cause des phénomènes d'inversion de température qui augmentent les degrés-Jours du site, et donc la charge de déperditions. (L'influence des masques est abordée dans le critère IMPLANTATION-Environnement). En résumé, les conditions pour la morphologie du terrain sont les suivantes :

<b>Modèle idéal</b> : utilisation d'un terrain en pente vers le SUD-EST ou le SUD ("adret").
<b>Modèle pathologique</b> : utilisation d'un terrain en pente vers le Nord ("ubac").
<b>Modèle tolérable</b> : utilisation d'un terrain horizontal ou d'un fond de vallée.

#### 4.2. Caractéristique 1.2.A. "Relation au site/Nature du sol"

On peut souhaiter que le sol soit facile à travailler au moment du chantier et soit constitué de telle manière qu'il puisse servir de stockage d'énergie "passif" ou "actif" et autorise le plancher sur terre-plein. Les sols meubles correspondent à cette description.

Mais il faut alors que ce sous-sol ne soit pas parcouru par une nappe phréatique trop proche de la surface. Cela conduirait à perdre le bénéfice de cette chaleur emmagasinée.

La notation de cette caractéristique sera:

<b>Modèle idéal:</b> sol meuble constitué d'un matériau permettant un bon stockage thermique d'hiver ou d'été, dépourvu de nappe phréatique proche.
<b>Modèle tolérable :</b> sols rendant possible la solution du plancher sur terre-plein.
<b>Modèle pathologique:</b> sol meuble parcouru par une nappe phréatique effleurante.

#### 4.3. Caractéristique 2.1.A. "Forme générale" :

La forme générale est une caractéristique très importante en contrôle climatique des édifices. L'influence de la forme s'exerce essentiellement sur la partie "contrôle énergétique" pour le chauffage ou pour la climatisation, en donnant une dimension aux déperditions à travers l'enveloppe ,ou aux apports par conduction (pour un coefficient K donné), par rapport au volume à chauffer ou à climatiser.

Il n'y a pratiquement pas d'influence de la forme sur le "confort thermique" spontané, si ce n'est de manière indirecte par les expositions de façade (voir IMPLANTATION/orientation et FACADES/Perçements).

La forme d'un bâtiment est généralement exprimée au moyen d'un coefficient, le "Coefficient de forme" **Cf**, constitué par le rapport Surface d'enveloppe/Volume. Ce rapport a la dimension de l'inverse d'une longueur ( $m^{-1}$ ). On démontre que le coefficient G "passif" est égal au produit de **Cf** par le "Kmoyen d'enveloppe" :

$$G = Cf \times K_{\text{moyen}}$$

Comme on a reproché à ce coefficient d'ignorer l'effet de taille (le volume croissant plus vite que la surface d'enveloppe lorsqu'on augmente la taille), on utilise aussi le "coefficient de compacité" **Cp**, qui est égal à **Cf** multiplié par le rayon (R) de la sphère de volume équivalent, ou par le côté (a) du cube de volume équivalent, et qui est sans dimension :

$$Cp = R \times Cf \text{ ou } a \times Cf$$

ou, en remplaçant **a** par  $V^{1/3}$  , **SE** étant la surface d'enveloppe :

$$Cp = V^{1/3} \times SE/V = SE/V^{2/3} = SE \times V^{-2/3}$$

et on a donc, in fine :

$$G = K_{\text{moyen}} \times SE \times V^{-2/3}$$

La condition pour que les déperditions soient minimales, à isolation thermique constante et pour la taille donnée, est que la valeur de  $C_p$  soit la plus petite possible, autrement dit, que la surface d'enveloppe SE soit la plus petite possible.

En résumé, cela conduit au barème suivant :

<b>Modèle idéal</b> : Le bâtiment doit présenter une valeur de coefficient de compacité la plus petite, en tout cas inférieure à 4,5 pour une maison individuelle. Condition s'imposant en priorité dans les zones les plus froides.
<b>Modèle pathologique</b> : le coefficient $C_p$ est supérieur à 5,5 (maison individuelle) .
<b>Modèle tolérable</b> : valeur de $C_p$ comprise entre 4,5 et 5,5

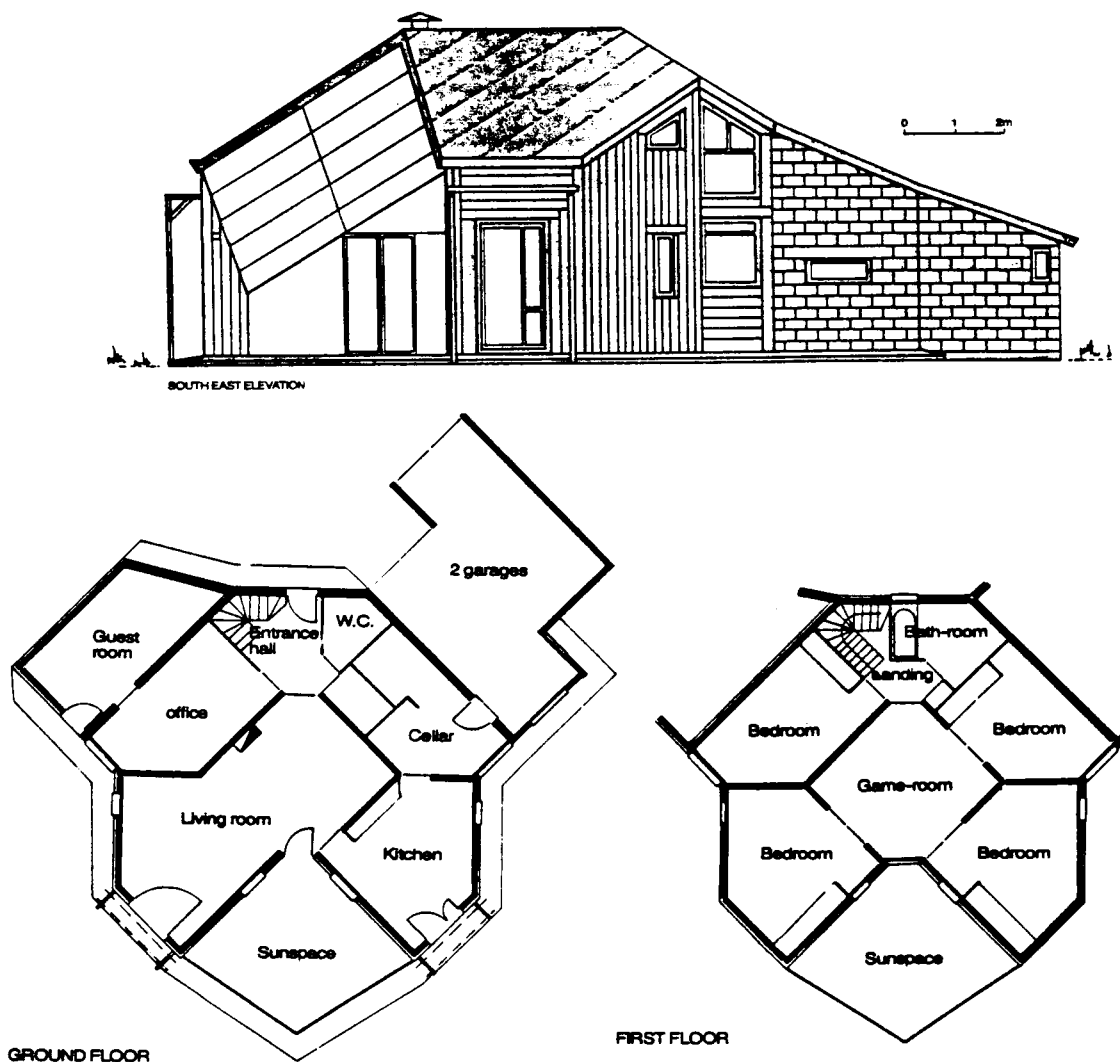


Fig. 8: Exemple de recherche de compacité dans l'architecture climatique : la maison Monchoux à Toulouse (architecte : Jean-Pierre CORDIER).

#### 4.4. Caractéristique 2.2.A. Forme/volumes intérieurs

La hauteur sous plafond est appelée à jouer un rôle assez important en "bioclimatique".

En hiver, une grande hauteur sous plafond peut nuire à la bonne répartition des températures, selon le mode de chauffage (à convection par exemple). Mais l'été, c'est plutôt un facteur favorable : l'air "frais" a tendance à rester en partie inférieure. Cette option est donc "tolérable".

L'option "mezzanine" se rattache à la précédente, avec l'inconvénient de rendre perceptible l'éventuelle surchauffe d'hiver due à la stratification thermique; la répartition en hauteur des baies laissant pénétrer le rayonnement solaire peut rendre cette solution inacceptable si ces baies sont plus grandes en haut qu'en bas.

La construction à étages, toutes choses égales par ailleurs, augmente l'inertie thermique notamment au rez-de-chaussée par l'affectation à la fonction "stockage" du ou des planchers intermédiaires. Cela stabilise les ondulations thermiques, ce qui est facteur d'économie d'énergie en hiver, et facteur de confort en été. L'option "avec étage" peut aussi favoriser la ventilation naturelle par deux effets : la dénivellée entre les ouvertures d'entrée et de sortie de l'air (différence de densité) et la possibilité de "capter" plus facilement les brises nocturnes en été.

Cet avantage est aussi notable à propos de l'option "mezzanine". Sur cette caractéristique, on a la notation :

**Modèle idéal** : Construction à étage avec possibilité de communication de l'air entre la partie haute et la partie basse.

**Modèle pathologique** : Mezzanine de grande hauteur associée à un chauffage distribuant la chaleur essentiellement par convection et à des surfaces "solaires" plus grandes en partie supérieure.

**Modèle tolérable** : Mezzanine reliant les deux niveaux, associée à un système de chauffage non convectif; hauteur sous plafond quelconque.

#### 4.5. Caractéristique 3.A. "Distribution intérieure" :

Pour une forme donnée, dont on connaît la compacité, on peut imaginer diverses organisations dépendant de :

- la disposition des pièces principales (jour/nuit)
- l'emplacement de l'entrée
- le respect de la nécessité d'une ventilation transversale (pièces traversantes d'une façade à l'autre, ou pièces pouvant être mises en communication).

Disposition des pièces

Il est préférable en hiver d'avoir les pièces de jour (cuisine/séjour) plutôt du côté du soleil (quart SUD) et les pièces de nuit, du côté opposé. Faire l'inverse serait à la limite de la pathologie.

Sur le côté opposé au soleil, il est préférable de disposer les pièces "non principales" (salle de bains, cellier, entrée).

Pour l'été, il est bon d'avoir les pièces de nuit du côté de l'ombre.

La mise en communication des pièces situées sur les façades opposées est indispensable pour une bonne ventilation, notamment nocturne, alors que les vents extérieurs ont tendance à se calmer.

Dans l'option "à étage", il est donc préférable de disposer les pièces de nuit à l'étage et les pièces de jour au rez-de-chaussée (possibilité de prolongement extérieur).

Position de l'entrée :

L'entrée est un local où se produisent des échanges inévitables d'air entre l'extérieur et l'intérieur. Sa position doit lui permettre d'échapper aux vents dominants d'hiver. Mais cet espace n'étant pas un lieu de séjour, il est préférable d'éviter de l'exposer au quart SUD qui doit être réservé aux pièces habitables.

Ventilation transversale :

La meilleure disposition pour permettre à l'air de circuler à l'intérieur d'un local est placer les entrées et sorties d'air sur des façades opposées, afin d'exploiter les gradients de pression qui s'y créent dès qu'existe le moindre écoulement d'air extérieur (brises).

Au total, la notation peut être la suivante :

<b>Modèle idéal</b> : disposition des pièces de jour côté SUD, des pièces de nuit et des pièces annexes du côté opposé, avec possibilité de mise en communication directe des pièces sur façades opposées (ou pièces traversantes). Construction à étage : pièces jour en rez-de-chaussée et pièces nuit à l'étage.
<b>Modèle pathologique</b> : Pas de possibilité de communication entre pièces sur façades opposées, et pièces de jour à l'opposé du soleil d'hiver.
<b>Modèle tolérable</b> : Pièces de nuit en rez-de-chaussée.

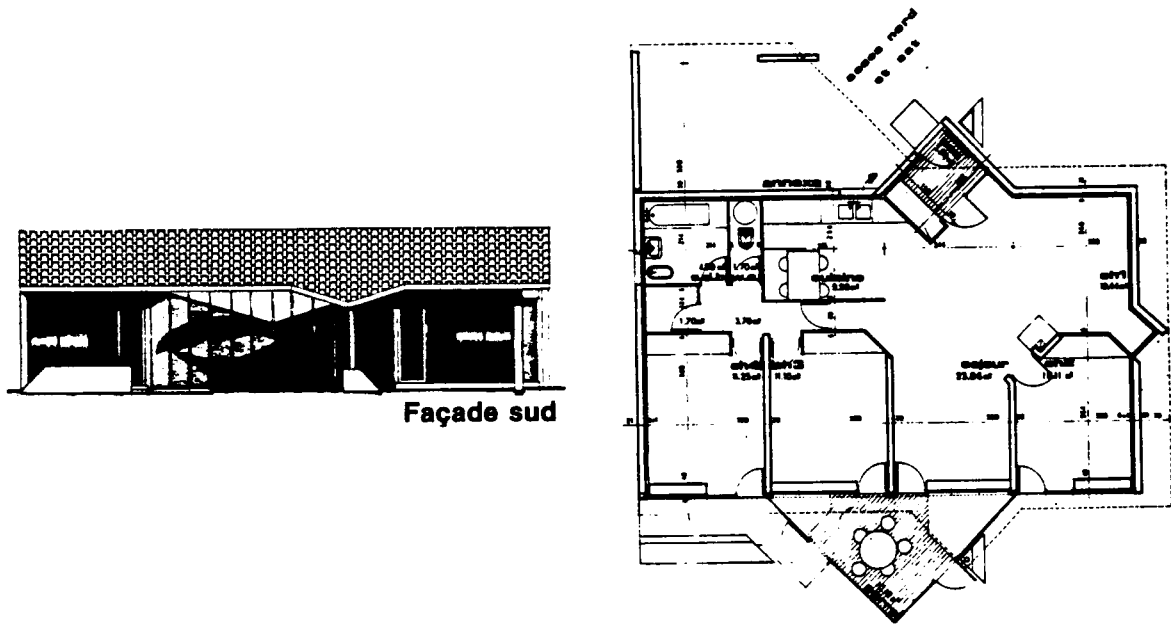


Fig. 9: Exemple de plan "bioclimatique" sur un seul niveau : séjour au Sud, logement traversant : Maison "CAPELIO", Architecte: Groupe ERSOL (lauréat concours "5000 Maisons solaires").

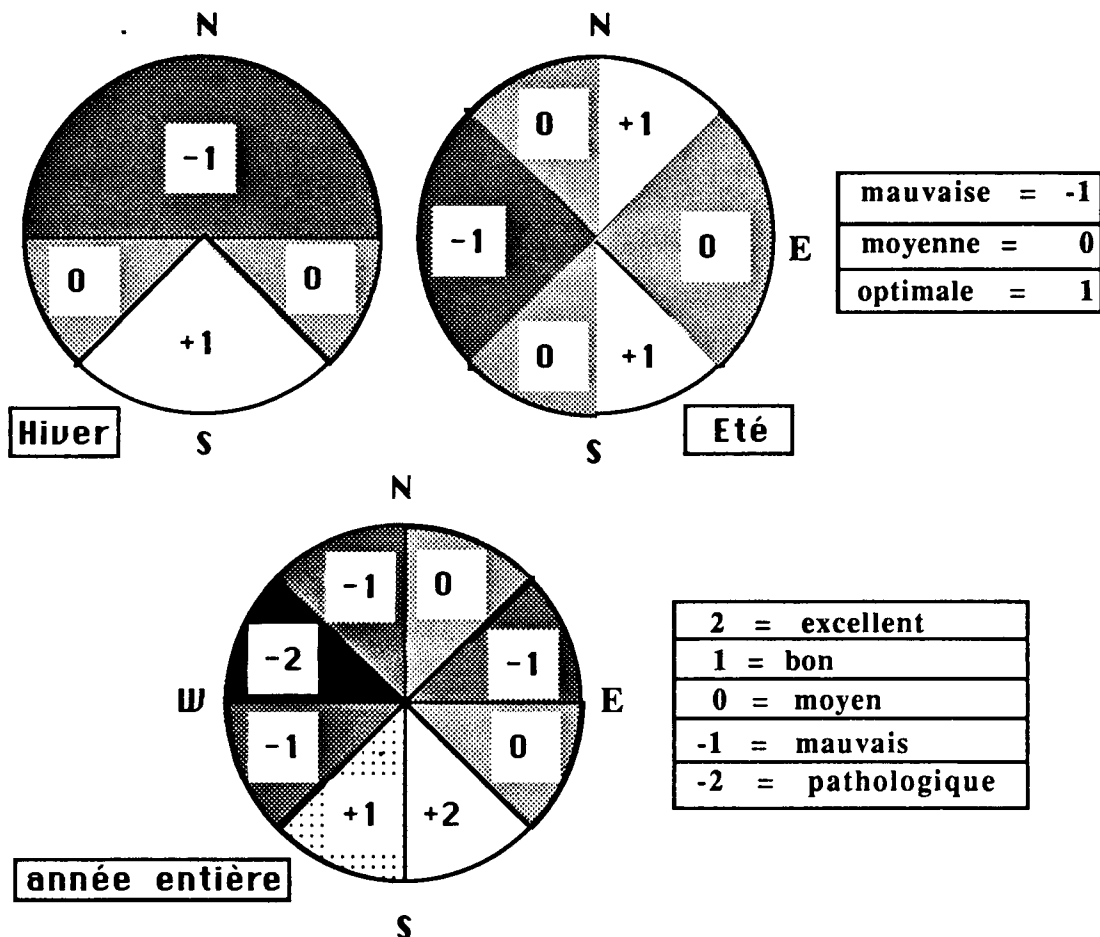


Fig. 10: Exemple de plan "bioclimatique" sur plusieurs niveaux: séjour au Sud, logement traversant : "Maison de ville", Architecte : M.A. BELIN et J. GUITTON (lauréat concours "5000 Maisons solaires").

#### 4.6. Caractéristique 4.1.A. "Implantation/orientation":

Le choix des orientations est critique en contrôle climatique : en hiver, ce sont les possibilités d'économie d'énergie qui sont en cause par l'intermédiaire de l'énergie solaire récupérée. En été, ce sont les surchauffes qui peuvent intervenir selon les expositions solaires. A ces considérations "solaires", on devrait ajouter celles qui concernent les vents dominants, surtout en hiver.

Orientations/Energie solaire incidente :



Les graphes ci-dessus illustrent les orientations préférentielles hiver-été pour des façades verticales, dans les climats de type méditerranéen de plaine ou de littoral.

La notation découle directement de la lecture de ces graphes :

<b>Modèle idéal</b> : orientation côté "+2"
<b>Modèle pathologique</b> : orientations côtés "-2" ou "-1"
<b>Modèle tolérable</b> : orientations côtés "+1" ou "0"

#### 4.7. Caractéristique 4.2.A. "Implantation/relation environnement":

L'environnement peut être naturel ou urbain (ou semi-urbain). L'effet de l'environnement au plan climatique est surtout lié à l'ensoleillement du site et aux obstacles qui peuvent lui être opposés.

En milieu urbain dense, ce problème est dominant. En milieu urbain peu dense, il est nécessaire de déplacer le projet sur la parcelle afin de minimiser l'effet du masque présent ou futur (cf. réglementation thermique du coefficient B ou BV réf.).

En milieu dégagé, les masques peuvent être principalement constitués par des arbres à feuilles persistantes. Il faut noter que le bâtiment lui-même ne doit pas perturber l'ensoleillement du voisinage.

En milieu urbain ou semi-urbain, le concepteur peut être tenté d'utiliser des contiguités verticales, en accolant le projet à des bâtiments en mitoyenneté. Cette solution est favorable en hiver, où elle permet de réduire la surface totale de déperdition, mais elle l'est moins en été, où la capacité du bâtiment à perdre sa chaleur est réduite. On a donc les modèles suivants:

<b>Modèle idéal</b> : Implantation permettant d'éviter les masques environnants aux heures d'ensoleillement d'hiver.
<b>Modèle pathologique</b> : Implantation dans les zones d'ombre des masques environnants des mois d'hiver.
<b>Modèle tolérable</b> : Pas de masques environnants, une implantation sauvegardant 3 heures d'ensoleillement des façades en hiver. Bâtiment en contiguité avec d'autres locaux.

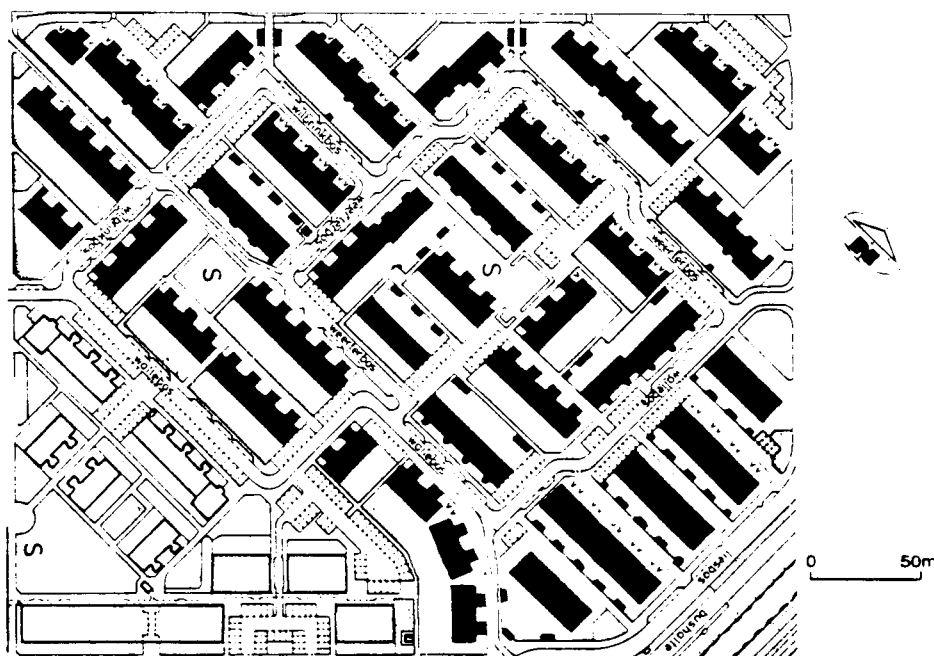


Fig. 11: Exemple de plan-masse d'opération constituées par des habitations "solaires passives" : "Overbos 8" à Hoofddorp, Hollande; architectes : Bakker & Broots : les distances entre constructions sont calculées pour ne pas porter d'ombre en hiver.



#### 4.8. Caractéristique 4.3.A. "Implantation/Relation au terrain":

Le volume que constitue l'habitation peut être relié au sol de deux façons différentes:

- soit par une de ses faces en contact avec le sol (le plancher "bas")
- soit par des pilotis.

Dans le premier cas, deux solutions sont possibles :

- le plancher sur terre-plein
- le plancher sur vide-sanitaire.

Chacune de ces solutions peut être qualifiée par rapport aux exigences de contrôle climatique :

- Plancher sur terre plein : cette solution permet d'utiliser le sous-sol comme stockage thermique de chaleur (hiver) ou de fraîcheur (été). Seule précaution à prendre : une isolation périphérique doit réduire les pertes linéiques en périmètre du plancher.

- Plancher sur vide sanitaire : la capacité de stockage est limitée à la dalle elle-même, qui doit être isolée sur toute sa surface. La capacité de stockage est donc réduite par rapport à la solution "terre-plein".

- Plancher sur pilotis : cette solution détériore la compacité du bâtiment en faisant du plancher bas une paroi totalement ou partiellement extérieure.

Cela conduit à la notation :

<b>Modèle idéal</b> : Plancher bas sur terre-plein avec isolation périphérique
<b>Modèle pathologique</b> : Plancher bas sur pilotis.
<b>Modèle tolérable</b> : Plancher bas sur vide sanitaire avec isolation thermique continue.

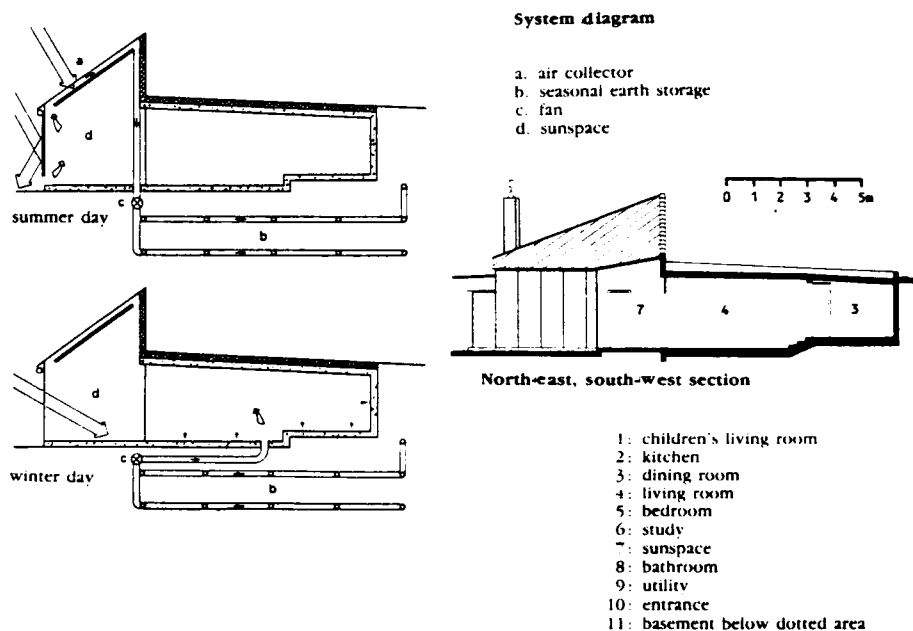


Fig. 12: Le sous-sol des habitations climatiques peut être utilisé comme stockage thermique, comme ici dans cette maison construite par Jean-Pierre CORDIER à Ramonville en 1979.

#### 4.9. Caractéristique 5.1.A. "Structure/système porteur":

Le système porteur a une influence sur le contrôle climatique par l'intermédiaire des masses thermiques qu'il permet de porter. Ces masses thermiques sont en général constituées par des planchers lourds, des refends lourds et, dans une moindre mesure, par des façades lourdes.

En matière de contrôle énergétique, l'expérience et les simulations qui ont pu être faites ont montré que la masse thermique la plus utile pour le stockage des énergies gratuites intermittentes (comme celle du soleil) dans le bâtiment est celle des planchers. Cela est vrai en toutes zones climatiques de la région méditerranéenne.

En matière de confort thermique d'été, la présence des masses thermiques constitue un élément favorable si la protection solaire est assurée (en été), mais aussi en période de "captage solaire" pendant la saison de chauffage. Leur rôle dans ce cas est d'absorber les flux parvenant à pénétrer à l'intérieur des locaux, ce qui a pour effet de limiter les élévations de température. En été, associée à un refroidissement nocturne par ventilation, la masse thermique permet de conserver des températures intérieures diurnes proches de la moyenne extérieure, ou même inférieures.

Dans le cas de bâtiments à plusieurs étages, la masse thermique est souhaitable à chaque niveau, surtout s'il y a superposition de logements différents.

Enfin, le degré de nécessité des masses thermiques vis-à-vis du confort d'été dépend de la zone climatique, même à l'intérieur de la zone méditerranéenne. On peut en effet distinguer au sein de celle-ci :

- la zone littorale : les amplitudes plus faibles, la présence des brises côtières modérant les températures maximales font qu'une inertie moyenne, c'est à dire suffisante pour le stockage thermique d'hiver, peut être considérée comme satisfaisante.

- la zone intérieure : les fortes amplitudes et le niveau élevé des températures maximales rendent indispensable la présence d'une inertie forte à très forte : masses thermiques en planchers, refends et murs de façade.

- la zone de montagne : au dessus de 500 m, et surtout 1000m d'altitude, la fraîcheur des nuits est tout à fait de nature à compenser les échauffements diurnes : une inertie moyenne (celle requise pour l'hiver) suffit également. En résumé, on peut écrire sur la question de la structure :

<b>Modèle idéal</b> : structure capable de supporter des masses thermiques en plancher à tout niveau et comportant des refends lourds, en toutes zones.
---

<b>Modèle pathologique</b> : structure n'autorisant aucune masse thermique, notamment en plancher intermédiaire ou "haut", dans la zone intérieure.
---

<b>Modèle tolérable</b> : structure supportant au moins un plancher intermédiaire, en plus du plancher bas, avec couverture légère isolée.
--

#### 4.10. Caractéristique 5.2.A. "structure/Contreventements":

Les contreventements en matière "bioclimatique" mettent en jeu les mêmes phénomènes que les systèmes porteurs, à savoir les "effet de stockage thermique". Les principaux systèmes de contreventement sont en général construits en maçonnerie et possèdent donc cette capacité thermique qui contribue à l'inertie.

Les contreventements sont les plus favorables lorsqu'ils sont "intérieurs", sans contact avec l'extérieur: de cette manière la chaleur emmagasinée (ou la "fraîcheur" en été) reste intégralement "utile" pour l'ambiance intérieure.

Un contreventement lourd assuré en façade est donc beaucoup moins intéressant, lorsque l'inertie thermique est insuffisante par ailleurs.

Un contreventement "léger" est de peu d'intérêt, surtout s'il n'y a pas de masses thermiques par ailleurs.

<b>Modèle idéal</b> : contreventements lourds (murs) totalement intérieurs par rapport à l'espace habitable, en toutes zones.
---

<b>Modèle pathologique</b> : contreventements lourds placés en façade, sans autre masse thermique.
--

<b>Modèle tolérable</b> : contreventements légers (triangulation, portiques) associés à des masses thermiques..
---

#### 4.11. Caractéristique 5.3.A. "Structure/Eléments constructifs":

Les "éléments constructifs" ne sont ici concernés que par les masses thermiques dont ils sont porteurs.

La forme de ces éléments peut cependant être invoquée : à masse thermique totale équivalente, un voile de B.A. porteur peut emmagasiner une quantité de chaleur plus grande qu'un poteau de grosse section, car sa surface d'échange est plus grande. D'une manière générale, une répartition régulière des éléments constructifs présentant une masse thermique est préférable à une concentration en des points singuliers.

<b>Modèle idéal</b> : Répartition régulière des éléments constructifs lourds, sous forme de voiles, de préférence aux poteaux.
--

<b>Modèle pathologique</b> : concentration en un point d'un petit nombre de gros éléments constructifs.
---

<b>Modèle tolérable</b> : Poteaux nombreux de petite section.
---

#### 4.12. Caractéristique 5.4.A. "structure/Fondations":

En thermique, on peut attendre des fondations qu'elles empêchent les remontées d'eau par capillarité qui risquent de créer des désagréments directs (apparition de l'eau sous forme liquide dans les sous-sols ou les étages inférieurs) ou indirects (augmentation de l'humidité ambiante dans les locaux habités).

Pour le reste, la masse thermique des fondations se confond avec celle du sol dans lequel elles sont plongées; leur dimension en profondeur et leur forme (semelles ou pieux) importent donc peu.

<b>Modèle tolérable</b> : Tous modes de fondations.
---

#### 4.13. Caractéristique 6.A "Matériaux" :

Il découle de ce qui précède à propos de la structure que les matériaux utilisés doivent pouvoir constituer des masses thermiques, c'est à dire qu'ils doivent avoir une capacité thermique élevée. Cette capacité dépend de leur conductivité  $\lambda$ , de leur chaleur volumique  $C$  et de leur épaisseur  $e$ . Pour stocker la chaleur, la qualité principale requise est la chaleur volumique, quantité de chaleur que peut stocker  $1\text{m}^3$  de matériau par degré d'écart.

La matériau courant le plus performant est le béton ( $C=640\text{Wh}/\text{m}^3\cdot^\circ\text{C}$ ). Puis viennent la pierre ( $C=635\text{Wh}/\text{m}^3\cdot^\circ\text{C}$ ), la terre cuite ( $C=450\text{Wh}/\text{m}^3\cdot^\circ\text{C}$ ), la terre crue ( $C=370\text{Wh}/\text{m}^3\cdot^\circ\text{C}$ ). Le béton cellulaire est nettement moins bon ( $C=200\text{Wh}/\text{m}^3\cdot^\circ\text{C}$ ). Le bois, lui, appartient déjà à la catégorie des matériaux isolants ( $C=180\text{Wh}/\text{m}^3\cdot^\circ\text{C}$ ) sans être le plus performant dans le domaine ( $\lambda = 0,15\text{W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ ).

Les matériaux isolants, caractérisés par une faible conductivité, doivent être également employés, de préférence en doublage des parois lourdes lorsque celles-ci sont extérieures. Le polystyrène est le plus répandu ( $\lambda = 0,035\text{W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ ). En conclusion, on peut écrire :

<b>Modèle idéal</b> : utilisation de matériaux à forte capacité thermique, associés à des matériaux à faible conductivité thermique en enveloppe extérieure,
<b>Modèle pathologique</b> : utilisation exclusive de matériaux sans aucune capacité thermique et à conductivité thermique faible.
<b>Modèle tolérable</b> : utilisation partielle de matériaux à capacité thermique élevée (en planchers).

#### 4.14. Caractéristique 7.1.A. "Nature des façades" :

Les options concernant l'usage des matériaux à forte capacité thermique peuvent être précisées par type de parois : en ce qui concerne les façades, l'utilisation de matériaux lourds ne constitue pas une obligation vis-à-vis du contrôle énergétique, sauf dans le cas des "systèmes passifs" tels que murs-capteurs ou serres (dont le

mur de séparation avec l'habitation doit être lourd) qui nécessiteront des façades lourdes, au moins pour celles qui font face au quart SUD. Dans le cas général, comme nous l'avons vu plus haut, la capacité thermique la plus utile est celle des planchers, et celle d'autres parois internes telles que refends ou murs mitoyens.

En matière de contrôle énergétique, le rôle de la façade est avant tout d'assurer l'isolation thermique, qui doit donc être présente dans tous les cas de figure. Il est admis en effet que pendant la saison de chauffage, ce sont les conditions du "régime permanent" qui prévalent : c'est donc la résistance thermique des parois d'enveloppe qui doit avant tout être recherchée. L'autre fonction de la façade est bien sûr d'assurer le captage du rayonnement solaire au moyen de vitrages.

En ce qui concerne le contrôle "confort thermique", il en va différemment. En effet, pendant la saison chaude, les conditions extérieures dominantes sont celles du "régime variable", face auquel c'est la capacité thermique de l'enveloppe qui joue le rôle principal. Il sera donc souhaitable pour cette période de disposer de façades "lourdes" sur toutes les expositions, surtout dans les zones où les conditions climatiques sont contrastées (zones de plaine et d'arrière-pays en région PACA).

Comme un choix doit être fait, on peut raisonner en disant que la façade lourde est une bonne solution pour l'été, et ne peut être nuisible pour l'hiver et la mi-saison où le contraste jour-nuit est fréquent, et que par conséquent, le choix de la façade lourde peut être retenu. En résumé, les modèles peuvent être bâtis de la manière suivante :

<b>Modèle idéal</b> : façades lourdes en toutes expositions avec isolation thermique, en toutes zones climatiques.
<b>Modèle pathologique</b> : façades légères, surtout en zone intérieure; murs de fond de serre léger.
<b>Modèle tolérable</b> : façade lourde au Sud (ou associées à des serres); autres façades légères.

#### 4.15. Caractéristique 7.2.A. "Perçements façade" :

En contrôle climatique, les perçements sont les lieux d'introduction du rayonnement solaire à l'intérieur des locaux (fenêtres, porte-fenêtres, baies fixes, impostes...etc.). Mais ils offrent aussi les possibilités de ventilation, notamment pendant la saison chaude.

Il y a lieu de distinguer entre "contrôle énergétique" et "contrôle confort" :

a) En contrôle énergétique, le principal objectif assigné aux ouvertures est le captage du rayonnement solaire d'hiver (c'est à dire pendant la saison de chauffage). Cela implique de concentrer les ouvertures, en nombre comme en dimensions, sur les façades les mieux exposées au soleil pendant la période concernée. Compte tenu des différentes longueurs de saison de chauffage à travers la région PACA, cela a pour conséquence :

- en zone littorale et de plaine : mono-exposition quart SUD (une seule façade SUD, ou deux SUD + SUD-EST, ou à la rigueur deux SUD-EST + SUD-OUEST),

- en zone de montagne : multi-exposition allant de l'EST à l'OUEST avec dominante SUD.

Ces deux solutions-types concernant le traitement des percements et de leur orientations sont illustrées par les plans ci-après.

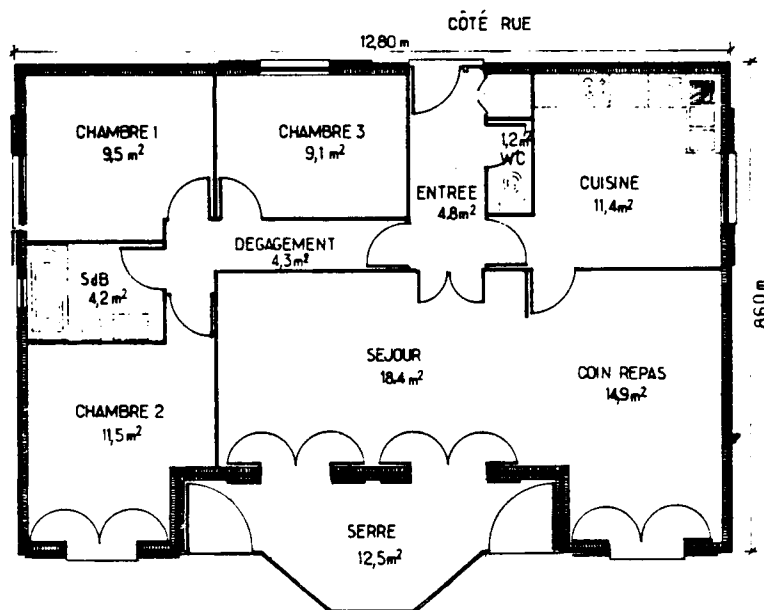


Fig. 14: Exemple de modèle mono-orienté quart SUD : "Soleillante" lauréate du concours "5000 Maisons solaires" (Architecte : M. BARCHOTTE)

Dans tous les cas, les ouvertures situées dans les autres expositions sont réduites au minimum permettant d'assurer l'éclairage naturel des locaux et leur ventilation en été.

b) En contrôle confort d'été, tout peut être envisagé, à l'exception, en zone littorale et de plaine, de l'exposition quart OUEST. Comme cette exposition ne fait pas partie de celles qui sont requises pour le contrôle énergétique, on peut la considérer comme éliminée d'office.

Une exposition privilégiée au NORD pourrait à priori être favorable, mais son efficacité est nulle dès que la température d'air extérieure diurne s'élève : une baie exposée NORD a la même conductance qu'une baie SUD, et elle transmet de la même manière le rayonnement diffus et réfléchi par le sol. On considère donc qu'une ouverture en exposition NORD sert essentiellement à assurer une ventilation nocturne transversale, en association avec des baies exposées quart SUD, et qu'il n'y a pas lieu de la surdimensionner.

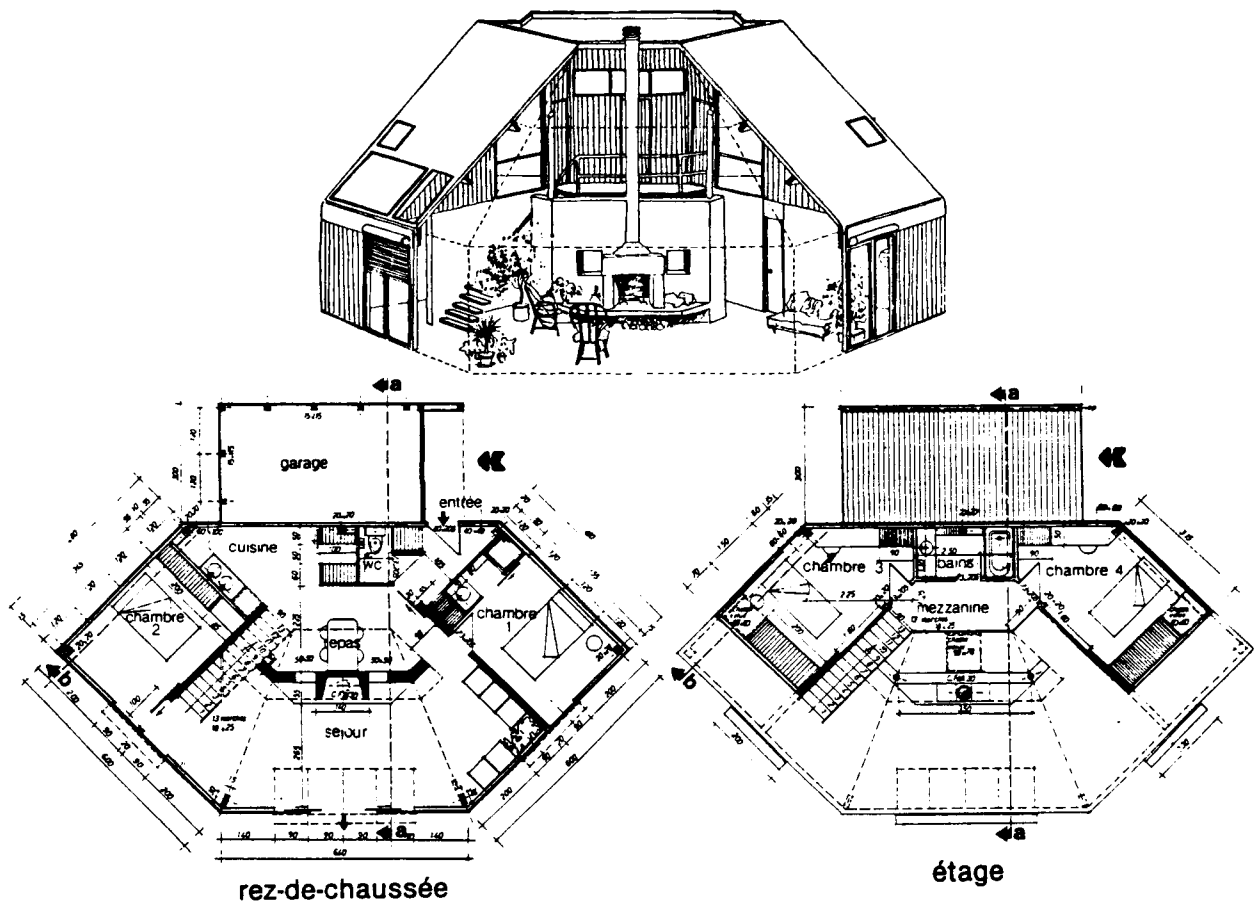


Fig. 15: Exemple de multi-orientation : "l'Héliotrope", lauréate du concours "5000 Maisons solaires" (Architecte: J.C. DROUIN)

En conclusion sur ce critère, on peut composer les modèles de la manière suivante:

**Modèle idéal** : percements les plus importants concentrés en exposition quart SUD en zone littorale et de plaine, avec débordement en exposition EST en zone de montagne.

**Modèle pathologique** : percements concentrés en expositions quart OUEST ou NORD, en toutes zones.

**Modèle tolérable** : percements répartis sur toutes les façades.

#### 4.16. Caractéristique 7.3.A. "Saillies en façade":

Les saillies de façades (balcons, débords toiture, porte-à-faux, décrochements, saillies de refends...etc) peuvent avoir deux effets distincts :

- un effet d'ombrage sur les ouvertures,
- un effet de "pont thermique" quand ces saillies sont constituées par des parois internes qui se prolongent à l'extérieur avec continuité du matériau (exemple : porte-à-faux).

## a) l'effet d'ombrage :

L'effet d'ombrage doit être vu différemment selon que l'on se trouve en saison de chauffage ou en période chaude. Les principaux effets répertoriés sont :

- l'effet "**casquette**" : débord de toiture, balcon supérieur, porte-à-faux, encorbellement, auvent, brise-soleil horizontal.

- l'effet "**flanc**" : décrochement de façade, saillie de mur mitoyen, saillie de refends support de pergola.

- l'effet "**loggia**" : balcon couvert avec parois latérales opaques, loggia, brise-soleil sur saillies de refends.

- l'effet "**patio**" : garde-corps plein filant sur balcon, patio, courette intérieure.

La performance exacte de ces formes dépend de leurs dimensions précises, mais elle dépend aussi de leur exposition et de la période de l'année. Pour des dimensions normales, la performance été-hiver en fonction de l'exposition est donnée dans le tableau suivant, en termes de protection/Captage solaire : (voir page suivante)

## b) effet de "pont thermique" :

Cet effet se produit chaque fois qu'une saillie est constituée par le prolongement à l'extérieur d'une paroi interne : plancher pour un balcon ou un brise-soleil, refends ou mur mitoyen pour un flanc, plancher et refends pour une loggia.

Cet effet est surtout sensible en saison de chauffage, et plus particulièrement là où les Degrés-Jours sont les plus nombreux : en zone de montagne.

La solution la meilleure consiste à désolidariser les parois internes et les éléments homologues extérieurs, soit par l'usage de supports indépendants (balcons et loggias ont leurs propres appuis), soit par l'usage de matériaux moins conducteurs: par exemple : balcons en bois sur consoles bois, brise-soleil en bois ou en métal....etc.



**CASQUETTE**

SAISON \ MASQUE	ORIENTATIONS	
	SUD	EST/OUEST
ETE	Bonne protection	Mauvaise protection
HIVER	Bon captage	Captage normal

**FLANC**

SAISON \ MASQUE	ORIENTATIONS	
	SUD	EST/OUEST
ETE	Mauvaise protection	EST, gauche : médiocre protection
HIVER	Captage moyen	EST, gauche : mauvais captage

**LOGGIA**

SAISON \ MASQUE	ORIENTATIONS	
	SUD	EST/OUEST
ETE	Très bonne protection	Médiocre protection
HIVER	Assez bon captage	Mauvais captage

**PATIO**

SAISON \ MASQUE	ORIENTATIONS	
	SUD	EST/OUEST
ETE	Médiocre protection	Protection moyenne
HIVER	Mauvais captage	Captage nul

Tableau de performances des quatre effets répertoriés selon la saison en fonction de l'orientation

En résumé, on peut dire sur le critère Façades-saillies/Contrôle climatique :

**Modèle idéal** : Utilisation des saillies sous les conditions de leur meilleure performance (voir tableau ci-dessus), sous forme d'éléments désolidarisés de la structure ou sous forme de débords de toiture.

**Modèle pathologique** : Utilisation des saillies dans les conditions de mauvaise performance (en toutes zones) et sous forme de prolongements extérieurs de planchers ou de refends (en zone de montagne).

**Modèle tolérable** : utilisation de saillies en continuité thermique sur un petit nombre de cas; conditions de performance moyenne.

#### 4.17. Caractéristique 8.1.A. "Second-œuvre/Fermetures":

Les fermetures jouent un rôle important en contrôle climatique : protection thermique nocturne, contrôle de l'ensoleillement, dosage de la lumière.

L'efficacité des fermetures dépend de plusieurs paramètres :

- leur position extérieure ou intérieure par rapport au vitrage,
- la conductivité et l'épaisseur du matériau qui les constitue,
- leur couleur (surtout si elles sont intérieures),
- la possibilité de régler leur position (entre "ouvertes" et "fermées")

La position de la fermeture commande son efficacité thermique réelle en protection solaire : une fermeture intérieure peut se comporter comme un capteur solaire et provoquer un flux de chaleur rayonnante vers l'intérieur.

Le matériau qui constitue la fermeture peut être isolant et apporter une résistance thermique supplémentaire à la baie appréciable surtout en hiver. Il peut aussi être conducteur et favoriser les échanges thermiques par conduction.

La couleur est à l'origine de la capacité de la fermeture à absorber ou au contraire à réfléchir les rayons solaires : c'est une caractéristique essentielle en été.

La possibilité de régler la position des fermetures est une qualité rarement constatée avec les fermetures que l'on peut trouver sur le marché : c'est pourtant essentiel en été quand on désire n'occulter le rayonnement solaire que partiellement, ou ménager la possibilité de ventiler le local de manière naturelle tout en assurant la protection solaire.

On adopte donc la notation pour les fermetures:

<p><b>Modèle idéal</b> : Position extérieure, matériau isolant, couleur claire, position entre'ouverte décollée du vitrage (ombrage + aération du vitrage). Un volet roulant à lame bois ou PVC projetable correspond à cette description. Une persienne bois aussi (ou moucharabier).</p>
<p><b>Modèle pathologique</b> : Position intérieure, matériau conducteur, couleur sombre. Exemple : un store vénitien de couleur sombre, ou un store toile foncée placés à l'intérieur ou rideaux sombres.</p>
<p><b>Modèle tolérable</b> : Store extérieur projetable en toile, écran à lames orientables ou voilages.</p>

#### 4.18. Caractéristique 8.2.A. "Second-œuvre/cloisons":

Les cloisons, éléments portés par le plancher, contribuent de façon non négligeable, à l'inertie thermique du local, du fait qu'elles sont placées dans leur totalité à l'intérieur de la zone habitée.

D'une manière générale, il sera intéressant qu'elles aient par elles-mêmes une capacité thermique minimale, surtout lorsqu'elles sont situées dans un local recevant le rayonnement solaire. Dans ce dernier cas, il faut éviter de disposer des

cloisons légères isolantes, ce qui a pour effet d'augmenter les températures d'air intérieures (hiver et été).

La notation pour les cloisons est la suivante:

<b>Modèle idéal</b> : Cloisons lourdes partout.
<b>Modèle pathologique</b> : Cloisons légères dans local recevant le rayonnement solaire direct
<b>Modèle tolérable</b> : Cloisons légères dans les autres pièces que celles recevant le rayonnement solaire.

#### 4.19. Caractéristique 8.3.A. "Second-œuvre/revêtements:

Deux caractéristiques des revêtements, qu'ils soient intérieurs ou extérieurs, peuvent être évoqués; elles sont citées dans le tableau, avec leurs effets :

##### POSITION EXTERIEURE

Valeur du facteur d'absorption	Valeur de la conductivité	
	élevée	faible
élevé	Transmission d'un fort flux aux masses thermiques	Fort échauffement externe
faible	Transmission d'un faible flux aux masses thermiques	Pas d'échauffement externe

##### POSITION INTERIEURE

Valeur du facteur d'absorption	Valeur de la conductivité	
	élevée	faible
élevé	Stockage des flux dans les masses autorisé	Fort échauffement intérieur
faible	Transmission d'un faible flux aux masses thermiques	Faible échauffement

Tableau des effets des revêtements selon leurs valeurs de facteur d'absorption  $\alpha$  et de conductivité  $\lambda$ .

- leur couleur commande leur comportement lorsqu'ils sont soumis directement au rayonnement solaire (facteur d'absorption  $\alpha$  ; facteur de réflexion  $\rho$ ).

- leur conductivité thermique  $\lambda$  autorise ou refuse l'accès des flux d'énergie solaire absorbés vers la masse thermique du matériau qu'ils recouvrent.

On voit que l'association "Faible valeur de  $\lambda$  (matériau isolant)+Valeur élevée de  $\alpha$  (couleur sombre)" est néfaste par les échauffements qu'elle provoque : à l'extérieur, cet échauffement pourra provoquer des dommages à l'isolant; à l'intérieur, il entrainera l'inconfort thermique.

Par ailleurs, quelle que soit sa couleur, une moquette isolante recouvrant un plancher lourd empêchera la masse thermique de stocker l'énergie solaire pénétrant par les baies.

En conséquence, on peut proposer sur ce critère les modèles suivants :

<b>Modèle idéal</b> : utilisation des associations "revêtement isolant+couleur claire" à l'extérieur et "revêtement conducteur+couleur sombre" à l'intérieur.
<b>Modèle pathologique</b> : utilisation des associations "revêtement isolant+couleur sombre" à l'extérieur et "revêtement isolant+paroi lourde" dans des locaux où se produisent des apports solaires directs.
<b>Modèle tolérable</b> : autres combinaisons.

#### 4.20. Caractéristique 8.4.A. "Second-œuvre/menuiseries":

Les menuiseries sont le lieu d'échange de flux entre l'extérieur et l'intérieur : flux d'air en ventilation, flux radiatifs solaires de jour, flux thermiques la nuit.

On peut attendre du complexe menuiserie + vitrage qu'il soit :

- étanche à l'air en position fermée,
- blocable en position ouverte (ventilation transversale)
- de coefficient K réduit (double vitrage)
- capable de transmettre le rayonnement solaire en hiver.

Sur ce dernier point, on peut souhaiter avoir un vitrage réflecteur dans les orientations les plus exposées en été (quart OUEST). Dans ce cas, le vitrage absorbant est plutôt à éviter.

Ce vitrage sélectif peut aussi être employé, s'il équipe une menuiserie facile à maintenir ouverte en été.

La notation suivante est proposée :

<b>Modèle idéal</b> : Menuiserie de bonne étanchéité, à ouverture réglable et blocable équipée de double vitrage transparent au SUD, ou réflecteur à l'OUEST, ou sélectif en toutes expositions.
<b>Modèle pathologique</b> : Menuiserie de faible étanchéité, sans possibilité de blocage, porteuse de vitrage absorbant ou réflecteur au SUD, de simple vitrage au NORD.
<b>Modèle tolérable</b> : Autres solutions

## 5 Modèles "parasismiques"

Les modèles parasismiques ont été rédigés en se basant sur l'état du savoir actuel concernant les moyens architecturaux de prévenir les dommages aux édifices soumis à un tremblement de terre.

### 5.1. Caractéristique 1.1.A : "Relation au site/Morphologie"

Le choix du site d'implantation a une importance capitale dans la protection des constructions contre les tremblements de terre. En effet, selon la topographie superficielle et souterraine du site et selon la nature des sols, les secousses sismiques transmises par le substratum rocheux peuvent être atténuées ou au contraire amplifiées (cas général). Les constructions implantées sur des crêtes ou des pitons subissent généralement des mouvements sismiques considérablement amplifiés.

Ainsi, lors du tremblement de terre de Lambesc (Provence) en 1909, le village de Vernègues, bâti sur un sommet, a été entièrement détruit alors que les hameaux voisins, composés de mêmes types de constructions, ont subi des dégâts beaucoup moins importants. De même à Rognes, les maisons situées au pied de la colline ont moins souffert que celles qui étaient implantées au sommet ou sur les versants. En effet, les ondes sismiques réfléchies vers l'intérieur des reliefs (versants, crêtes, sommets) y restent concentrées ainsi que l'énergie qu'elles transportent. Les amplitudes des secousses aux sommets et sur les crêtes sont donc plus grandes qu'en terrain plat.

Des amplifications importantes des secousses sismiques sont observées également au bord des gorges et vallées encaissées, dans les sites où le rocher affleurant la surface plonge sous des sols meubles ou lorsque le substratum rocheux est recouvert d'alluvions de grande épaisseur, notamment quand la rigidité des sols décroît progressivement vers la surface. Les amplitudes d'oscillation des sols meubles peuvent atteindre plus du double de celles qui sont observées sur les sols fermes situés à proximité. Cela explique en partie les dommages élevés que subissent lors des tremblements de terre les constructions qui y sont fondées.

L'un des facteurs destructeurs les plus importants est la durée des secousses. Or celle-ci aussi est particulièrement grande dans les sols meubles. Leur durée d'oscillation peut parfois être deux fois plus longue que celle des sols rocheux .

Les séismes de Mexico de 1911, 1957 et 1985 illustrent bien ces phénomènes. Dans les trois cas, la partie de la ville de Mexico située sur une épaisse couche de sol meuble couvrant un ancien lac, a subi des dommages beaucoup plus importants que des agglomérations plus proches de l'épicentre mais fondées sur des sols fermes .

Les tremblements de terre ne représentent quelques fois qu'une cause indirecte des effets observés. C'est le cas de grands mouvements de terrains ou de l'eau,



**induits.** Le séisme y joue le rôle de déclic (glissement, effondrement ou éboulement de terrains, avalanches, décrochage de glaciers, etc.) ou il est déterminant dans leur genèse: "liquéfaction" des sols, certains glissements de terrain dits atypiques, seiches (oscillation de l'eau dans les réservoirs naturels ou artificiels), tsunamis, etc.

Les conséquences des effets induits pour les ouvrages sont en général plus désastreuses que celles des vibrations du sol d'assise. Seules ces dernières sont d'ailleurs prises en compte pour le calcul des ouvrages. Un glissement de terrain peut emporter et détruire toute construction, qu'elle soit conçue pour résister aux secousses sismiques ou non. Avant d'implanter un bâtiment, il est donc important de repérer les formations géologiques et topographiques potentiellement dangereuses et d'évaluer leur zone d'influence.

La notation suivante sera appliquée au critère "relation au site/Morphologie du terrain":

**Modèle idéal :** choix d'un terrain plat , ferme, non exposé à des effets induits par les séismes.

**Modèle pathologique :** terrain situé sur un sommet ou soumis à des amplifications importantes des secousses ou encore à des effets induits par les tremblements de terre.

**Modèle tolérable:** terrain situé sur une pente faible et non exposé à des effets induits.

ROGNES - VUE PANORAMIQUE  
Prise après le tremblement de Terre du 11 Juin 1909



Fig. 16: Destructions du village de Rognes (Bouches du Rhône) lors du tremblement de terre du 11 Juin 1909: elles sont plus fortes pour les constructions situées sur le piton.

## 5.2. Caractéristique 1.2.B : "Relation au site/Nature du sol"

Les mouvements sismiques étant communiqués aux constructions par le sol, la qualité de celui-ci est de première importance pour leur bonne tenue aux séismes.

Le sol d'assise idéal est horizontal, sain, sec, ferme et homogène sur une épaisseur relativement grande. Il doit rester stable sous l'action de l'eau ou de vibrations.

De tels terrains sont évidemment rares. En général, les terrains que l'on rencontre posent des problèmes particuliers pour la fondation des constructions. Contrairement à ce qu'on pourrait penser, les sols rocheux, qui transmettent facilement des vibrations grâce à leur rigidité, s'avèrent plus favorables que les sols meubles. Ceux-ci donnent lieu à des mouvements globaux et différentiels de grande amplitude et des accélérations importantes dans les basses fréquences. A la même distance de l'épicentre, l'intensité d'un tremblement de terre peut varier de plusieurs degrés entre les sols durs et les sols mous. La vulnérabilité des constructions fondées sur les sols déformables est d'autant plus grande que leur fondation est moins profonde.

L'intensité des séismes augmente souvent avec l'épaisseur des dépôts sédimentaires au-dessus du substratum rocheux. Ainsi, dans une même ville touchée par un tremblement de terre, des bâtiments de conception similaire peuvent être très endommagés ou, au contraire, ne subir que des dégâts mineurs selon l'épaisseur des alluvions sur lesquels ils sont fondés.

Les sols rocheux non fissurés constituent une excellente assise pour les constructions parasismiques. Viennent ensuite par ordre décroissant de qualité les sols cohérents durs et secs, les sables et graviers très denses, rocher altéré, les sols argilo-graveleux, les sols granulaires moyennement compacts, sols cohérents moyennement consistants et craies tendres.

Dans tous les cas, il convient d'opter pour un sol homogène, étant donné que sous l'action sismique les tassements différentiels du sol jouent un rôle plus important que sa capacité portante.

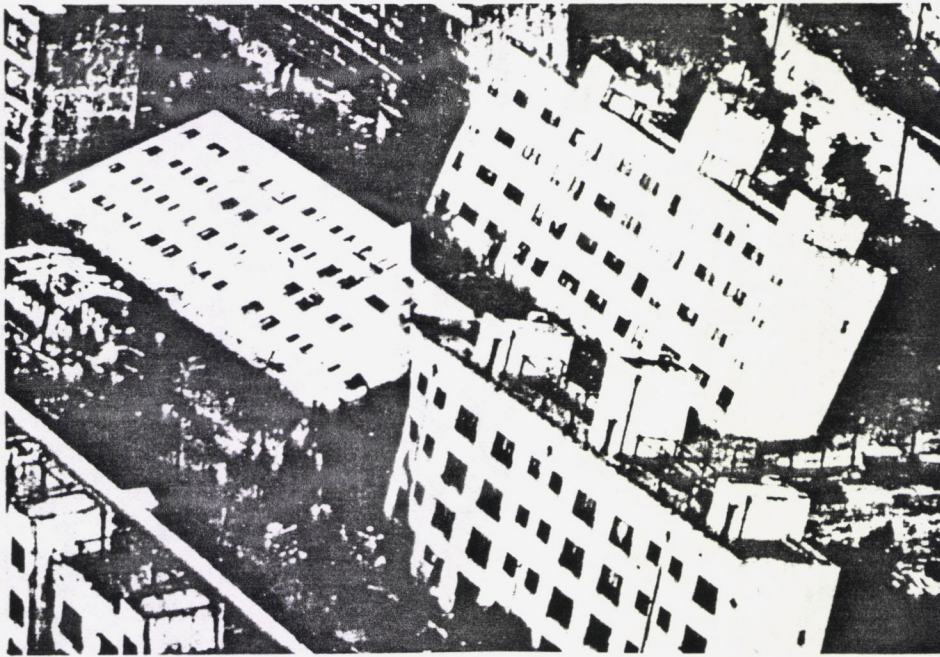
On ne doit pas fonder les constructions sur les sols suivants :

- vases, tourbe, éboulis, alluvions récentes, alluvions épaisses molles, remblais non compactés, qui ont une faible portance et donnent lieu à des tassements excessifs et irréguliers,
- sables fins peu compacts, qui possèdent une texture lâche, instable en présence de l'eau,
- sols pulvérulents dont la structure s'effondre au dessèchement,
- silts, marnes, limons et argiles silteuses, qui prédisposent aux glissements de terrains,
- argiles molles, qui subissent de fortes variations de volume en fonction des fluctuations de leur teneur en eau.



La notation pour la "nature des sols" est donc :

<b>Modèle idéal</b> : sol horizontal, sain, sec, ferme et homogène.
<b>Modèle pathologique</b> : remblais non compactés, alluvions molles, siltes, marnes, argiles molles, sables fins saturés d'eau.
<b>Modèle tolérable</b> : sols meubles de bonne qualité et secs.



(Photo MENEROUD, CETE)

Fig. 17: Exemple de liquéfaction des sols et des conséquences qui peuvent en découler : immeubles couchés après le tremblement de terre de Niigata (Japon) en 1964.



### 5.3. Caractéristique 2.1.B : "Forme générale"

Une simple application des calculs parasismiques à un projet dont les partis architectural et constructif ont été arrêtés en fonction des critères habituels, convenant aux situations asismiques, ne peut garantir la survie de la construction à un séisme particulièrement destructeur. Il subsiste toujours une probabilité qu'au cours d'un temps suffisamment long, la construction sera soumise à des charges sismiques nettement plus élevées que les charges de calcul.

L'expérience montre effectivement que dans la région épiscopale, les constructions subissent généralement lors des tremblements de terre majeurs des forces beaucoup plus importantes que celles qui résultent de l'application des règles parasismiques, ces dernières n'ayant pour objet que d'assurer un certain niveau de protection contre les séismes (protection nominale), sans rechercher la protection totale.

Les règles parasismiques françaises et étrangères sont basées sur une approche statistique et probabiliste qui considère que les séismes destructeurs sont des phénomènes relativement peu fréquents et que le concours de circonstances défavorables qui devraient être pris en compte dans le cas de la protection totale, sont assez improbables pour qu'on puisse les négliger. Les forces retenues sont de l'ordre de 20% du poids du bâtiment, alors qu'on observe, dans les zones de forte sismicité, des forces réelles égales à 100% de ce poids ou plus.

Dans de nombreux cas on constate cependant que les dégâts infligés aux constructions sont bien inférieurs à ce qu'on pourrait s'attendre dans de telles situations. Cela s'explique par le fait que ces constructions possèdent une réserve de résistance due d'une part à la ductilité du matériau de structure et, d'autre part, à une conception d'ensemble et de détail intrinsèquement parasismique.

Les constructions dont l'architecture et les solutions techniques tendent à minimiser les charges d'origine sismique et à créer des conditions favorables à la résistance aux sollicitations dynamiques, ont donc beaucoup plus de chances d'avoir un comportement satisfaisant lors des séismes violents que les constructions dont l'architecture est conçue sans avoir tenu compte des critères parasismiques dès les premières esquisses, même si les dimensions de leurs éléments résistants résultent d'un calcul conforme aux règles parasismiques. Cette dernière démarche entraîne souvent des dépenses inutilement élevées pour un résultat peu sûr.

La forme générale des bâtiments est un facteur de première importance. En conférant aux constructions une forme correcte, on peut :

- éviter la torsion d'ensemble ainsi que l'asynchronisme des oscillations des diverses parties du bâtiment,
- minimiser les déformations et les concentrations de contraintes provoquées par les secousses (les concentrations de contraintes sont les causes directes de rupture des éléments constructifs).

Le meilleur comportement sous l'action sismique est obtenu par les bâtiments dont la forme est simple et symétrique suivant deux axes. La torsion d'ensemble est ainsi considérablement réduite. La résistance à la torsion des bâtiments en forme de "L", "T", "U", "V", "X" ou "Z" est par contre très inférieure à celle des bâtiments symétriques et compacts. De plus, à la jonction des ailes, des concentrations de contraintes très importantes sont inévitables, étant donné la différence des rigidités transversale et longitudinale des ailes.

D'une manière générale, les constructions dont le centre de gravité est bas se comportent mieux que celles dont le centre de gravité est élevé. En effet, les moments de renversement importants sont préjudiciables aux constructions. S'ils produisent des efforts de traction dans les éléments verticaux, la résistance au cisaillement et à la flexion de ces derniers est considérablement réduite.

Toutefois, cette constatation ne devrait pas conduire à renoncer à la construction des bâtiments élevés dans les régions sismiques. En effet, les accélérations que subiront les éléments constructifs et dont dépend l'intensité des charges sismiques (égale au produit de la masse par l'accélération), sont très variables selon que la période propre d'oscillation du bâtiment est proche ou éloignée de la période dominante du sol.

Ainsi, les constructions basses et rigides, à courte période propre, subissent souvent des dégâts plus grands que les bâtiments comportant plusieurs étages, qui sont plus flexibles et possèdent donc une période propre plus longue.

En général, les critères parasismiques n'interviennent pas dans le choix de la hauteur de la construction. Par contre, pour un bâtiment d'une hauteur donnée, on devrait rechercher la position la plus basse possible du centre de gravité. Les formes pyramidales ou coniques apparaissent donc comme les plus avantageuses pour un bâtiment, à condition toutefois d'éviter l'interruption de la continuité des éléments verticaux. En revanche, les formes en pyramide inversée ne conviennent pas du tout. En plus d'une position de centre de gravité haute, elle n'offrent qu'une base réduite, soumettant ainsi le sol d'assise à des contraintes inutilement élevées.

Le centre de gravité d'une construction est abaissé par la présence d'étages enterrés et de fondations profondes. On peut également réaliser les étages inférieurs en structure lourde (voiles en béton armé) et les étages supérieurs en structure légère (ossature en acier, béton léger,...). Dans tous les cas, les équipements lourds doivent être évités ou placés aux niveaux les plus bas.

En ce qui concerne les constructions de grande hauteur, l'inconvénient du centre de gravité haut placé devrait être en partie compensé en limitant leur élancement (rapport de la hauteur à la largeur). En effet, à hauteur constante, les poteaux périphériques sont soumis à des efforts axiaux d'autant plus élevés que la largeur du bâtiment est plus petite.

Les solutions types pour la "forme générale" sont les suivantes :

**Modèle idéal** : constructions simples, symétriques et compactes.

**Modèle pathologique** : constructions de forme irrégulière, possédant un centre de gravité élevé (dépassant la mi-hauteur).

**Modèle tolérable** : constructions s'écartant peu de la règle de symétrie et de simplicité; constructions d'aspect complexe, mais recoupées en blocs symétriques par des joints parasismiques.



Fig. 18: Exemple de destruction d'un immeuble en forme de "L" après le tremblement de terre de Santa Barbara (Californie) de 1925.

#### 5.4. Caractéristique 2.2.B : "Forme/Volume intérieur"

Les volumes intérieurs simples, de hauteur courante, ne soulèvent aucun problème du point de vue parasismique. Par contre, de vastes halls et atriums, des passages couverts ou mezzanines peuvent être préjudiciables à la résistance des bâtiments aux séismes.

Les mezzanines et les galeries impliquent fréquemment la présence de "poteaux courts", beaucoup plus vulnérables aux charges sismiques que les poteaux ayant la hauteur d'étage.

En effet, les charges sismiques se répartissent généralement sur les éléments porteurs verticaux proportionnellement à leur rigidité latérale.

Les "poteaux courts", comme ceux qui supportent les mezzanines, résistent sensiblement moins bien à l'action sismique que les poteaux ayant la même section transversale, mais libres de se déformer sur toute la hauteur d'étage.

Bien que les poteaux courts puissent supporter des charges statiques plus élevées, à section égale, la quantité d'énergie de déformation qu'ils peuvent stocker avant leur rupture est beaucoup plus faible. Or c'est de celle-ci que dépend principalement leur résistance aux charges dynamiques.

Par ailleurs, les poteaux courts attirent, à cause de leur rigidité, une plus grande part des charges latérales que les poteaux élancés.

Si des mezzanines ou des galeries doivent être réalisées, il est préférable d'égaliser la hauteur libre des poteaux d'un même niveau par des traverses.

L'emploi d'une structure légère, désolidarisée du système porteur principal, représente une autre solution.

Il convient également d'éviter les porte-à-faux importants et les niveaux décalés.

La notation de la caractéristique "Forme/Volume intérieur" est:

<b>Modèle idéal</b> : volumes intérieurs simples et de hauteur constante et non excessive (inférieure à 3m).
--

<b>Modèle pathologique</b> : volumes intérieurs à morphologie complexe, comportant des mezzanines, galeries, atriums, etc., dont la structure est solidaire de l'ossature principale.
---

<b>Modèle tolérable</b> : volumes intérieurs relativement simples, avec des mezzanines ou des galeries n'entraînant pas une hauteur inégale des poteaux de l'ossature principale.
---

### 5.5. Caractéristique 3.B : "Distribution intérieure"

L'organisation intérieure des immeubles doit être correctement résolue du point de vue de la facilité d'évacuation des occupants. Les circulations doivent être larges et leur cheminement simple. Il est souhaitable que les sorties débouchent sur deux côtés de l'immeuble.

La compatibilité du système porteur avec le fonctionnement du bâtiment ne doit pas être négligée. Les passages fréquents des circulations et des installations à travers les éléments résistants affaiblissent considérablement la fiabilité de ces derniers. Le système porteur choisi doit interférer le moins possible avec la circulation des fluides et des personnes.

La notation de la caractéristique "Distribution intérieure" :

<b>Modèle idéal</b> : circulations larges à cheminement simple.
<b>Modèle pathologique</b> : circulations étroites à cheminement complexe
<b>Modèle tolérable</b> : cas intermédiaire

### 5.6. Caractéristique 4.1.B : "Implantation/Orientation"

L'orientation des constructions par rapport au NORD est sans influence sur leur comportement sous séisme.

Toutefois, dans les zones exposées aux tsunamis, il convient d'orienter les constructions de manière que les murs porteurs les plus longs soient placés parallèlement à l'arrivée des vagues. Cette disposition offre la meilleure résistance aux tsunamis. Correspondant à des conditions très spécifiques, ce dernier critère n'est pas retenu pour notre notation :

<b>Modèle idéal</b> : toute orientation
<b>Modèle pathologique</b> : néant
<b>Modèle tolérable</b> : néant

### 5.7. Caractéristique 4.2.B : "Implantation/Relation environnement"

Du point de vue parasismique, une interaction des constructions avec leur environnement immédiat se produit à deux niveaux :

- entre les bâtiments mitoyens,
- avec les voies de desserte.

Une construction "en champ libre", sans bâtiments contigus est la plus avantageée. En effet, le martèlement entre constructions adjacentes ou l'écroulement d'un immeuble sur les bâtiments voisins sont fréquemment observés lors des séismes majeurs. Des joints de séparation d'une largeur suffisante et vides de tout matériau doivent être prévus. La largeur de joint imposée par les règles parasismiques nationales s'avère souvent insuffisante, ainsi qu'en témoignent, parmi les



tremblements de terre récents, les séismes d'El Asnam en 1980 et du Mexique en 1985.

Les voies de desserte devant rester opérationnelles pour l'arrivée des secours, il convient de les prémunir contre l'encombrement par des ruines. Pour la construction neuve, une distance de 6 à 8 m semble suffisante entre les bâtiments et les voies.

La notation de la caractéristique "Relation environnement":

<b>Modèle idéal</b> : construction sans bâtiments adjacents ou séparée de ces derniers par un joint vide de tout matériau de 4 cm au moins.
<b>Modèle pathologique</b> : constructions mitoyennes mécaniquement liées (sans joint de séparation de 4 cm au moins)
<b>Modèle tolérable</b> : constructions mitoyennes séparées par un joint d'au moins 4 cm rempli de polystyrène.

#### 5.8. Caractéristique 4.3.B : "Implantation/Relation au terrain"

Selon le parti architectural choisi, les constructions peuvent comporter ou non un rez-de-chaussée "transparent" sur pilotis. Du point de vue parasismique, la solution d'une transparence est fortement déconseillée. Le rez-de-chaussée constitue dans ce cas un "niveau flexible", qui donne lieu à de sévères concentrations de contraintes aux extrémités des poteaux.

Ces concentrations de contraintes empêchent une transmission correcte des charges et entraînent la formation de rotules plastiques dans les poteaux, transformant ainsi la structure en un système instable. De tels ouvrages sont généralement les premiers à s'effondrer lors d'un tremblement de terre.

Dans le cas d'un rez-de-chaussée "non transparent", les dallages sur empierrement conviennent mieux que la solution du plancher sur vide sanitaire.

Celle-ci entraîne "l'effet de poteau court" expliqué dans la caractéristique 2.2.B Volumes intérieurs.

Dans le cas des planchers sur vide sanitaire, le soubassement devrait être réalisé en voiles de béton armé formant un volume encloisonné et recoupé par des refends.

La notation de la caractéristique "relation au terrain" est la suivante :

<b>Modèle idéal</b> : soubassement en voiles de béton armé, sans vide sanitaire.
<b>Modèle pathologique</b> : rez-de-chaussée "transparent" sur pilotis.
<b>Modèle tolérable</b> : soubassement en voiles de béton armé ou maçonnerie convenablement chaînée formant un vide sanitaire clos et raidi par des refends.

### 5.9. Caractéristique 5.1.B : "Structure/Système porteur"

En l'absence de préoccupations parasismiques, l'architecte a souvent le choix entre plusieurs systèmes porteurs pour un bâtiment donné. Chaque système présente un degré de rigidité différent, donnant lieu à un amortissement et à une période propre d'oscillation également différents. Sous charges statiques, ces facteurs n'ont qu'une importance secondaire. Par contre, pendant les secousses sismiques, ils influencent favorablement ou défavorablement le comportement de la structure, fondée sur un sol donné .

Pour éviter un effet de résonance avec le sol, les structures flexibles, comme les portiques autostables, ne devraient être utilisées qu'en présence de sols durs et fermes. Pour fonder dans des sols meubles, le recours à des systèmes latéralement rigides est impératif (p. ex.: structures en voiles de béton armée ou ossatures contreventées).

Dans toute structure, les facteurs suivants favorisent la résistance des constructions aux tremblements de terre :

- Homogénéité du système porteur : Il doit être homogène dans les limites des joints de gros oeuvre. En effet, lorsque deux systèmes de déformabilité différente sont mécaniquement reliés, il en résulte nécessairement des concentrations de contraintes qui créent des zones faibles .

- Symétrie en plan et en élévation : L'effet favorable de la symétrie géométrique d'un bâtiment peut être entièrement annulé par une asymétrie du système porteur. Or la répartition symétrique ou quasi symétrique des éléments porteurs rigides est une caractéristique essentielle d'une bonne construction parasismique. Elle permet de minimiser la torsion d'ensemble.

- Régularité : La régularité est une condition nécessaire à une répartition uniforme des charges sismiques sur les éléments porteurs. On recherchera :

- des trames régulières,
- une même longueur libre pour les poteaux,
- la superposition des éléments porteurs verticaux.

- Hyperstaticité : Dans une structure hyperstatique, plusieurs chemins de descente des charges sont possibles. La rupture des liaisons et des éléments surabondants dissipe une importante quantité d'énergie sans entraîner la ruine de la construction.

La notation du critère "Structure/Système porteur" est :

<b>Modèle idéal</b> : système porteur hyperstatique et symétrique ou quasi symétrique, régulier et homogène, dont la période propre d'oscillation est très différente de celle du sol (p.ex.: structure rigide sur sol meuble).
<b>Modèle pathologique</b> : structure flexible sur sol meuble; système porteur très irrégulier.
<b>Modèle tolérable</b> : système porteur homogène mais présentant de faibles écarts (de l'ordre de 15%) par rapport à la symétrie ou la régularité parfaite; structure rigide sur sol ferme.

### 5.10. Caractéristique 5.2.B : "Structure/Contreventement"

#### a) Contreventement horizontal :

Les solutions choisies pour le contreventement horizontal devraient permettre la constitution d'un diaphragme rigide à tous les niveaux y compris les toitures. Ainsi, les planchers en dalle de béton armé conviennent pour les constructions en maçonnerie, de même que les planchers bois pour les maisons à ossature bois (MOB). Les trémies perforant le diaphragme doivent avoir des dimensions limitées. Il convient de les éloigner des façades, notamment des angles.

#### b) Palées de stabilité verticales :

Trois aspects du contreventement vertical seront pris en compte :

- La constitution des palées de stabilité, dont dépend la rigidité de la construction; celle-ci doit être adéquate aux conditions de sol.
- La distribution des palées en plan, limitant ou non la torsion d'ensemble et autorisant un bras de levier horizontal plus ou moins grand. Les parois des cages d'escalier constituant en général des palées de stabilité, la localisation des escaliers joue un rôle important.
- La largeur et la distribution verticale des palées, qui définissent le bras de levier résistant vertical et conditionnent la répartition de la rigidité sur la hauteur du bâtiment. Sont à éviter plus particulièrement les constructions dont certains étages sont contreventés par des voiles et d'autres par des portiques (p.ex.: rez-de-chaussée ouvert).

La notation de la caractéristique "Structure/Contreventement" est :

<b>Modèle idéal</b> : construction possédant des diaphragmes rigides, ainsi que des palées de stabilité larges, superposées et disposées symétriquement en périphérie du bâtiment.
<b>Modèle pathologique</b> : diaphragmes flexibles ou absence de diaphragmes (plafonnage sous charpente), palées de stabilité peu efficaces, hétérogènes et n'obéissant à aucune symétrie.
<b>Modèle tolérable</b> : diaphragmes rigides (y compris planchers béton armé dans ossature bois), mais palées hétérogènes ou étroites.



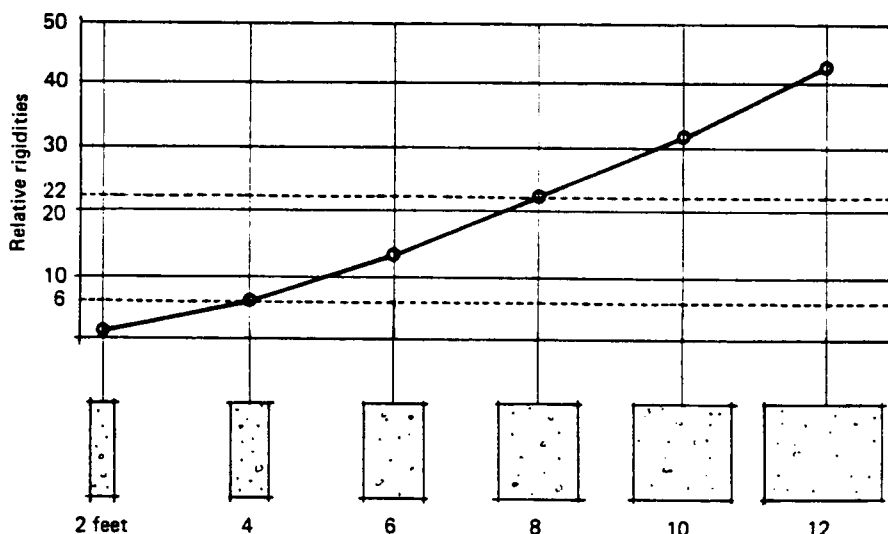


Fig. 19: Rigidité relative de murs en béton de mêmes épaisseurs en fonction des dimensions de l'élément.

### 5.11. Caractéristique 5.3.B : "Structure/Elements constructifs"

Les oscillations des constructions soumises à un tremblement de terre se traduisent par des déformations des éléments constructifs, qui peuvent subir des efforts internes élevés. Afin d'éviter l'"effet de poteau court" décrit en 2.2.B, la rigidité des éléments porteurs ayant une même fonction doit être sensiblement égale pour que les charges ne soient pas concentrées sur certains d'entre eux mais qu'elles soient uniformément réparties sur tous les éléments.

La forme des éléments constructifs joue également un rôle important. Lorsqu'elle est correcte, elle permet d'assurer une descente de charges rationnelle et de limiter les concentrations de contraintes, qui sont des causes directes de rupture.

Sont à déconseiller en zone sismique :

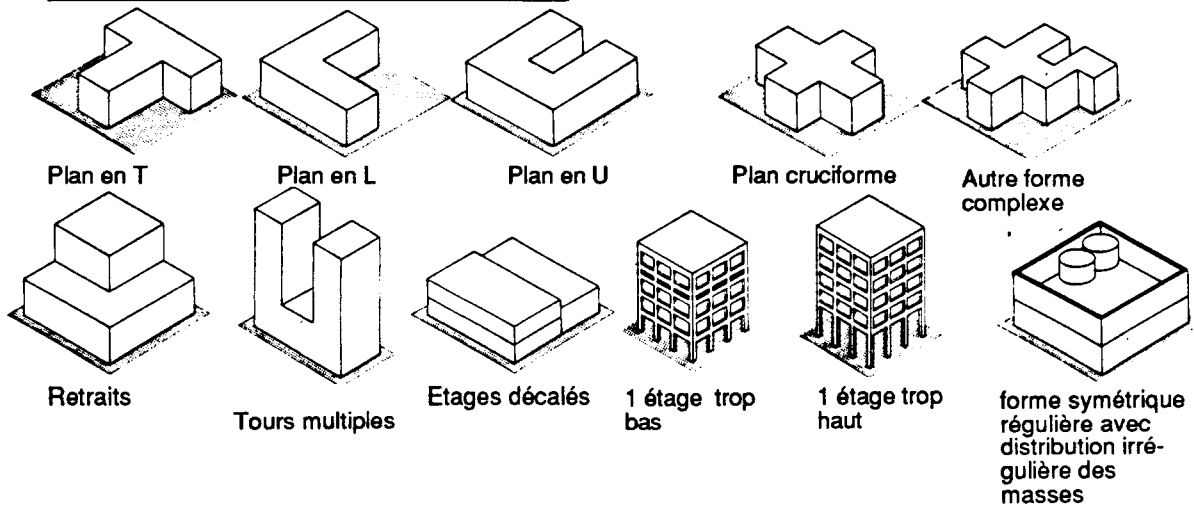
- formes qui dévient par trop d'une descente des charges directe,
- angles vifs aux changements de direction et aux intersections des éléments constructifs, notamment les angles fermés,
- variations brusques des sections,
- percements de mur importants ou comportant de nombreux angles.

Par ailleurs, la forme des poutres ne doit pas leur conférer une rigidité plus grande que celle des poteaux. Les déformations plastiques des poutres, si elles se produisent, doivent intervenir avant celles des poteaux.

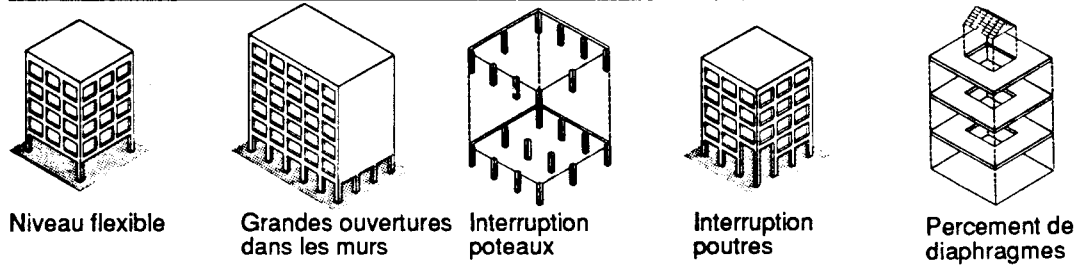
La notation de la caractéristique "Elements constructifs" est la suivante :

<b>Modèle idéal</b> : éléments ayant une forme rationnelle, sans changements brusques de direction et de rigidité.
<b>Modèle pathologique</b> : éléments de forme qui dévie par trop d'une descente des charges directe ou comportant des angles fermés et des percements importants.
<b>Modèle tolérable</b> : éléments comportant des changements brusques de direction mais dont la rigidité transversale est constante ou à variation continue.

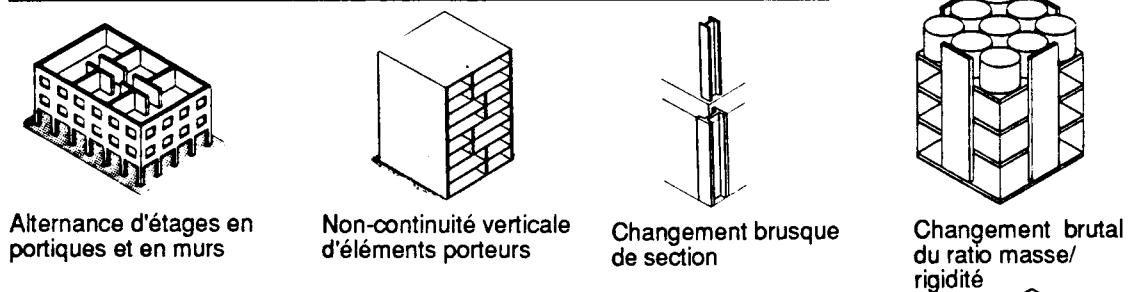
**A. BATIMENTS DE FORME IRREGULIERE:**



**B. BATIMENTS AVEC DE BRUTAUX CHANGEMENTS DE RESISTANCE LATERALE:**



**C. BATIMENTS AVEC DE BRUTAUX CHANGEMENTS DE RIGIDITE:**



**D. STRUCTURES INUSITEES OU NOUVELLES:**

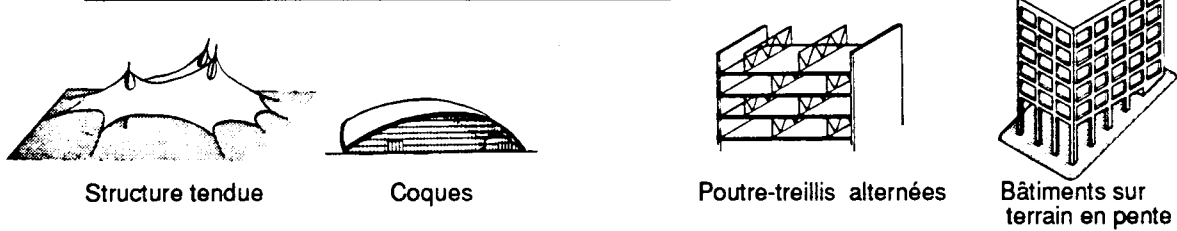


Fig. 20: Interprétation graphique des "structures et systèmes de construction irréguliers", selon le "Structural Engineers Association of California".

### 5.12. Caractéristique 5.4.B : "Structure/Fondations"

Le rôle des fondations est d'assurer la transmission des charges verticales et horizontales de la structure du bâtiment au sol d'assise.

Les fondations sont habituellement classées en 2 familles principales :

- fondations superficielles (semelles isolées, semelles filantes, radier général); leur assise doit être sur un même plan horizontal ou, à défaut, ne pas présenter de décrochements importants;
- fondations profondes (pieux, puits, barrettes et caissons).

D'une manière générale, les fondations profondes sont plus favorables que les fondations superficielles. Elles permettent un meilleur accrochage de la construction au sol ainsi qu'un abaissement de son centre de gravité. Par ailleurs, l'amplitude des mouvements sismiques décroît avec la profondeur.

L'expérience montre que les fondations profondes flexibles, capables de suivre les mouvements du sol sans se rompre, présentent un meilleur comportement que les fondations de grande rigidité transversale.

Ainsi les pieux appuyés en pointe, sans encastrement excessif, conviennent généralement très bien. Cependant, les pieux flottants sont à éviter.

Les règles de conception suivantes devraient être observées en zone sismique :

- homogénéité du système de fondation afin de limiter les tassements différentiels sous charges dynamiques,
- continuité mécanique des fondations; les fondations doivent former un ensemble rigidement lié afin de limiter les mouvements relatifs.

Il est donc nécessaire de lier les semelles isolées, ainsi que les têtes de pieux, de barrettes ou de puits par des longrines résistant aux efforts de traction et de compression.

La notation de la caractéristique "Fondations" est:

<b>Modèle idéal</b> : fondations efficacement liées, ayant la même rigidité dans les deux directions principales et assises en profondeur.
--

<b>Modèle pathologique</b> : fondations isolées (superficielles ou profondes) non reliées par des longrines.
--

<b>Modèle tolérable</b> : fondations superficielles efficacement liées mais dont la rigidité est variable (semelles isolées et longrines).
--

### 5.13. Caractéristique 6.B : "Structure/Matériaux"

Les matériaux de structure jouent incontestablement un rôle important dans la résistance des constructions aux séismes. Leur choix est souvent le fruit d'un compromis entre divers critères. Pour la construction des maisons individuelles, le coût, la disponibilité sur place et la facilité de mise en oeuvre du matériau prévalent généralement sur le critère de résistance mécanique. Ce dernier est par contre décisif pour les constructions de grandes dimensions.

Le comportement des matériaux pendant les tremblements de terre ne peut pas être dissocié du type de structure qu'il constitue. On peut néanmoins dégager les principales propriétés qui favorisent la résistance des matériaux aux séismes:

#### - Résistance mécanique :

Il s'agit principalement de la résistance à la traction, à la compression et au cisaillement . Il est souhaitable que la résistance soit égale dans les trois directions principales, donc que le matériau soit homogène et isotrope. L'acier et les alliages d'aluminium donnent le meilleur résultat de ce point de vue. Le béton armé précontraint, bien que n'étant pas homogène, présente également une très bonne résistance. Les matériaux dont la résistance à la traction ou au cisaillement est faible (maçonnerie, béton non armé,...), ne devraient être utilisés qu'associés à des matériaux capables de remédier à ces insuffisances .

#### -Rapport résistance / poids élevé :

Plus un matériau de structure est léger, plus faibles seront les charges sismiques auxquelles la construction devra résister. Les matériaux suivants offrent le meilleur rapport: bois, acier et alliages d'aluminium.

#### - Rigidité :

La rigidité des matériaux est requise afin de limiter les problèmes de stabilité de forme. Elle ne doit pas être confondue avec la rigidité des éléments constructifs. En effet, des éléments flexibles sont couramment réalisés en acier, qui est un matériau très rigide. Le béton armé possède également une bonne rigidité.

#### - Résilience :

La résilience caractérise la quantité d'énergie qu'un matériau peut absorber avant rupture sous un choc. L'acier, les alliages d'aluminium et le bois ont une très bonne résilience.

#### - Ductilité :

La ductilité est la capacité des matériaux à se déformer plastiquement lors des efforts élevés sans diminution de la résistance. Elle constitue une réserve de résistance des structures. Par ailleurs, les déformations plastiques des matériaux ductiles entraînent une diminution de la vitesse et des accélérations de la structure

et par là celle des charges sismiques qui la sollicitent. L'acier, les alliages d'aluminium et dans une moindre mesure le béton armé correctement ferrailé ont une bonne ductilité. L'emploi des matériaux fragiles (maçonnerie et béton non armés, fonte, etc.) n'est pas recommandé. Les codes parasismiques en limitent généralement l'utilisation .

- Ténacité :

La ténacité caractérise la dépense d'énergie nécessaire à la rupture du matériau. Les matériaux très ductiles sont donc tenaces du fait que leurs déformations plastiques entraînent une absorption importante d'énergie. Par contre, la ténacité des matériaux fragiles est négligeable. Fissurés ou rayés, ils se rompent rapidement sous le choc ou autres charges dynamiques ( brique, pierre, béton non armé,...). Les matériaux de structure les plus tenaces sont l'acier et le bois, ce dernier n'étant pas très ductile. Sa ténacité est due à sa structure cellulaire et fibreuse .

- Endurance ( résistance à la fatigue ):

Une répétition et une alternance rapides des charges réduisent la résistance des matériaux. Cette réduction n'est sensible qu'après un nombre de cycles de charge élevé. Un tremblement de terre isolé, fût-il violent, ne peut donc entraîner une rupture d'éléments constructifs par fatigue. Néanmoins, le cumul des effets dus à la répétition de cycles de grandes déformations de structure conduit inévitablement à une diminution de sa fiabilité. Dans les régions où l'activité sismique est fréquente, il est souhaitable d'employer les matériaux résistants à la fatigue (acier, bois,...).

- Aptitude à la réalisation d'assemblages rigides, résistants et ductiles :

Les joints et les assemblages jouent un rôle capital dans la résistance des constructions aux séismes. Ils doivent assurer la transmission des efforts entre les éléments constructifs, donc garantir la continuité mécanique de la structure.

Les matériaux de construction qui permettent la réalisation d'assemblages les plus efficaces sont l'acier et le béton armé coulé en place. Les assemblages des éléments en bois sont par contre relativement peu rigides.

Notation de la caractéristique "matériaux" :

**Modèle idéal** : éléments réalisés en matériaux résistants et ductiles (ou tenaces) : acier, aluminium, bois, béton armé ductile.

**Modèle pathologique** : matériaux peu résistants ou fragiles utilisés pour la structure et le second oeuvre : béton non armé, maçonneries non chaînées et non armées.

**Modèle tolérable** : utilisation de matériaux fragiles et peu résistants associés à des chaînages et raidisseurs en béton armé, bois ou acier.

#### 5.14. Caractéristique 7.1.B : "Nature des façades"

Les façades sont très exposées lors des tremblements de terre. Elles subissent des efforts de cisaillement et de flexion dus aux secousses horizontales respectivement parallèles et perpendiculaires à leur plan.

Les murs de façade en maçonnerie traditionnelle sont les plus fragiles. En zone sismique, ils doivent être encadrés par des chaînages horizontaux et verticaux en béton armé, acier ou bois.

Les façades en voiles de béton armé montrent en revanche un excellent comportement. De même, les panneaux de façade en béton armé préfabriqué conviennent pour les zones exposées aux séismes. Ils doivent cependant tolérer sans dommage les déformations de la structure principale. Cela nécessite souvent une distance de 5 à 7 cm entre les panneaux et les planchers ainsi que des liaisons mobiles en bas des panneaux. Les façades en mur-rideau doivent répondre aux mêmes exigences. Leur faible poids représente un grand avantage.

Notation de la caractéristique "Nature des façades" :

<b>Modèle idéal</b> : façades en béton armé ou façades légères, découplées de l'ossature respectant les dispositions constructives parasismiques (ferrillages adéquats).
--

<b>Modèle pathologique</b> : façades rigides couplées à une ossature flexible: murs en briques, liés à ossature métallique ou bois.
---

<b>Modèle tolérable</b> : façades en maçonnerie traditionnelle chaînée ou armée.
--

### 5.15. Caractéristique 7.2.B : "Percements"

Les percements réduisent la rigidité et la résistance des façades. Afin de limiter leurs effets indésirables, ils devraient être :

- superposés,
- répartis également sur les 4 façades,
- de forme simple, sans angles fermés,
- éloignés des angles, notamment en rez-de-chaussée (portes cochères, passages libres, ...),
- de dimensions minimales,
- espacés,
- avec leurs linteaux aux mêmes hauteurs.

Idéalement, l'aire totale des percements ne devrait pas être supérieure à 30 % de l'aire de la façade.

L'organisation des fenêtres en bandeau pose un problème particulier lorsque l'allège est en maçonnerie et forme un panneau de remplissage de portique en béton armé. Cette disposition a été de nombreuses fois à l'origine du cisaillement des poteaux, dont la flexibilité est considérablement réduite par la présence des allèges. En effet, la quantité d'énergie qu'ils peuvent stocker avant leur rupture est faible. Dans les régions hautement sismiques, il est préférable d'opter, avec les portiques en béton armé, pour des allèges flexibles (p.ex., en panneaux menuisés). La notation de la caractéristique "Percements" est:

**Modèle idéal** : percements simples, superposés, éloignés des angles, totalisant au plus 30 % de l'aire de la façade, séparés par des trumeaux d'une largeur supérieure ou égale à 1m et répartis uniformément sur les différentes façades.

**Modèle pathologique** : percements importants, complexes, séparés par des trumeaux de faible largeur, concentrés sur certaines façades.

**Modèle tolérable** : percements dépassant 30 % de la surface de la façade, mais séparés par des trumeaux d'un mètre au moins avec des pourcentages de percement ne variant pas de plus de 50% entre différentes façades.

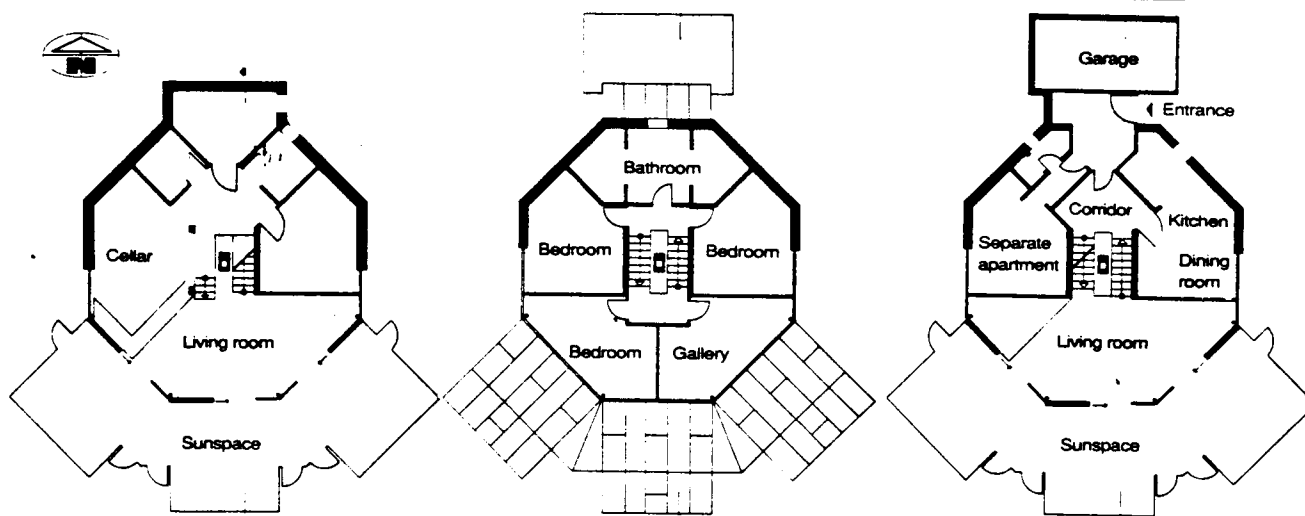


Fig. 21: Exemple de construction à répartition irrégulière des ouvertures : maison "Am Steinbruch" à Landstuhl, Allemagne: c'est une maison bioclimatique...

### 5.16. Caractéristique 7.3.B : "Saillies de façades"

D'une manière générale, les saillies en façade sont défavorables. Les balcons, auvents, étages en porte-à-faux, etc., sont sensibles aux secousses verticales. Leur présence entraîne par ailleurs des concentrations de contraintes dans les éléments qui les supportent.

Les éléments de façade décoratifs et les brise-soleil en béton armé augmentent inutilement le poids des constructions. Ils représentent une menace pour la sécurité des passants, étant donné que leurs supports subissent pendant des secousses sismiques des efforts élevés, pouvant dépasser leur résistance. L'emploi d'éléments lourds, accrochés sur les façades, devrait être interdit dans les zones où on peut s'attendre à des séismes majeurs. On peut utiliser des éléments légers en profilés métalliques, en matières plastiques ou en matériaux composites.

Notation de la caractéristique "Saillies de façade" :

<b>Modèle idéal</b> : absence de porte-à-faux ou réalisation d'éventuelles saillies en matériaux légers, accrochés à la structure au moyen d'attaches ductiles.
N.B. : les saillies de refends sont considérés comme favorables.
<b>Modèle pathologique</b> : éléments lourds en porte-à-faux important.
<b>Modèle tolérable</b> : porte-à-faux de faible portée en éléments non fragiles.

### 5.17. Caractéristique 8.1.B : "Second-œuvre/Fermetures"

Les fermetures ne participent pas à la résistance du bâtiment aux charges. Seule leur chute présente un danger pour les personnes.

Il convient donc de les fixer avec des pièces ductiles correctement scellées et de prévoir des attaches pour les éléments mobiles.

<b>Modèle idéal</b> : attaches ou gonds ductiles correctement scellés
<b>Modèle pathologique</b> : attaches ou gonds fragiles ou insuffisamment scellés
<b>Modèle tolérable</b> : néant

### 5.18. Caractéristique 8.2.B : "Second-œuvre/Cloisons"

Lors des tremblements de terre, les cloisons sont souvent endommagées ou détruites. Or il est impératif d'éviter l'effondrement des cloisons délimitant les couloirs, les cages d'escalier et d'une manière générale toutes les issues, dont l'obstruction pourrait piéger les usagers à l'intérieur des bâtiments.

De même, l'intégrité des cloisons situées à proximité des équipements essentiels et celle des cloisons supportant des réseaux d'eau, de gaz, d'électricité ou de téléphone, doit être préservée.

La destruction des cloisons est due à la mise en charge par la structure déformée. Les cloisons situées entre des poteaux sont donc très vulnérables.



Pour la conception des cloisons, deux démarches différentes peuvent être adoptées:

- lier rigidement les cloisons à la structure,
- désolidariser mécaniquement les cloisons des éléments porteurs en les fixant de manière à autoriser des déplacements relatifs par rapport à la structure et à maintenir leur stabilité vis-à-vis des forces perpendiculaires à leur plan.

La première démarche est utilisée en général pour les cloisons en maçonnerie. Celles-ci ne doivent pas présenter de bords libres. Leur liaison avec d'autres cloisons doit se faire par harpage alterné à tous les lits.

Les Règles PS 69 précisent que la surface des panneaux délimitée par les éléments verticaux d'appui (cloisons ou murs perpendiculaires à la cloison considérée, éléments d'ossature ou potelets) ne doit pas dépasser, ouvertures comprises, 14 m<sup>2</sup>, sans que la plus grande dimension puisse excéder 5 m, ni la diagonale cent fois l'épaisseur brute.

Les cloisons ne régnant pas sur toute la hauteur de l'étage doivent être encadrées par des éléments de béton armé, métal ou bois, solidarisés entre eux et liés au gros-oeuvre.

Notons que les cloisons lourdes et rigides, d'une épaisseur brute égale ou supérieure à 10 cm et efficacement liées à la structure, contribuent à la stabilité des constructions vis-à-vis des charges latérales. Dans ce cas, il est impératif qu'elles n'entraînent pas une dissymétrie du contreventement. En effet, le centre de rigidité de chaque niveau doit rester proche de son centre de gravité, par lequel passe la résultante des charges sismiques.

La deuxième démarche est recommandée dans le cas des ossatures flexibles et d'une manière générale dans les zones de très forte sismicité. Le découplage de la structure est aisément réalisé avec des cloisons sèches en plaques de plâtre. Dans le cas des cloisons placées entre des poteaux, il est possible d'encoffrer ces derniers afin d'éviter leur interaction avec la cloison.

La notation de la caractéristique "Cloisons" est :

**Modèle idéal** : pour les cloisons en maçonnerie, une liaison efficace avec la structure (cas de structures rigides); pour les autres types de cloisons ou pour une structure flexible (en acier par exemple), un découplage mécanique de la structure porteuse par des attaches ductiles, aptes à assurer la stabilité de la cloison.

**Modèle pathologique** : cloisons rigides et fragiles (maçonnerie), solidaires d'une ossature flexible (acier p. ex).

**Modèle tolérable** : cloisons sèches en plaques de plâtre ou panneaux légers, solidaires d'une structure rigide.

### 5.19. Caractéristique 8.3.B : "Second-œuvre/Revêtements"

Les revêtements souples et élastiques sont recommandés: tissus muraux, moquettes, revêtements vinyliques, liège, etc. Par contre, les revêtements fragiles solidaires des murs et des poteaux sont à éviter: carreaux ou dalles en terre cuite, en verre ou en pierre, éléments décoratifs en béton, etc. Leur éclatement sous l'action sismique est fréquent.

Les habillages en éléments fragiles ne peuvent être utilisés que s'ils sont montés sur des supports autoportants, mécaniquement indépendants de la structure, ou fixés avec des agrafes pouvant absorber les déformations de leur support (dalles de pierres agrafées p. ex.).

Quant aux enduits intérieurs et extérieurs, l'utilisation d'adjuvants anti-fissuration est recommandée.

Notation de la caractéristique "Revêtements" :

<b>Modèle idéal</b> : revêtements muraux et de sol souples et élastiques.
<b>Modèle pathologique</b> : revêtements muraux fragiles solidaires de leur support.
<b>Modèle tolérable</b> : revêtements muraux fragiles découplés de leur support et reliés à celui-ci par des attaches ou agrafes ductiles, revêtements de sol lourds.

### 5.20. Caractéristique 8.4.B : "Second-œuvre/Menuiseries"

En zone sismique, les menuiseries présentent principalement deux sortes de danger: blocage de portes lors des déformations de la structure et éclatement de baies vitrées.

Les portes bloquées en position fermée pouvant piéger des personnes à l'intérieur des locaux du bâtiment, il convient de mettre au point des dispositifs antiblocage, permettant de dégager le vantail. Des attaches de sécurité devraient être prévues pour les portes coulissantes.

L'éclatement de vitrages est un phénomène particulièrement dangereux. Des précautions de protection contre les bris de glace devraient être prises. Par conséquent, l'utilisation de verres feuilletés est fortement recommandée. On peut également prévoir des films plastiques transparents adhérents aux vitrages.

Le montage des vitrages doit permettre la réalisation d'un jeu entre le verre et le cadre. Ceci peut être obtenu par des cales en matériaux résilients.

La notation de la caractéristique "Menuiseries" est donc:

<b>Modèle idéal</b> : portes munies de dispositifs antiblocages; vitrage feuilleté ou comportant un film plastique adhésif, monté sur cales résilientes.
<b>Modèle pathologique</b> : vitrage en verre de qualité courante.
<b>Modèle tolérable</b> : portes sans dispositif antiblocage, vitrage de type "trempé" monté sur cales dures peu résilientes.

## 6 Confrontation des solutions-types

La lecture conjointe des deux textes relatifs au point de vue "contrôle climatique" et au point de vue "contrôle parasismique" conduit aux commentaires suivants, caractéristique par caractéristique :

### 6.1. Caractéristique "Relation au site/Morphologie"

Le "modèle idéal" parasismique requiert un terrain plat, qui soit ferme, et non exposé aux effets induits des séismes (glissement, effondrement ou éboulement de terrain, avalanches, décrochage de glacier ...etc) : on peut observer tout d'abord que les qualités de "fermeté" et de "non-exposition aux effets induits des séismes" sont indifférentes au point de vue "bioclimatique".

Par contre, la position "en sommet de relief" du "modèle pathologique" parasismique, est "tolérable" en "bioclimatique": c'est donc une solution plutôt à éliminer.

Enfin, "le modèle tolérable" parasismique implanté sur une faible pente convient parfaitement au "modèle idéal bioclimatique", à condition que l'orientation de la pente soit au quart SUD. Il y a donc là possibilité d'une assez bonne concordance.

### 6.2. Caractéristique "Relation au site/Nature du sol"

Les sols meubles sont "tolérables" en conception parasismique, alors qu'ils sont "idéaux" en thermique pour assurer une éventuelle fonction de stockage de chaleur (ou de réserve de fraîcheur en été). Il y a donc une différence d'appréciation.

Par contre, dès qu'ils sont susceptibles d'être mouillés (présence d'une nappe phréatique), les sols meubles sont à rejeter dans les deux cas. Il y a sur cet aspect négatif une bonne concordance.

### 6.3. Caractéristique "Forme générale"

Le "modèle idéal" parasismique requiert des formes "simples", "symétriques selon deux axes" et "compactes". Cela recouvre bien la "compacité" requise également pour le modèle idéal bioclimatique. Il faut cependant remarquer que l'exigence parasismique va plus loin puisqu'elle parle aussi de géométrie : les formes en L, T, U, V, X, Z sont écartées nommément en l'absence de joints parasismiques, alors que l'exigence bioclimatique ne porte que sur une valeur numérique sans dimension qu'est le coefficient de compacité  $C_p$ . Néanmoins, le  $C_p$  de ces formes

en question ne conviendra sans doute pas aux exigences bioclimatiques ("modèle idéal"). On peut considérer qu'il y a convergence sur ce modèle.

Le "modèle pathologique" parasismique comprend les constructions de forme irrégulière possédant un centre de gravité élevé, dépassant la mi-hauteur. L'"irrégularité" peut être considérée comme "pathologique" en bioclimatique, par l'intermédiaire de Cp. La question de la hauteur du centre de gravité évoque plutôt des formes telles que cônes ou pyramides inversés, elles aussi peu favorables sur le plan bioclimatique. Il y a encore convergence.

Enfin, le "modèle tolérable" parasismique admet des constructions "d'aspect complexe mais recoupées en blocs symétriques par des joints parasismiques", qui, globalement, vont inévitablement détériorer la valeur de coefficient de compacité et faire passer cette solution en modèle "pathologique". Cette question est à approfondir.

#### 6.4. Caractéristique "Volumes intérieurs"

Il n'y a pas de contradictions sur cette caractéristique. Il y a donc surtout des spécificités en "modèle pathologique" parasismique : "mezzanine solidaire de la structure sans mesure adéquate; hauteurs d'étage très différentes".

#### 6.5. Caractéristique "Distribution intérieure"

Aucune contradiction non plus sur cette caractéristique. Les exigences parasismiques portent essentiellement sur les circulations, alors que les "bioclimatiques" portent sur les pièces (orientation, possibilités de ventilation). Il faut donc relever les spécificités de chaque critère, notamment en matière de "modèle pathologique".

#### 6.6. Caractéristique "Implantation/Orientation"

L'orientation ne fait l'objet d'aucune contradiction. Les exigences parasismiques se satisfont de n'importe quelle orientation, à la différence des exigences bioclimatiques, qui imposent donc leurs spécificités, notamment en matière de "modèle pathologique" (orientation côchées -2 et -1 sur le diagramme).

#### 6.7. Caractéristique "Implantation/Relation environnement"

Pas de contradiction sur cette caractéristique. Il est intéressant de noter une concordance, sur le "modèle tolérable": "constructions mitoyennes séparés par un joint rempli de polystyrène de 4cm d'épaisseur minimum". Il est admis en thermique qu'en cas de mitoyenneté, on remédie au "vol de calories" par l'intermédiaire d'un isolant dans le mur de séparation.

On doit donc respecter les spécificités, notamment pour les "modèles pathologiques": constructions mitoyennes mécaniquement liées" et "implantation dans les zones d'ombre des masques environnants les mois d'hiver".

#### 6.8. Caractéristique "Implantation/Relation au terrain".

Le plus remarquable sur cette caractéristique est la concordance parfaite des modèles. On a en effet:

- "Modèle idéal" : "Plancher sur terre-plein, avec isolation périphérique" pour le "bioclimatique", et "soubassement en voiles de béton armé, sans vide sanitaire" (parasismique).
- "Modèle pathologique": "Plancher bas sur pilotis" (bioclimatique) et "Rez de chaussée transparent sur pilotis" (parasismique).

Le vide sanitaire constitue le "modèle tolérable" dans les deux cas.

Ainsi, l'un des grands signes de l'architecture moderne, la construction sur pilotis ("villa Savoye", Cité Radieuse) est considéré comme introduisant une "pathologie" si on l'analyse à la fois du point de vue bioclimatique et parasismique.

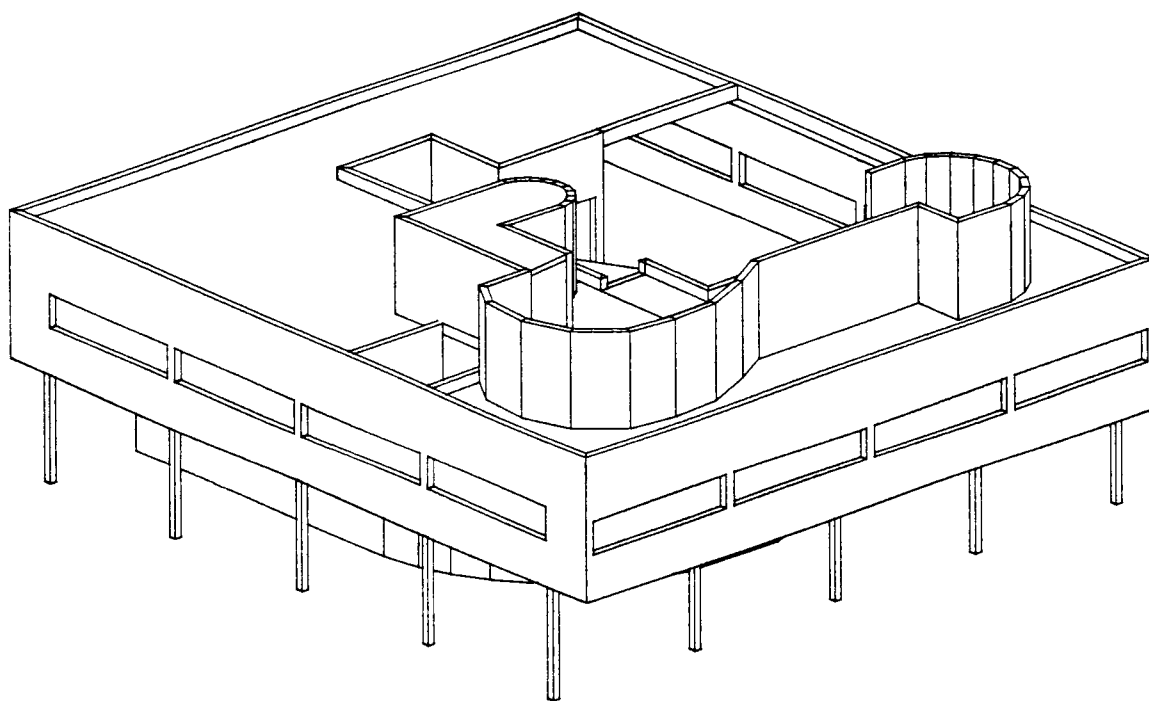


Fig. .22: Exemple d'habitation construite sur pilotis : la villa Savoye à Poissy (Le Corbusier) : construite dans un climat plus rigoureux et dans une zone de risque sismique, elle constituerait un modèle très inadapté.

### 6.9. Caractéristique "Structure/système porteur"

Le "modèle idéal" parasismique doit avoir pour caractéristique de posséder un système porteur hyperstatique, symétrique, régulier et homogène, avec une période propre d'oscillation très différente de celle du sol : par exemple, sa structure doit être rigide lorsqu'il est implanté sur un sol meuble. Rien ne vient contrarier fondamentalement les exigences bioclimatiques qui se traduisent par la capacité de porter des masses thermiques en plancher et en refends. Ces caractéristiques sont donc plutôt à classer dans la catégorie des "spécificités", de même que celles du "modèle pathologique" parasismique (irrégularité du système porteur).

La structure flexible (sur sol meuble) évoque par contre une probable insuffisance d'inertie thermique : les modèles pathologiques ont ici une "solution" commune.

Le "modèle tolérable" parasismique est également le "modèle tolérable" bioclimatique: faibles écarts par rapport à la symétrie et possibilité de structure rigide (sur sol ferme). Il y a donc, dans l'ensemble, une bonne concordance sur cette caractéristique.

### 6.10. Caractéristique "Structure/contreventement"

Le modèle idéal parasismique comporte des diaphragmes rigides qui peuvent être des planchers lourds, déjà souhaités en modèle idéal bioclimatique. Il en va de même avec les refends, qui offrent l'avantage en "bioclimatique" d'être totalement intérieurs à l'espace habitable.

Le "modèle pathologique" parasismique comprend par exemple des planchers bois dans une construction maçonnerie, ce qui n'est guère souhaitable non plus du point de vue bioclimatique (pensons aussi à l'acoustique).

Quant au modèle "tolérable", il admet des planchers béton armé dans une ossature bois, qui améliorent sensiblement la performance des constructions en ossature bois, mal notées sur le plan bioclimatique, et confèrent à l'ensemble le caractère de "modèle tolérable" bioclimatique.

Il y a aussi sur cette caractéristique une assez bonne concordance des modèles.

### 6.11. Caractéristique "Structure/éléments constructifs"

Les exigences issues des deux critères ne portent pas sur les mêmes points. La forme de ces éléments est le seul point commun: elle est associée à la fonction "descente des charges" en parasismique, et au "rapport surface d'enveloppe/capacité de stockage" (sorte de coefficient de forme) en bioclimatique (à condition que ces éléments constructifs soient en maçonnerie).

Il y a donc lieu de respecter avant tout les spécificités de chaque critère (modèles pathologiques).

#### 6.12. Caractéristique "Structure/fondations"

Les fondations sont indifférentes en bioclimatique (dans la mesure où elles ne sont pas en relation avec le type de plancher bas), alors qu'elles sont soumises à un cahier des charges précis en parasismique. Ce sont bien entendu les spécificités parasismiques qui doivent être prioritaires, notamment le modèle pathologique : "Fondations isolées (superficielles ou profondes) non reliées par des longrines".

#### 6.13. Caractéristique "Matériaux"

Le problème des matériaux nécessite un traitement sous forme de tableau, vu le nombre élevé de caractéristiques mises en jeu. Les tableaux relatifs aux matériaux sont donnés dans les pages suivantes.

Matériaux	Caractéristiques physiques									
	Résistance mécanique	Résistance/masse	Rigidité	Résilience	Ductilité	Ténacité	Endurance	Aptitude assembl. rigides	Conductivité	Chaleur volumique ***
Acier	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0
Aluminium	3	3	2	3	3	2	2	2	3	0
Bois	3	3	1	3	1	3	3	1	1	1
Béton armé	3	1	3	0	1 à 3	2	2	3	3	3
Pierre	1	1	1	2	0	0	0	2	3	3
Terre compactée	1	1	1	3	1	0	0	0	3	3
Béton non armé	0	1	2	0	0	0	0	0	3	3
Agglos, briques **	1	1	1	2	0	0	0	2	3	3

## Notation des valeurs :

0 = nulle ou négligeable  
 1 = faible  
 2 = moyenne  
 3 = élevée

 Valeur correspondant au modèle idéal dans le critère concerné

\* selon la dimension et le ferrailage

\*\* avec chaînages horizontaux et verticaux

\*\*\* compte tenu de l'épaisseur normalement mise en œuvre

Fig. 23: Tableau des caractéristiques physiques des matériaux: sélection des valeurs correspondant au "modèle idéal" dans chaque critère.

Sur ce tableau, les matériaux "idéaux" sont ceux qui comptent le plus de cases en grisé : l'acier est dans ce cas, mais il est absent dans les deux dernières colonnes relatives au critère "bioclimatique". Le meilleur matériau après l'acier, présent en "bioclimatique", est le bois.

En fait, les matériaux peuvent s'employer en complémentarité : ce tableau permet de d'associer les matériaux pour obtenir des ensembles répondant correctement aux deux critères. Par exemple, une structure acier peut accueillir des éléments en béton non armé ou en briques, sous réserve de prendre les précautions concernant les liaisons.



Matériaux	Caractéristiques physiques									
	Résistance mécanique	Résistance/masse	Rigidité	Résilience	Ductilité	Ténacité	Endurance	Aptitude assembl. rigides	Conductivité	Chaleur surfacique ...
Acier	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0
Aluminium	3	3	2	3	3	2	2	2	3	0
Bois	3	3	1	3	1	3	3	1	1	1
Béton armé	3	1	3	0	1 à 3	2	2	3	3	3
Pierre	1	1	1	2		0	0	2	3	3
Terre compactée	1	1	1	3	1	0	0	0	3	3
Béton non armé	0	1	2	0	0	0	0	0	3	3
Agglos, briques **	1	1	1	2	0	0	0	2	3	3

Notation des valeurs :  
 0 = nulle ou négligeable  
 1 = faible  
 2 = moyenne  
 3 = élevée



Valeur correspondant au modèle pathologique dans le critère concerné

- \* selon la dimension et le ferrailage
- \*\* avec chaînages horizontaux et verticaux
- \*\*\* compte tenu de l'épaisseur normalement mise en œuvre

Fig. 24: Tableau des caractéristiques physiques des matériaux: sélection des valeurs correspondant au "modèle pathologique" dans chaque critère.

La même opération peut être faite pour les modèles pathologiques; mais ici aussi la composition des parois permet de résoudre les contradictions.

#### 6.14. Caractéristique "Nature façades"

Le "modèle idéal" parasismique se satisfait soit de façades en béton armé, soit de façades légères découplées de l'ossature. Si la première solution est favorable sur le plan bioclimatique, il n'en va pas de même pour la seconde qui est plutôt considérée comme "pathologique" : la légèreté en elle-même d'une part, et surtout la largeur des joints, génératrice de ponts thermiques (et phoniques), d'autre part, rendent cette deuxième solution difficilement acceptable.

Pour le "modèle pathologique" parasismique, la solution évoquée (par exemple, murs de briques lié à une ossature flexible de type métallique ou bois) est tolérable en bioclimatique: ces éléments de façade peuvent apporter l'inertie thermique manquante dans une ossature bois ou métal.

Par contre, le "modèle tolérable" parasismique est, lui, idéal en bioclimatique, grâce aux façades lourdes qui le composent. Le chaînage et l'armature demandés ne constituent aucunement un obstacle sur le plan bioclimatique.

Sur cette caractéristique, il y a donc diversité de relations entre les modèles.

#### 6.15. Caractéristique "Perçements"

Le "modèle idéal" parasismique doit avoir des perçements de forme simple, superposés, éloignés des angles, séparés entre eux par des trumeaux d'au moins 1m : ces caractéristiques n'ont pas grande conséquence en bioclimatique et peuvent être versées au dossier "spécificités". Par contre, leur surface cumulée représentant au maximum 30% de la surface totale de la façade, et surtout leur répartition uniforme sur les différentes façades sont des caractéristiques sur lesquelles il faut s'attarder :

- La limitation du pourcentage de perçements ne peut être jugée qu'en référence à la profondeur des locaux situés en façade : un local profond nécessitera un pourcentage nettement plus élevé qu'un local de faible profondeur. Il y donc là une interaction avec l'organisation interne de l'édifice.

- l'équi-répartition des perçements selon les façades est contradictoire avec la tendance à la concentration en façade SUD recommandée pour le "modèle idéal" bioclimatique.

Le "modèle pathologique" parasismique comprend, lui, des caractéristiques relatives au "modèle idéal" bioclimatique" : la concentration des perçements sur certaines façades et la grande surface de certains de ces perçements.

Enfin , les modèles "tolérables" des deux points de vue sont voisins : dépassement du taux de 30%, mais avec une répartition telle que les perçements de la façade la

moins ouverte et de la plus ouverte soient dans un rapport de 50 % (par exemple respectivement 30% pour l'une et 45% pour l'autre).

#### 6.16. Caractéristique "Saillies de façades"

Le "modèle idéal" parasismique élimine tout porte-à-faux, ce qui est favorable aussi en thermique, puisque cette technique entraîne des ponts thermiques et est considérée comme pathologique en bioclimatique. Par contre, il autorise les saillies de refends qui sont également considérées comme pathologiques, en climat de montagne, pour les mêmes raisons que les porte-à-faux. L'utilisation d'éléments légers accrochés est par ailleurs souhaitable dans les deux cas.

Le modèle pathologique parasismique est constitué justement de porte-à-faux importants et correspond donc au modèle pathologique bioclimatique.

Les modèles tolérables parasismique et bioclimatique ont aussi une assez bonne concordance.

#### 6.17. Caractéristique "Second-œuvre/Fermetures"

Le peu d'exigences parasismiques relatives aux fermetures laisse pressentir qu'il n'y aura pas de contradiction sur cette caractéristique. Les "gonds ou attaches ductiles correctement scellés" peuvent être associés à la "position extérieure, matériau isolant, couleur claire avec position entr'ouverte décollée du vitrage".

#### 6.18. Caractéristique "Second-œuvre/Cloisons"

Les cloisons lourdes souhaitées pour le critère bioclimatique doivent être bien liaisonnées avec la structure pour le critère parasismique: il n'y a là rien de contradictoire.

Les cloisons légères, pathologiques en bioclimatique si elles se trouvent dans un local ensoleillé, sont tolérables en parasismique (cas des cloisons solidaires d'une structure rigide) ou idéales (si elles sont désolidarisées). Il peut donc y avoir ici une contradiction.

#### 6.19. Caractéristique "Second-œuvre/Revêtements"

Les contradictions dominent sur cette caractéristique: les revêtements "souples et élastiques" en murs et en sols du "modèle idéal" parasismique ne sont pas compatibles avec les revêtements "conducteurs" du modèle idéal bioclimatique.

Il en va de même des modèles pathologiques : revêtements fragiles et solidaires d'un côté, revêtements isolants de l'autre.

Seuls, les modèles tolérables ont une correspondance : les revêtements lourds en sol.

### 6.20. Caractéristique "Second-œuvre/Menuiseries"

L'étanchéité des menuiseries, leur mode d'ouverture, et le type de vitrage qu'elles peuvent porter, n'exclut pas qu'elles puissent être dotées de dispositifs anti-blocage et porter du vitrage feuilleté.

Le "blocage", évoqué dans chaque critère, n'est pas le même: en bioclimatique, il s'agit d'un blocage en position ouverte, empêchant les vantaux de battre sous l'effet d'un courant d'air. En parasismique, il s'agit d'éviter que les menuiseries restent bloquées en position fermée.

## 7. Conclusions et perspectives d'avenir

En l'état actuel d'avancement, la conclusion est toute provisoire : les modèles ont été composés à partir d'un état du savoir "minimum" à l'instant où l'expertise se faisait. Certaines solutions, proposées pour le "parasismique", n'ont pu être vraiment analysées dans leur contexte. Les diagnostics thermiques ont été faits "à priori", c'est à dire à partir d'extrapolations de ce qui est connu.

Cette première exploration permet quand même de localiser les problèmes de contradiction: par exemple, les façades légères, la répartition des percements ou les saillies de refends.

Puisque les contradictions existent, sur un certain nombre de caractéristiques, la suite de l'étude devra donc être consacrée à la réduction de ces contradictions.

Cette réduction pourra être faite de deux manières différentes :

- soit par élimination pure et simple de la solution-type défailante,
- soit par une concession, c'est à dire, en fait, un "déclassement" de la solution-type par modification de son contenu, ou par re-appréciation de son aptitude à fournir la performance requise.

Dans le premier cas, le risque existe que le "modèle de synthèse" soit vide, ou ne laisse que trop peu de latitude au concepteur.

Dans le deuxième cas, sans doute celui qui sera le plus pratiqué, il faudra disposer de la hiérarchie d'influence des caractéristiques qui composent les solutions-types. Cette hiérarchie d'influence est précisément ce que permettent d'obtenir les études sur les "lois de corrélation" que l'on peut établir par simulation, comme cela a été fait pour les "besoins d'énergie" et le "confort d'été".

La première action à entreprendre consistera donc à tester sur le plan thermique ces solutions "venues d'ailleurs", c'est à dire du "parasismique", avec les moyens de calculs existants ou futurs.

Bien sûr, ce type d'étude devra être étendu à des climats précis, parmi ceux que l'on rencontre dans les zones sismiques identifiées dans le Bassin méditerranéen, en s'efforçant de tenir compte des techniques de construction locales.

Mais l'analyse d'édifices "bioclimatiques" sous l'angle parasismique devra aussi être faite. Cela nécessitera de hiérarchiser les "paramètres de conception" (c'est à dire les "caractéristiques" de la grille).

D'autres formes d'habitat devront aussi être analysées: logement collectif, bâtiments tertiaires.

Enfin, des analyses croisées devront être entreprises sur des "références architecturales", non pour ajouter des arguments à la "critique architecturale", mais pour faciliter la pénétration de ces concepts plutôt d'ordre "technique" chez les architectes.

**Bibliographie:**

"5000 Maisons solaires". Conception et rédaction : Jean-Pierre FRANCA et Jean-Pierre BAILLON. Editions du Moniteur, Paris. 1983.

"Architecture parasismique". Milan ZACEK. Editions Parenthèses, Marseille. A paraître Mars 1990.

"Atlas Climatique de la construction". Laure CHEMERY, Philippe DUCHENE-MARULLAZ. CSTB. Février 1987

"Bilan de la production architecturale bioclimatique en France". Roger DABAT, M. STEVE. Rapport de recherche Groupe ABC, Ecole d'Architecture de Marseille. Décembre 1985.

"Building configuration seismic design". Christopher ARNOLD, Robert REITHERMAN. John Wiley & sons, New York. 1982.

"European passive solar handbook; basic principles and concepts for passive solar architecture". Rédaction principale: Patrick ACHARD et Renaud GICQUEL. Commission of the European Communities, Directorate General XII for science, research and development.

"Guide de la construction parasismique des habitations individuelles", SEDIMA, Paris. 1982.

"Le risque sismique dans le SUD-EST de la France, mythe ou réalité?". Bertrand FENET. Conseil Régional Provence Alpes Côte d'Azur. Mai 1984

"Précis de climatologie". Ch. P. Péguy. Masson & Cie, Paris. 1970.

"Project monitor". Commission of the European Communities, Directorate General XII for science, research and development.

"Rôle de l'architecte en conception thermique des bâtiments; étude comparative de la sensibilité des paramètres architecturaux". Jean-Louis IZARD. Rapport de recherche Groupe ABC, Ecole d'Architecture de Marseille. Décembre 1985.