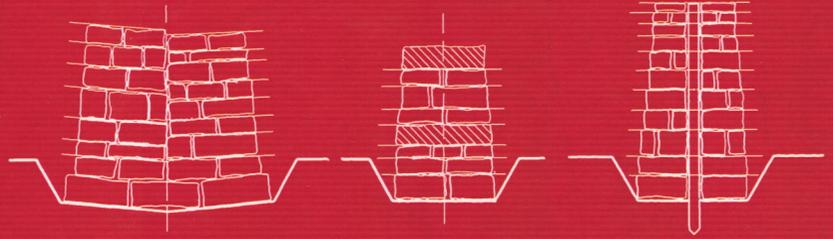
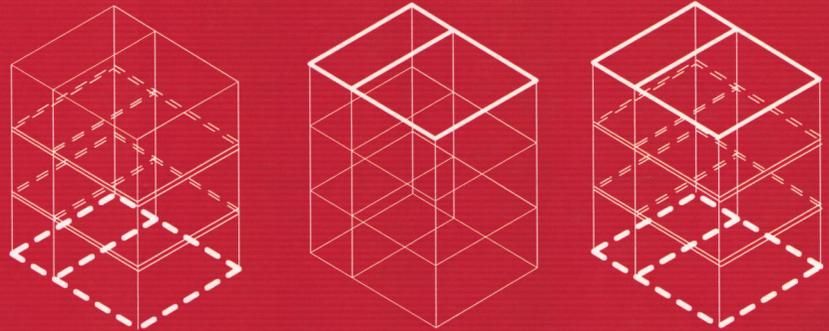
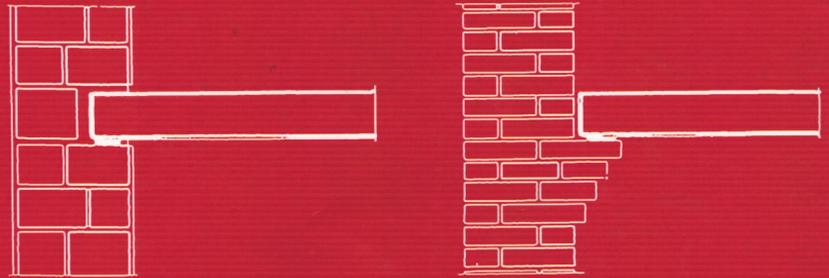


De la construction à l'architecture



LES STRUCTURES-POIDS



Sauf mention contraire, les photographies et les schémas sont de l'auteur.
Droits réservés pour les autres illustrations.

Conception de la maquette: Page B
Mise en pages: GraphieProd/Jean-Louis Liennard
Relecture: Jean-Louis Liennard
Adaptation des schémas: Lionel Auvergne

En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement le présent ouvrage, sur quelque support que ce soit, sans l'autorisation de l'Éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris.

© Groupe Eyrolles, 2015
ISBN Eyrolles: 978-2-212-13585-5

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	XIII
Introduction aux structures : L'invention constructive pour l'invention architecturale	1
CHAPITRE 1. DU MUR PAR EMPILEMENT À L'ENVELOPPE	
Du porteur au confort	7
1.1 De l'abri excavé au bouclier antimissile	8
1.1.1 La voûte en chaînette	10
1.1.2 Les lits et les angles de stabilité	13
1.2 Le mur autostable : de l'épaulement au raidisseur	15
1.2.1 L'assise du mur	15
1.2.1.1 <i>Rechercher le terrain porteur et préparer l'assise du mur</i>	16
1.2.1.2 <i>Éloigner le risque lié aux eaux d'infiltration</i>	17
1.2.1.3 <i>Éloigner le risque lié aux eaux de ruissellement</i>	18
1.2.2 Les diverses conceptions du mur autostable	19
1.2.2.1 <i>Les matériaux de grand format (le grand appareil, en œuvre)</i>	19
1.2.2.2 <i>Les matériaux de dimensions moyennes</i>	23
1.2.2.3 <i>Les matériaux de petites dimensions (petit appareil)</i>	25
1.2.2.4 <i>Les matériaux moulés</i>	29
1.2.3 La protection contre les efforts dynamiques	34
1.2.3.1 <i>Renversement</i>	35
1.2.3.2 <i>Ondoïement</i>	36
1.2.3.3 <i>Cisaillement</i>	38
1.3 La stabilité par la géométrie architecturale	38
1.3.1 L'îlot urbain	38
1.3.2 Le volume architectural	40
1.3.2.1 <i>Le cercle et le tronc de cône</i>	41
1.3.2.2 <i>Le cercle et le tronc de cylindre</i>	42
1.3.2.3 <i>Le parallélogramme et le parallélépipède</i>	42
1.3.2.4 <i>Les courbes</i>	45
1.3.2.5 <i>Les proportions</i>	45
1.3.3 La géométrie technique (mécanique)	48
1.3.3.1 <i>Les raidisseurs que le mur seul ne peut contenir</i>	48
1.3.3.2 <i>La mise en concordance des barycentres des masses et des torsions</i>	50
1.3.3.3 <i>La recherche des courbes les mieux adaptées aux portées non usuelles et aux déformations spéciales</i>	51

1.4	Le mur récent et contemporain : stabilité et habitabilité	52
1.4.1	Les matériaux de la stabilité	52
1.4.1.1	<i>Les murs et les piliers en maçonnerie</i>	53
1.4.1.2	<i>Les murs et les poteaux en béton</i>	73
1.4.2	Les apports à l'habitabilité	81
1.4.2.1	<i>L'étanchéité à l'eau</i>	81
1.4.2.2	<i>La ventilation dans la masse</i>	88
1.4.2.3	<i>L'absorption acoustique des bruits externes</i>	90
1.4.2.4	<i>La gestion thermique</i>	91
1.5	Exemples : dessins de complexes façades, planchers, terrasses ou charpentes	95
CHAPITRE 2. DU MUR DE REFEND AU POTEAU RAIDISSEUR PUIS PORTEUR		
	Vers une libération de l'espace intérieur	102
2.1	Du raidisseur encastré au pilier engagé	103
2.1.1	Le raidisseur en réponse aux déformations naturelles d'un mur	103
2.1.2	Du raidisseur d'angle au nez du mur de refend	105
2.1.3	L'invention du raidisseur intermédiaire	106
2.2	Du pilier engagé au contrefort	109
2.2.1	Un organe technique puissant : l'arc-boutant	110
2.2.1.1	<i>Homogénéité du comportement des raidisseurs</i>	110
2.2.1.2	<i>Inertie</i>	110
2.2.1.3	<i>Le pilier engagé : une architecture qui veut intégrer le contrefort</i>	111
2.2.2	Le contrefort : une architecture ?	112
2.3	Le raidisseur : une architecture	114
2.3.1	Une architecture en raidisseurs	114
2.3.2	Vers le portique	118
2.3.2.1	<i>Le colombage de poteaux et de poutres, initiateur du portique</i>	118
2.3.2.2	<i>Le portique en maçonnerie</i>	119
CHAPITRE 3. DE LA CEINTURE RIGIDE À LA CEINTURE SOUPLE		
	Transmission et équilibrage des charges dynamiques	121
3.1	La ceinture inventée pour relier et stabiliser les porteurs	124
3.1.1	La ceinture rigide : blocage des hauts de murs	124
3.1.2	Poutre régulatrice des pressions différentielles dans les murs	125
3.1.3	Organe de butée des fermes « poussantes » des charpentes et des porte-solives (ou des solives) des planchers	127
3.1.4	Fonction antiflambage et de régulation de la gestion des raideurs	128
3.1.5	La ceinture transmet la résultante des pressions aux porteurs	130
3.2	Rôle dans la gestion des raideurs	131
3.2.1	Règles élémentaires générales	131

3.2.2	Rôles impartis aux ceintures dans la gestion traditionnelle des raiders	132
3.2.2.1	<i>La ceinture confine les planchers</i>	133
3.2.2.2	<i>La ceinture est une poutre au vent</i>	133
3.2.2.3	<i>La ceinture module les besoins d'élasticité des édifices en régions sismiques</i>	133
3.2.2.4	<i>La ceinture accompagne l'énergie reçue sur tous les porteurs</i>	133
3.2.2.5	<i>Ses liaisons aux porteurs briment la déformation de la structure par l'intermédiaire des nœuds</i>	135
3.2.2.6	<i>Son élasticité dissipe une partie de l'énergie reçue</i>	135
3.2.3	Dessin schématique de la ceinture	136
3.3	La ceinture dans la conception structurelle d'un édifice contemporain	137
3.3.1	Raidir les planchers et les couvertures	137
3.3.1.1	<i>Confiner le plan</i>	138
3.3.1.2	<i>Tendre le plan</i>	139
3.3.2	Synchroniser les modes de déformations de la structure globale d'un immeuble	139
3.3.3	Rendre la ceinture porteuse	140
3.4	Épilogue : Les murs de l'architecture	142
3.4.1	Le marquage d'un territoire	142
3.4.2	La mutation du mur en portique	144
3.4.3	Quand l'enveloppe s'est substituée au mur	146

CHAPITRE 4. LA FONDATION

	De la ceinture basse à l'encastrement	148
--	--	------------

4.1	Lecture des contraintes du terrain d'assise – Terrassements et soutènements	149
4.1.1	Connaissance du terrain d'assise	149
4.1.2	Lecture des résultats	152
4.1.3	Marges de décision	153
4.1.4	Types de fondations	153
4.1.4.1	<i>Fondations superficielles (jusqu'à environ 2,00 m de profondeur)</i>	153
4.1.4.2	<i>Fondations semi-profondes (jusqu'à 6,00–8,00 m de profondeur)</i>	154
4.1.4.3	<i>Fondations profondes (au-delà de 8,00–10,00 m de profondeur)</i>	154
4.1.5	Terrassements	155
4.1.5.1	<i>Préparation de surfaces</i>	155
4.1.5.2	<i>Pentes des fouilles et des talus</i>	155
4.1.5.3	<i>Profondeurs hors gel</i>	156
4.1.5.4	<i>Fouilles sur un terrain plat</i>	156
4.1.5.5	<i>Fouilles sur un terrain pentu au-delà de 5% : mode « tout en déblais »</i>	157
4.1.5.6	<i>Fouilles sur un terrain pentu : mode déblais/remblais</i>	158
4.1.5.7	<i>Fouilles sur un terrain pentu : tout en remblais</i>	158
4.1.6	Soutènements	160
4.1.6.1	<i>Porter une superstructure : le muret de soutènement transition entre la fondation et la superstructure</i>	160

4.1.6.2	<i>Contenir un terrain dont le front de fouille a un angle supérieur à celui de son glissement</i>	162
4.1.6.3	<i>Contenir les assises d'un édifice voisin</i>	165
4.1.7	Mécanismes de sollicitations des terrains par les fondations : les courbes d'isopression	166
4.2	Les fondations superficielles : interrelations assises et structures	167
4.2.1	Semelles filantes et murets de soutènement	167
4.2.1.1	<i>Un peu d'histoire</i>	167
4.2.1.2	<i>Les semelles filantes en béton armé</i>	171
4.2.1.3	<i>Les murets de soutènement sur semelles filantes</i>	174
4.2.1.4	<i>En conclusion</i>	177
4.2.2	Dés et longrines ou poutres	179
4.2.2.1	<i>Quelques définitions</i>	179
4.2.2.2	<i>Longrines (ou poutres) et dés</i>	180
4.2.2.3	<i>Positions des longrines (ou des poutres) par rapport à la dalle de sol, lorsqu'elle existe</i> ..	181
4.2.2.4	<i>Une longrine ou une poutre ?</i>	182
4.2.2.5	<i>Liaisons à la superstructure</i>	182
4.2.3	Radiers	184
4.2.3.1	<i>Reconstitution de sol d'assise et plateau simple</i>	185
4.2.3.2	<i>Conception en voûte inversée</i>	186
4.2.3.3	<i>Plateaux simples nervurés</i>	187
4.2.3.4	<i>Radier renforcé</i>	187
4.2.3.5	<i>Mise en état d'habitabilité du radier</i>	188
4.2.3.6	<i>Préparation des assises</i>	191
4.2.3.7	<i>Reprise d'étanchéité sur radier existant</i>	192
4.3	Les fondations profondes : interrelations assises et structures	195
4.3.1	Mécanisme des tassements de terrains	195
4.3.2	Historique sommaire des fondations semi-profondes	196
4.3.2.1	<i>Système par pilotis</i>	196
4.3.2.2	<i>Système par batardeaux</i>	198
4.3.2.3	<i>À propos des puits</i>	198
4.3.3	Fondations par puits	199
4.3.4	Autres modes de fondations dites semi-profondes	203
4.3.4.1	<i>Les minipieux</i>	203
4.3.4.2	<i>Les caissons pleins</i>	204
4.3.4.3	<i>Les caissons vides</i>	204
4.3.5	Contraintes architecturales du mode constructif par fondations semi-profondes	204
4.3.5.1	<i>La trame des puits et celle de la superstructure ne se correspondent pas</i>	205
4.3.5.2	<i>La trame des puits et celle de la superstructure se correspondent</i>	205
4.3.5.3	<i>Recherche contemporaine d'une solution compatible avec plusieurs programmes</i>	206
4.4	Les fondations profondes : interrelations assises et structures	206
4.4.1	Mécanisme des tassements de terrains	207
4.4.2	Historique sommaire des fondations profondes	207
4.4.2.1	<i>Tranchées comblées</i>	207

4.4.2.2	<i>Pieux forés</i>	208
4.4.2.3	<i>Pieux battus</i>	209
4.4.3	Principes constructifs et incidences sur la conception architecturale	210
4.4.4	Les divers types de pieux	211
4.4.4.1	<i>Recommandations sur les diamètres des pieux</i>	211
4.4.4.2	<i>Les types de pieux, leurs mises en œuvre et leurs modes de travail</i>	212
4.4.5	Parois moulées	231

CHAPITRE 5. LE PLANCHER : DE LA FLEXION SIMPLE AU RÔLE STRUCTURANT

	Du plancher portant au plancher technique	236
5.1	Histoire et évolution du plancher sur terre-plein	240
5.1.1	Apports du besoin de confort	240
5.1.1.1	<i>Problème de l'eau de pluie</i>	241
5.1.1.2	<i>Protection contre le ruissellement des eaux du terrain et des eaux de couverture</i>	241
5.1.2	Problème de la stabilité du muret périphérique	243
5.1.2.1	<i>Bloquer la voûte du sol et porter charpente et couverture</i>	243
5.1.2.2	<i>Empêcher les eaux de ruissellement d'entrer et évacuer les eaux de toiture</i>	246
5.1.2.3	<i>Limiter les remontées capillaires</i>	248
5.1.3	État actuel de la conception et limites de l'exécution	249
5.1.3.1	<i>Les structures des planchers sur terre-plein : la pose flottante</i>	249
5.1.3.2	<i>Étanchéité anticapillaire</i>	254
5.1.3.3	<i>Isolation thermique</i>	255
5.1.3.4	<i>La pose sur appuis</i>	256
5.1.4	Principe de la conception d'un plancher	257
5.2	Les différentes conceptions des planchers portés	258
5.2.1	Naissance et évolution du plancher porté	259
5.2.1.1	<i>Habitabilité</i>	259
5.2.1.2	<i>Stabilité du plateau</i>	259
5.2.1.3	<i>Transfert des charges vers la structure portante</i>	259
5.2.2	Histoire des techniques des planchers portés	262
5.2.2.1	<i>Le plancher en bois composé de poutres et d'un plateau</i>	262
5.2.2.2	<i>Le plancher maçonné composé avec voûtes</i>	273
5.2.2.3	<i>Le plancher monobloc avec poutraison, plateau et plafond</i>	276
5.2.2.4	<i>Le plancher porté contemporain</i>	276
5.3	Du plancher porté au plancher technique	289
5.3.1	Tenue au feu et fonction coupe-feu d'un niveau à l'autre	290
5.3.2	Résistance aux vibrations mécaniques	290
5.3.2.1	<i>Les vibrations provenant de la nature</i>	291
5.3.2.2	<i>Les vibrations provenant des vecteurs mécaniques extérieurs à l'immeuble</i>	292
5.3.2.3	<i>Les vibrations provenant des machines intérieures à l'immeuble</i>	292
5.3.2.4	<i>Les vibrations provenant des occupants</i>	293
5.3.3	Protection acoustique contre les bruits extérieurs et contre les transmissions internes	294

5.3.4	Absorption acoustique des bruits ambiants à l'intérieur d'un même volume	295
5.3.5	Isolation thermique entre deux niveaux non communicants	295
5.3.6	Régulation des températures	296
5.3.7	Intégration de la tuyauterie	296
5.3.8	Intégration des câbles (filerie) et des appareils électriques	296
5.3.9	Mobilité pour les mutations de fonctions	297
5.3.10	Adaptabilité aux surcharges par changement de programme	297
5.3.11	Visibilité pour les adaptations aux mutations et à la maintenance	298

CHAPITRE 6. LA CHARPENTE

	De la charpente-plancher à la charpente-structure	300
6.1	Du toit plat à la charpente	302
6.1.1	Structure du toit plat en pays à faible pluviométrie	302
6.1.1.1	<i>Recherche du dimensionnement le plus économique des pièces porteuses de la structure principale et de l'ossature secondaire</i>	<i>303</i>
6.1.1.2	<i>Liaison de la structure principale avec les murs et les poteaux de support</i>	<i>309</i>
6.1.1.3	<i>Conception raidie de l'ossature secondaire</i>	<i>312</i>
6.1.1.4	<i>Répartir les surcharges d'occupation souvent ponctuelles</i>	<i>316</i>
6.1.1.5	<i>Conception d'un système hypostyle</i>	<i>318</i>
6.1.2	Toit plat en pente en pays de moyenne et épisodiquement forte pluviométrie	323
6.1.2.1	<i>Blocage de la structure primaire</i>	<i>324</i>
6.1.2.2	<i>Blocage de l'ossature secondaire</i>	<i>324</i>
6.1.2.3	<i>Vers une conclusion</i>	<i>325</i>
6.2	Les charpentes de petite et de moyenne portée	326
6.2.1	De l'appui articulé à la triangulation : la charpente, un ensemble autostable	326
6.2.1.1	<i>Naissance et développement de la ferme triangulée</i>	<i>327</i>
6.2.1.2	<i>Répartir au mieux les pressions des pannes sur les arbalétriers</i>	<i>333</i>
6.2.1.3	<i>Réduire au minimum les sections des éléments constitutifs des fermes</i>	<i>334</i>
6.2.2	Les adaptations aux performances	335
6.2.3	Noues, arêtiers et croupes	340
6.2.4	Le tracé de la charpente	343
6.2.4.1	<i>Traitement d'exemple 1</i>	<i>343</i>
6.2.4.2	<i>Traitement d'exemple 2</i>	<i>344</i>
6.2.5	Charpente métallique simple : du toit plat au cintre et aux formes libres	344
6.3	Les charpentes de moyenne portée	346
6.3.1	L'invention de la ferme de moyenne portée	347
6.3.2	Les treillis	349
6.3.2.1	<i>Géométrie</i>	<i>350</i>
6.3.2.2	<i>Lecture technique des barres et des nœuds (liaisons)</i>	<i>351</i>
6.3.3	La conception des charpentes de moyenne portée	355
6.3.3.1	<i>Fermes à montants et diagonales</i>	<i>355</i>
6.3.3.2	<i>Fermes dites « à l'américaine » ou fermes treillis</i>	<i>356</i>

6.3.3.3	<i>Fermes en treillis métalliques</i>	357
6.4	Les charpentes de grande portée	359
6.4.1	Initiation aux grandes portées	359
6.4.1.1	<i>Naissance et évolution du problème des franchissements</i>	359
6.4.1.2	<i>Recherche de solutions pour enjamber la voûte gothique</i>	361
6.4.1.3	<i>Recherche d'encastres et d'autostabilité</i>	362
6.4.2	De l'idée du rein encastré à la maîtrise des grandes portées	364
6.4.3	La maîtrise des grandes portées	365
6.5	Les assemblages traditionnels des charpentes	368
6.5.1	Rappel du contexte	369
6.5.2	Les assemblages traditionnels	369
6.5.2.1	<i>Les assemblages de compression</i>	369
6.5.2.2	<i>Les assemblages de traction</i>	371
6.5.2.3	<i>Les assemblages à entures</i>	372
6.5.2.4	<i>Les assemblages par enfourchements</i>	374
6.5.3	Quelques assemblages en bois, spécifiques, anciens, sur les grandes portées	374
CHAPITRE 7. LA COUVERTURE		
	De la fonction à l'architecture	378
7.1	L'étanchement, première fonction d'une couverture	384
7.1.1	Étanchéité aux eaux tombantes	384
7.1.2	Régulation des effets des composantes climatiques	388
7.1.2.1	<i>Rayonnement solaire et lunaire, température</i>	388
7.1.2.2	<i>Vent et charge d'eau</i>	391
7.1.3	Modération des émissions sonores	392
7.1.3.1	<i>Absorption</i>	393
7.1.3.2	<i>Dissipation</i>	393
7.1.4	Sécurité contre les actions anthropiques et animales	394
7.1.4.1	<i>Accessibilité</i>	394
7.1.4.2	<i>Vulnérabilité</i>	394
7.2	Confort thermique	395
7.2.1	Isolation	395
7.2.1.1	<i>Couverture chaude</i>	395
7.2.1.2	<i>Couverture froide</i>	396
7.2.2	Lissage des amplitudes thermiques	396
7.2.3	Renouvellement d'air et flux	396
7.2.3.1	<i>Ventilation</i>	396
7.2.3.2	<i>Ventilation et réglementation incendie</i>	399
7.2.3.3	<i>Aération</i>	399
7.2.4	Gestion de l'énergie solaire	401
7.2.4.1	<i>Captage et stockage des apports naturels en mode passif</i>	402

7.2.4.2	<i>Restitution énergétique</i>	402
7.2.4.3	<i>Régulation</i>	403
7.3	Mises en œuvre	404
7.3.1	Supports de couverture	406
7.3.2	Tuiles d'argile et de béton	408
7.3.2.1	<i>Aperçu des différentes formes usuelles de tuiles d'argile</i>	409
7.3.2.2	<i>Les tuiles canal</i>	410
7.3.2.3	<i>Les tuiles à emboîtement</i>	419
7.3.2.4	<i>Les tuiles plates</i>	425
7.3.2.5	<i>Les écrans</i>	433
7.3.3	Schistes et bardeaux bitumés	434
7.3.3.1	<i>Les ardoises</i>	434
7.3.3.2	<i>Les bardeaux bitumeux</i>	441
7.3.4	Plomb, cuivre, zinc, plaques métalliques et matériaux synthétiques	446
7.3.4.1	<i>Les métaux portés et leurs supports : plomb, cuivre et zinc, acier inoxydable, aluminium..</i>	446
7.3.4.2	<i>Plaques métalliques et matériaux synthétiques rigides</i>	453
7.3.4.3	<i>Matériaux synthétiques</i>	466
7.3.5	Les plaques en verre	467
7.3.6	Étanchéité des terrasses et des toitures végétalisées	467
7.3.6.1	<i>Étanchéité des toits plats</i>	467
7.3.6.2	<i>Étanchéité des toitures végétalisées</i>	478
7.4	Habiter la toiture	479
7.4.1	Une pièce en plus en toiture	479
7.4.2	Du contrat paysager au contrat environnemental	480
7.5	Épilogue : Les toitures de l'architecture	481
7.5.1	Quand la toiture fait l'architecture	481
7.5.2	Quand le muret d'assise s'élève	483
7.5.3	Quand la charpente de la toiture découvre la triangulation	486
7.5.4	Quand la toiture s'aplatit	488
7.5.5	L'enveloppe ou le retour de la toiture en architecture	489

CHAPITRE 8. LES PERCEMENTS

	De l'aléatoire à l'enveloppe	490
8.1	Le percement : un évidement dans un plein	491
8.1.1	Le linteau	493
8.1.1.1	<i>La poutre porteuse</i>	493
8.1.1.2	<i>La poutre déchargée</i>	499
8.1.2	Les montants ou piédroits	509
8.1.2.1	<i>Accompagner les charges reçues et concentrées par le linteau</i>	509
8.1.2.2	<i>Pallier la pression latérale du mur</i>	511

8.1.3	Les poutres d'assise : le seuil et l'appui	512
8.1.3.1	<i>Recevoir les charges transmises par les montants</i>	513
8.1.3.2	<i>Contrecarrer le soulèvement réactif de la partie de mur sur laquelle l'édifice est posé (allège, soutènement)</i>	514
8.2	Première famille de percements : l'aléatoire	515
8.2.1	L'aléatoire créé par les interventions successives	516
8.2.1.1	<i>Suppression ou ouverture importante d'un refend ou d'une façade d'enveloppe</i>	517
8.2.1.2	<i>L'attention aux efforts verticaux de poinçonnement</i>	517
8.2.2	Une volonté de rupture avec la tradition des alignements	518
8.3	Deuxième famille : les alignements dissymétriques	522
8.3.1	Effet de perspective biaisé	522
8.3.2	Adaptation à l'organisation répétitive intérieure des fonctions et à la partition des locaux	523
8.4	Troisième famille : les alignements sur les lignes de structure	524
8.4.1	Percements construits dans un dédoublement de poteaux axés sur ceux du niveau bas de la superstructure	525
8.4.2	Vides en découpe dans un mur homogène assurant le rôle de poutre portée	526
8.4.3	Vides en découpe dans un mur homogène assurant le rôle de poutre portante	527
8.5	Quatrième famille : le jeu des points de concentration des efforts	527
8.6	Cinquième famille : la tentation du portique	529
8.7	Sixième famille : le masque	531
8.7.1	De la baie habillée à la relecture de la façade	532
8.7.2	La façade dédoublée	537
8.7.3	La façade circulée	541
8.7.4	La façade sans baie	544
8.8	Épilogue : Les fenêtres de l'architecture	546