

Guide du

2^e édition

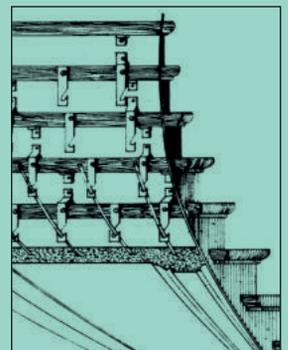
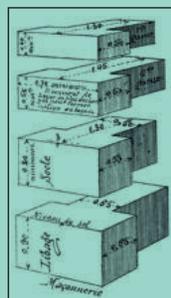
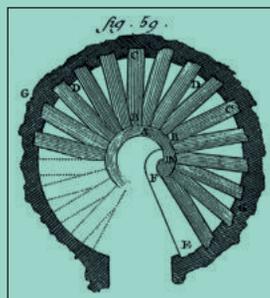
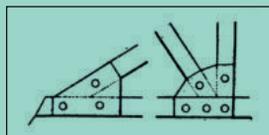
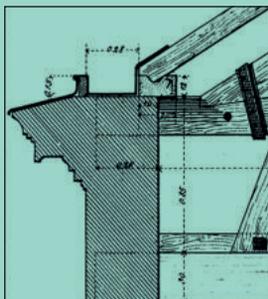
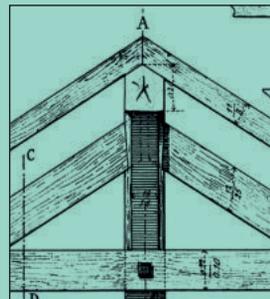
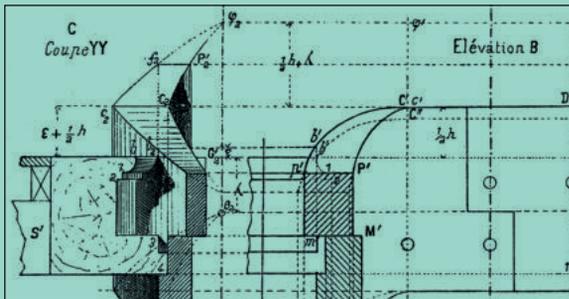
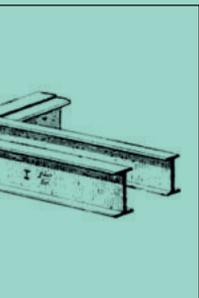
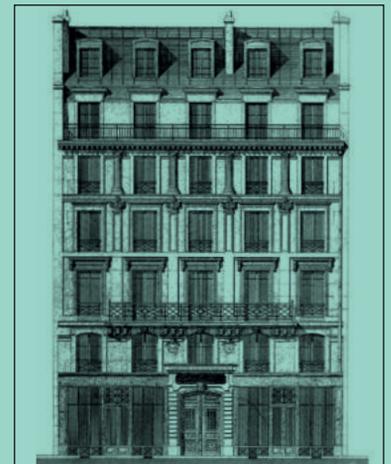
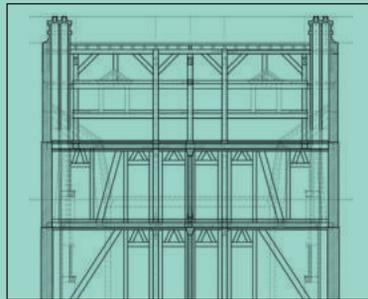
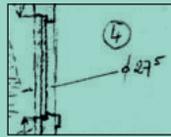
diagnostic des structures

dans les bâtiments d'habitation anciens

Jacques Fredet

Jean-Christophe Laurent

Ouvrages types
Capacité structurale
Pathologies



EDITIONS
LE MONITEUR

Sommaire

Avant-propos 7

Partie 1 **Reconnaissance du bâtiment par approximations successives** 9

1 Tour d'ensemble 11

2 Spécialisation fonctionnelle des parois 51

3 Variations de structure entre étages 87

4 Charpente du comble 93

5 Planchers et voûtes 127

6 Cages d'escalier 175

7 Seconde approximation : synthèse de la structure, élaboration des schémas statiques, détails d'ouvrages 197

Partie 2 **Principaux ouvrages de structure** 287

8 Murs et maçonneries 289

9 Paramètres de stabilité des murs 303

10 Éléments monolithes de section rectangulaire soumis à la flexion 317

11 Fondations 327

12 Calcul des voûtes 333

13 Pan de bois 345

14 Pan de fer 361

15 Planchers en bois 369

16 Planchers en fer 383

17 Escaliers 403

18 Charpente des combles 415

Partie 3	Cas courants de désordres et d'altérations statiques	431
19	Examen préalable du bâtiment comme totalité structurale	433
20	Fissures superficielles n'affectant pas la structure dans un premier temps	443
21	Désordres statiques dans les parois verticales.....	459
22	Désordres statiques dans les façades	503
23	Désordres statiques dans les parois de refend et les parois mitoyennes.....	571
24	Désordres statiques dans les planchers.....	587
25	Désordres statiques dans les charpentes de combles.....	615
26	Désordres statiques dans les niveaux de sous-sol	631
27	Désordres statiques dans les cages d'escalier	643
Partie 4	Diagnostic de la structure constructive	659
28	Exposé de la démarche	661
29	Étude de cas : descente de charge sur la façade d'un immeuble parisien du milieu du XIX ^e siècle	667
	Annexe – Caractéristiques des matériaux	681
	Lexique	701
	Bibliographie	719
	Sources des illustrations.....	723
	Index	725
	Table des matières.....	735

Tour d'ensemble

La reconnaissance du bâtiment a pour objet d'identifier par une série de visites approfondies les ouvrages à diagnostiquer, puis d'établir les documents qui permettent d'émettre des hypothèses sur la structure bâtie, ses matériaux et son degré de vétusté. Elle repose pour l'essentiel sur l'interprétation de signes observables sur le bâtiment lui-même et son entour. Procédant par approximations successives, elle privilégie les documents graphiques et la mémoire visuelle sous toutes leurs formes, par rapport au reportage photographique. Parmi ces documents, le « relevé » des ouvrages, tels qu'ils sont observés au cours des visites d'inspection, revêt une importance décisive.

Les bâtiments construits selon des procédés principalement « préindustriels » sont ici qualifiés d'« anciens », de « traditionnels », etc. Cependant, il ne faut pas confondre l'arrivée sur le marché, dès le XIX^e siècle, de matériaux industriels ou nouveaux tels que le fer, la fonte, le verre, puis le béton armé, etc. avec les procédés industriels de construction. En France, ces derniers se sont développés jusqu'à la Seconde Guerre mondiale dans le génie civil et les travaux publics (ponts, gares, grands halls d'exposition universelle, etc.) sans affecter la construction des maisons ordinaires, qu'elle soit privée ou publique. Même lorsque celle-ci incorpore des ouvrages en béton armé, les modes de mise en œuvre et les procédés utilisés jusqu'à cette date seront considérés comme « traditionnels », c'est-à-dire tels qu'ils étaient couramment pratiqués au cours des siècles précédents, et issus d'une lente évolution technique.

REMARQUE

L'exemple de Paris

Paris servira ici de référence typologique, autant par l'abondance que par l'ancienneté de son patrimoine bâti. Ses bâtiments ordinaires à usages résidentiel dans les étages et commercial au rez-de-chaussée se rencontrent dans la plupart des villes françaises. L'analyse et les raisonnements effectués à propos du patrimoine préindustriel de cette ville, plus complexe qu'ailleurs, doivent être transposés mutatis mutandis pour les procédés et matériaux locaux des autres aires géo-historiques des provinces françaises. Les exposés qui suivent se basent principalement sur ce genre de bâtiment de destination mixte.

Il est souhaitable de commencer l'enquête par un examen exhaustif du bâti dans son contexte topographique, viaire

et parcellaire, afin de s'en faire une idée ou image d'ensemble : position, taille, forme, distribution, état général de conservation. Avant même de se rendre sur place, il faut préparer sa visite en consultant le cadastre, accessible au public, et à chaque fois que possible, une cartographie rendant compte du relief général, même si celui-ci a été en partie modifié par l'urbanisation, auquel cas il doit être interprété.

Le site de Paris, par exemple, est profondément marqué par le déplacement du méandre de la Seine, la captation de la Bièvre, un sous-sol calcaire au sud et des bancs de gypse au nord. Les données géographiques et géologiques de ce type fournissent quantité d'indications sur les terrains urbanisés au cours des âges, sur leur salubrité, ainsi que sur leur aptitude à recevoir un bâti relativement dense, donc sur la probable capacité portante du sol d'assise dans le quartier où l'enquête doit se dérouler. La consultation de dictionnaires et de cadastres historiques renseigne aussi sur l'histoire de cette urbanisation, notamment celle du réseau viaire et des lotissements, parallèlement au développement des enceintes successives qui ne peut être ignoré.

Au lieu d'effectuer une visite hâtive, l'enquêteur⁽¹⁾ doit prendre du recul, faire un tour de l'îlot pour observer éventuellement des bâtiments similaires, aller voir les cours des bâtiments adjacents pour jeter un œil sur les murs mitoyens partiellement dégagés, et accéder éventuellement aux bâtiments voisins pour bénéficier d'une vue globale sur les façades et les toitures du bâtiment à diagnostiquer, sur ses noues, ses chéneaux, ses souches de cheminée, ses lucarnes, etc. Le voisinage peut délivrer indirectement nombre d'indications sur le bâtiment à relever : repérage des parties fortement exposées aux intempéries, murs de soutènement en amont de parcelle, possibilités d'infiltrations dans des sous-sols situés en

(1) L'enquêteur est ici celui qui effectue les observations in situ et qui élabore les documents graphiques du relevé et les schémas statiques, quelle que soit sa provenance (architecture, ingénierie, entreprise).

fond de cuvette, risques liés au mauvais entretien de bâtiments contigus, etc. Il est recommandé de ne jamais commencer par une enquête photographique. Les photographies viennent après un examen approfondi du bâti, lorsque l'on sait quoi photographier, et elles ne font que compléter d'autres formes d'observations (une description graphique ou écrite).

La première visite à l'intérieur du bâtiment et tout autour doit s'effectuer avec l'esprit disponible, de façon à percevoir les lieux dans leur globalité et à s'en imprégner. Il faut prendre le temps nécessaire à l'observation sans être embarrassé par une récolte de détails non hiérarchisés, préjudiciable à la compréhension d'ensemble. En fin de visite, il est recommandé d'effectuer un croquis de mémoire montrant la disposition générale des lieux. Tout ce qui ne peut être décrit ou dessiné à ce moment-là sera observé en priorité lors d'une visite ultérieure.

1.1 Disposition de l'édifice sur la parcelle foncière

L'enquêteur prépare ses fonds de plan à partir de documents cadastraux, notamment lorsque la parcelle foncière est de forme irrégulière. Il peut ainsi commencer le relevé sans avoir à établir préalablement une triangulation d'ensemble. Lorsque des triangulations complémentaires sont nécessaires, elles s'opèrent de préférence à l'intérieur des cours et autres intervalles non bâtis. Après l'examen du contexte immédiat et rapproché, l'étude se poursuit par la reconnaissance de l'implantation de l'édifice sur sa parcelle foncière. Les deux pôles formateurs sont la rue publique, définie par la limite séparative entre les domaines public et privé, et la cour principale, avec parfois la présence d'un jardin. Il faut distinguer deux sortes d'emprise :

- l'une se présente selon une implantation du bâti, isolée de toute part, comme dans la plupart des maisons suburbaines ;
- l'autre se fait en continuité avec les bâtiments voisins, selon un même alignement et un partage de limites communes bâties, par exemple le long d'une rue dans les parties denses d'une ville.

L'enquêteur effectue un croquis des corps de bâti et des cours à l'échelle du 1/200 (5 mm/m), les dimensions étant évaluées sur place (par exemple à l'aide de son propre « pas » étalonné) ou reportées à partir d'un cadastre les décrivant. Il doit en premier lieu prêter attention à l'« épaisseur » des corps de bâti, mesurée en « nombre de pièces traversantes ». Un corps de bâtiment est dit « simple » en épaisseur lorsqu'il ne contient qu'une seule pièce dans ladite épaisseur ; « semi-double », s'il contient une pièce et une distribution distincte ; « double », quand

il comprend deux pièces, et « triple », s'il en comporte trois (fig. 1.1).

Le croquis de la figure 1.2 met en évidence les traits suivants :

- la situation de la parcelle par rapport à la voirie et à l'îlot (parcelle d'angle, parcelle courante, parcelle en cœur d'îlot), mais aussi le relief (orographie, hydrographie), toujours perceptible par une comparaison avec l'horizontalité des bandeaux et des corniches, ainsi qu'avec le nivellement de la voirie⁽²⁾ ;
- l'accessibilité de la parcelle (simple, double accès), l'accès majeur établissant une polarisation, généralement par rapport à un « front » sur rue ;
- l'emprise au sol des corps de bâtiment et des intervalles non bâtis (cours, courettes, jardins) ;
- l'« alignement » ou la marge de reculement imposée par les règlements d'urbanisme, lorsque c'est le cas ;
- les « mitoyennetés », un régime juridique de copropriété des limites bâties, régissant la plupart des villes françaises, qui définit pour les murs communs des obligations réciproques entre voisins ;
- la forme euclidienne des limites et les dimensions de la parcelle foncière, mesurées sur le cadastre ou directement sur place ;
- l'épaisseur (simple, double ou triple) des corps de bâtiment (principal, secondaires), mesurée en nombre de pièces traversantes (fig. 1.3 à 1.11).

COMMENTAIRE

Manière de lire les plans des figures 1.3 à 1.11 : maisons ordinaires (xvii^e et xviii^e siècles)

Caractères morphologiques à noter : la largeur de parcelle foncière sur rue mesurée en nombre de travées de baies, la profondeur de la parcelle évaluée en nombre de corps de bâti entre rue et cours, l'épaisseur de chaque corps de bâti (simple ou double), la présence de refends longitudinaux, fréquemment construits en pan de bois et la position caractéristique de la cage d'escalier ainsi que de ses accès. Les descriptifs sommaires accompagnant les figures sont conçus pour familiariser le lecteur avec une morphologie spatiale et constructive du bâti établie par rapport à des types historiques répertoriés.

(2) Consulter les cartes adéquates : cadastre de la ville de Paris, service des carrières, coupes géologiques ayant accompagné des travaux antérieurs de fondation ; observer notamment les pentes des caniveaux de la voirie (avaloirs, bouches d'arrosage donnant les poins bas et hauts), etc.

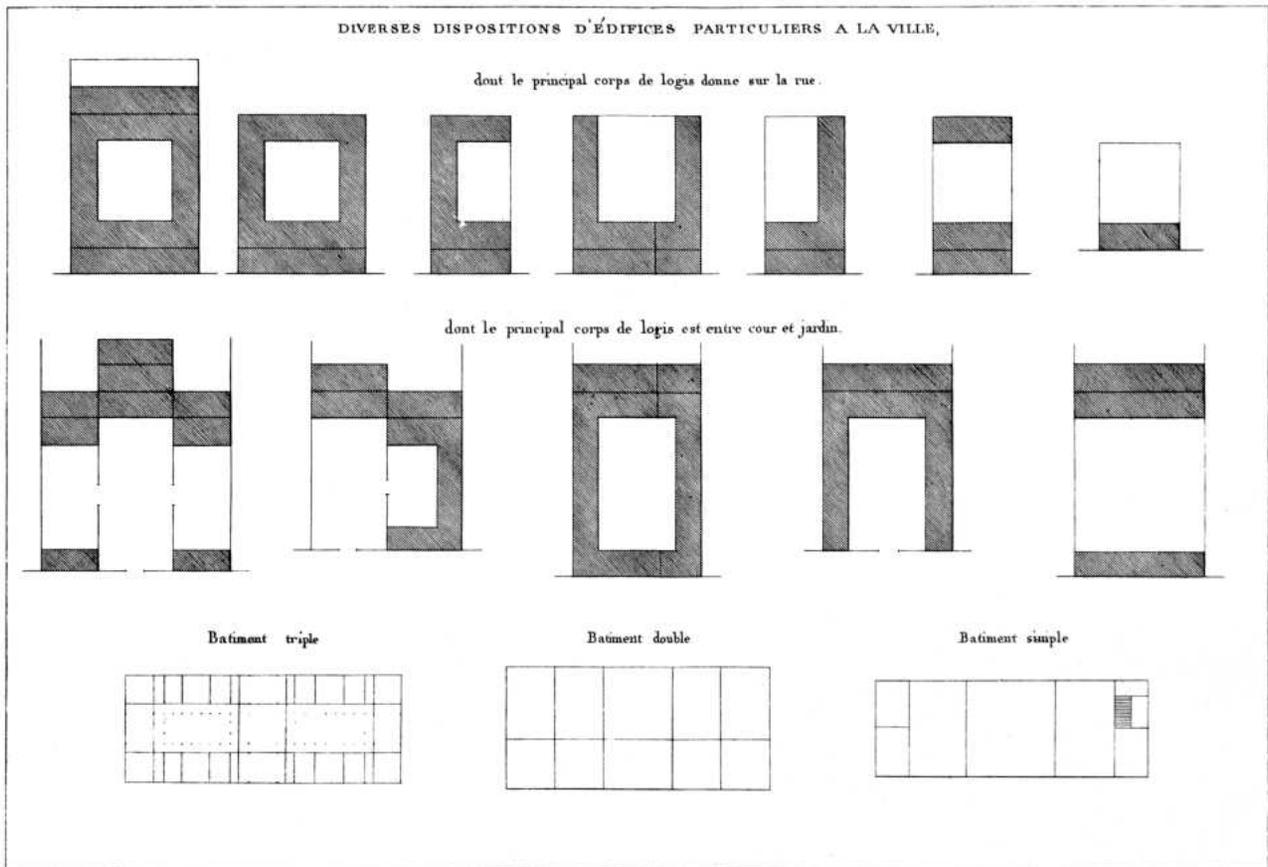


Fig. 1.1. Dispositions courantes de corps de bâti sur parcelles urbaines

L'épaisseur des corps de bâti (simple, double, triple) est évaluée par rapport au nombre de pièces traversantes, ce qui correspond en pratique respectivement à zéro, un ou deux refends longitudinaux. L'épaisseur double est la plus courante dans les corps de logis sur rue, l'épaisseur simple en retour d'aile.

Charpente du comble

4.1 Plan de toiture et géométrie du comble

Le plan de toiture établi précédemment prépare le relevé de la charpente du comble, car il permet de placer le faitage, les « noues », les « croupes » et les murs recevant les conduits de cheminée – autant d'éléments conduisant à repérer la disposition des fermes lorsque celles-ci sont incorporées dans des ouvrages de second œuvre (fig. 4.1 à 4.3, photo 4.1). L'enquêteur peut aussi partir du plan du dernier étage carré situé immédiatement sous le comble, sur lequel figurent les murs périphériques et les murs des étages en retrait par rapport aux façades.

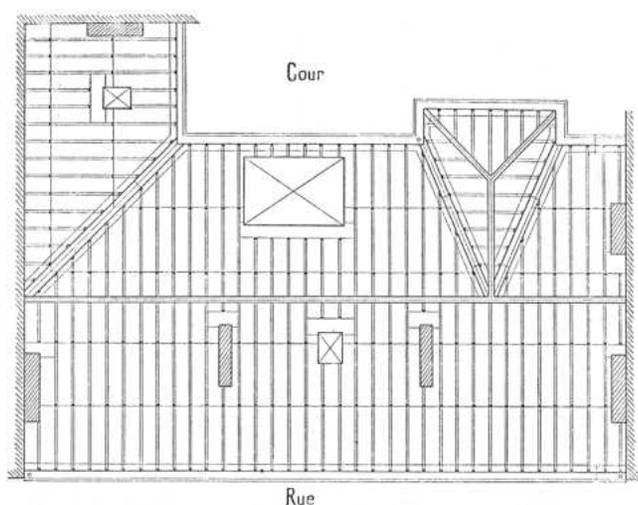


Fig. 4.1. Plan de toiture

Le plan de toiture facilite le repérage de l'emplacement des refends recevant les conduits de cheminée et porteurs des pannes, de même que celui des fermes courantes (*a contrario*). Les fermes de noue sont immédiatement repérables à l'intersection des versants.

Tous les ouvrages marquant la géométrie du comble sont notés : les arêtes des croupes, les arêtes horizontales entre « brisis » et « terrassons » (« membrons ») dans les combles « à la Mansart », les « jouées » de lucarnes, les noues, les « noulets » et les « banquettes » sur « coyaux ». Ces derniers endroits sont des points sensibles vis-à-vis de l'exposition aux intempéries et de la collecte des eaux de pluie. Les conduits de cheminée, les lucarnes en pénétration des versants de toiture, les châssis et lanternes viennent ensuite compléter le relevé. L'ensemble de ces indications permet de reconnaître directement ou *a contrario* l'implantation des pièces maîtresses formant la charpente du comble et d'apprécier l'état de conservation des ouvrages de couverture.

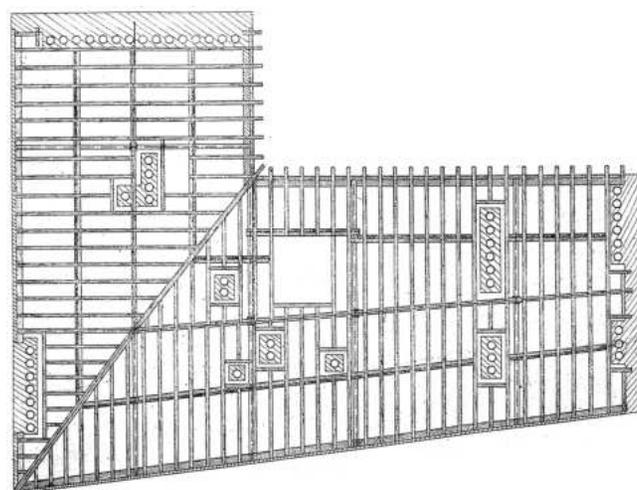


Fig. 4.2. Charpente du comble d'une maison d'angle (seconde moitié du XIX^e siècle)

Ce plan indique la position des fermes, des pannes, des noues et des arêtiers, ainsi que les trémies de passage des batteries de conduits de cheminée.

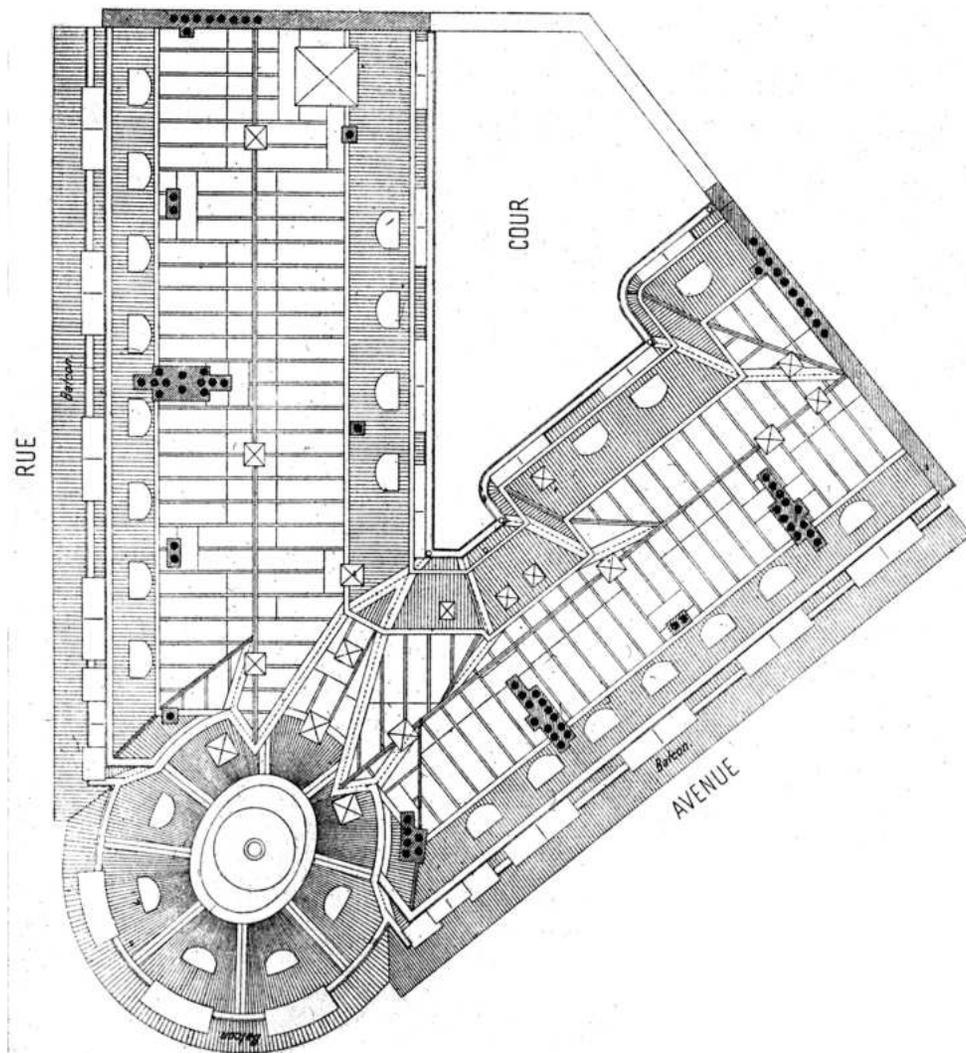


Fig. 4.3. Plan de toiture d'un immeuble d'angle (début du xx^e siècle)

Deux rangs de lucarnes, rotonde d'angle, terrasson en zinc, brisis en ardoise. Le comble habitable se développe sur deux niveaux.

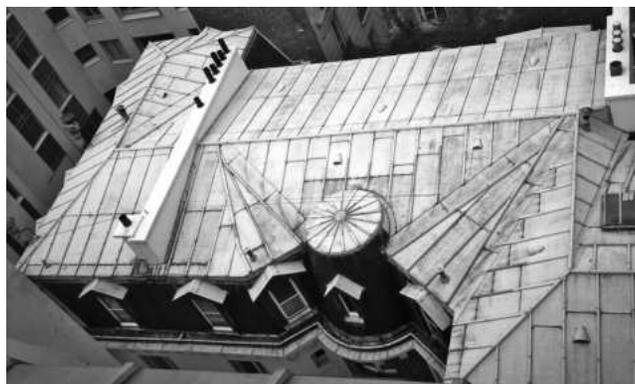


Photo 4.1. Toiture en zinc (fin du xix^e siècle)

Vue sur la forme générale du comble brisé. L'espacement régulier des tasseaux du terrasson en zinc donne l'échelle et facilite le repérage des noues, des arêtiers, des souches de cheminée, etc.



Photo 4.2. Panne composée (premier tiers du xix^e siècle)

La portée est de 7,50 m ; le tirant inférieur a ici été sectionné.

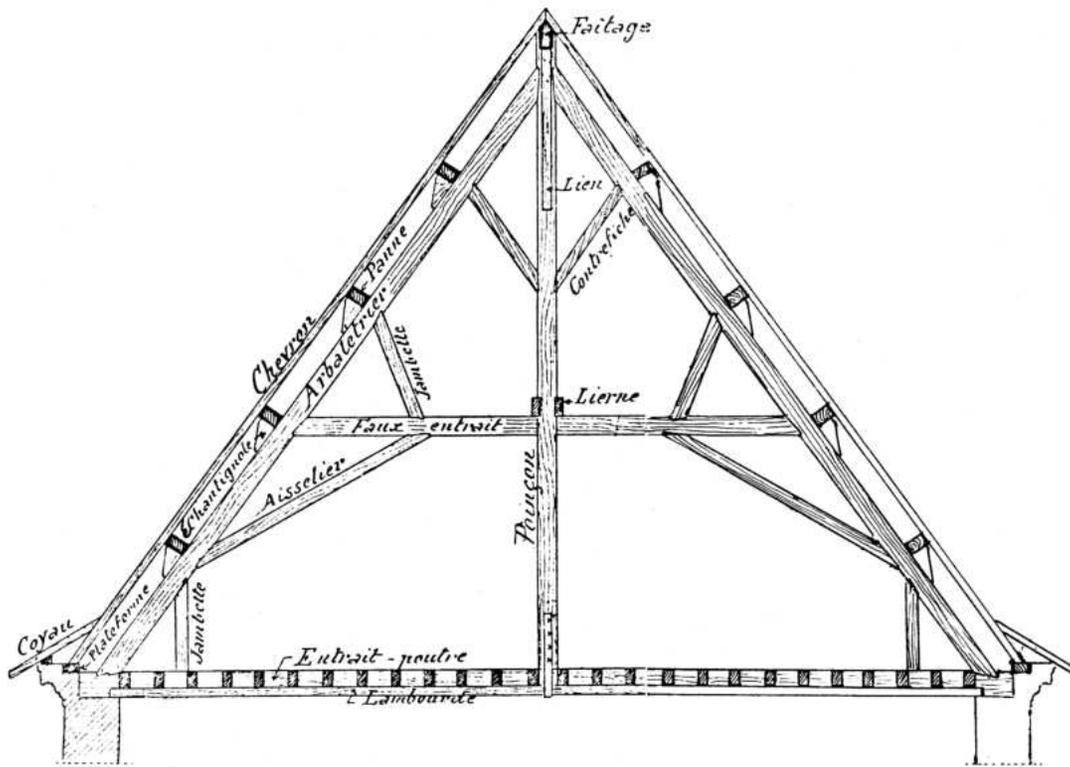


Fig. 4.4. Coupe transversale d'un comble

Cette coupe montre le profil du comble et l'assemblage des différentes pièces de charpente dans une ferme à quatre pannes intermédiaires, faux entrait et entrait portant plancher (11 à 15 m de portée).

4.2 Coupes en travers

4.2.1 Principales pièces de charpente

Les coupes verticales en travers, dressées à la même échelle que les plans et placées en correspondance avec ceux-ci, permettent de repérer les principales pièces de charpente : « entrails », « arbalétriers », « poinçons », « pannes » (fig. 4.4 et 4.5, photo 4.2). Elles sont décrites sommairement et détaillées ultérieurement (voir § 4.5 et § 7.3.5). Le repérage des entrails et des arbalétriers est essentiel. Leur intégrité doit être vérifiée, certaines membrures de la charpente pouvant avoir été sectionnées pour laisser passer de nouveaux conduits de cheminée (densification par recoupe de logements).

L'enquêteur note aussi les flèches des entrails portant planchers (voir photos 5.46 et 5.47) et les faux aplombs visibles des parois où sont incorporées les fermes et dont l'utilité apparaîtra au moment de l'interprétation des désordres de structure.

4.2.2 Lucarnes

Le relevé de la géométrie des lucarnes est délicat à opérer. La position des devantures en saillie ou en retrait doit être indiquée sur le profil en travers, ainsi que leur distance aux façades ou aux refends. Dans chaque lucarne, il faut chercher à comprendre le dispositif de « trémie » dans la charpente du comble (interruption des pannes courantes, présence de linçoir, etc.), ainsi que le matériau de ses « jouées » (faces latérales), le plus souvent en pan de bois (fig. 4.6 et 4.7). Il faut noter en même temps toutes les traces d'infiltrations visibles dans ces ouvrages.

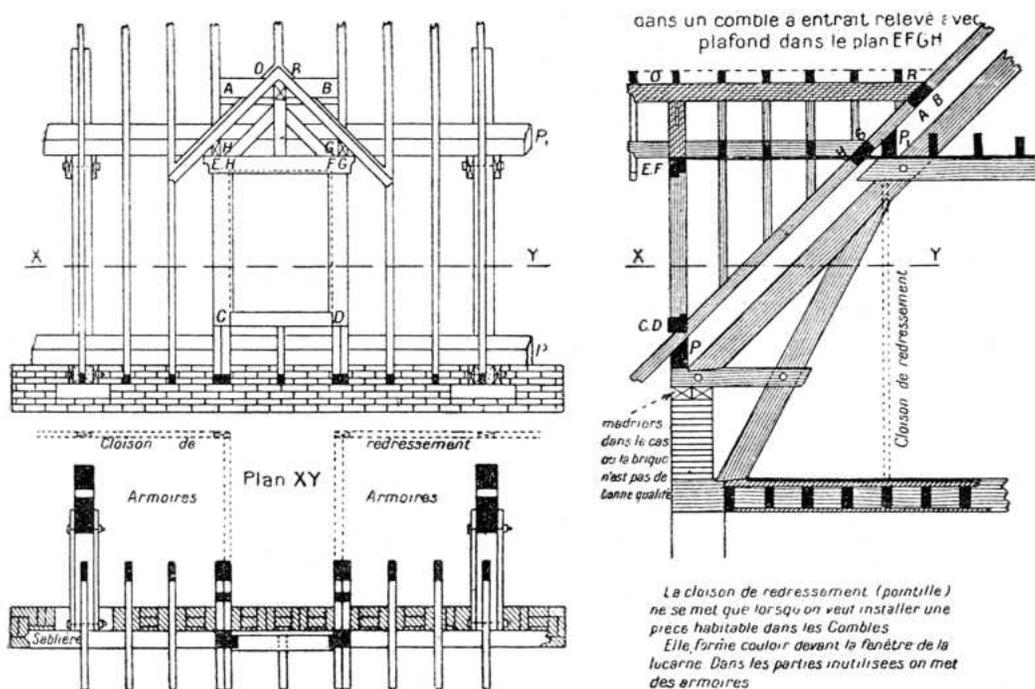


Fig. 4.7. Disposition type d'une lucarne en bois dans un comble avec ferme à entrant retroussé

Le plancher porte perpendiculairement aux fermes, et les jambes de force doivent être reliées entre elles par un tirant en fer plat.

4.3 Coupes en long

Une autre coupe verticale (ou profil « en long »), généralement opérée dans le plan du faîtage, s'esquisse alors en comparant le croquis en plan et la coupe en travers. L'emplacement des fermes ou des parois portant pannes y est mis en évidence, de même que celui des conduits de cheminée et des trémies de lucarnes. Sur cette coupe apparaissent aussi les pièces essentielles à la stabilité latérale et au chaînage d'ensemble du comble : les liens de faîtage qui s'opposent au déversement des fermes pour assurer un « contreventement » longitudinal et notamment la stabilité des pignons (fig. 4.8 et 4.9, photos 4.3 et 4.4, voir fig. 4.17).



Photo 4.3. Contreventement longitudinal de ferme

Faîtière, sous-faîtière, liens de faîtage moisants et poinçon forment ici une poutre longitudinale composée assurant la stabilité latérale des fermes et des pignons. Le profil du comble a été redressé : l'échantignolle de gauche, rallongée, est maintenue par un pseudo-arbalétrier.

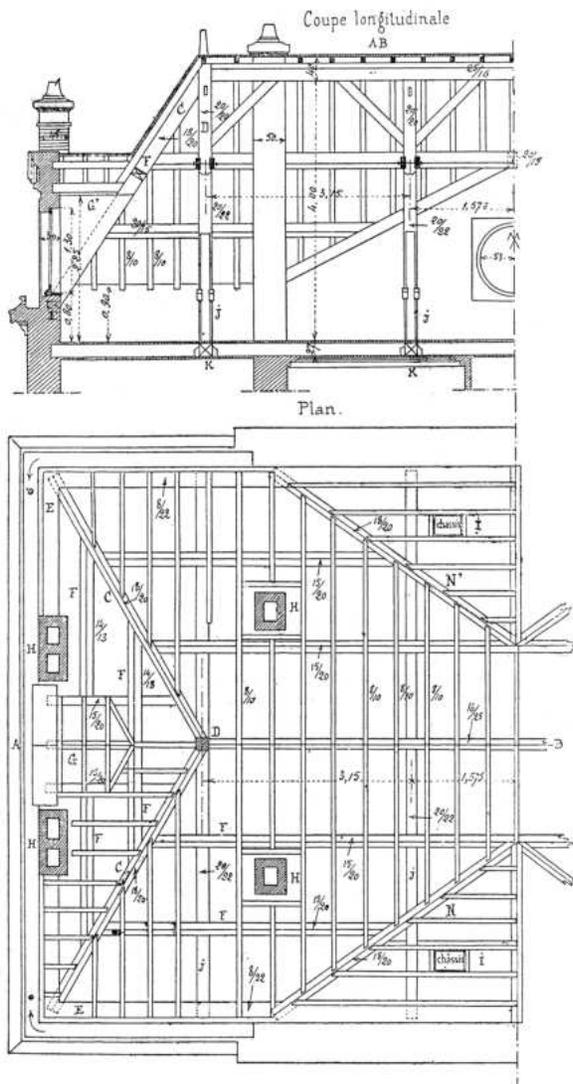


Fig. 4.8. Croupe d'une ferme à deux pannes intermédiaires, portant plancher (fin du XIX^e siècle)

Dispositif au droit des souches (H), noulets (N et N') accompagnant la pénétration d'un pignon et d'une petite lucarne à fronton.

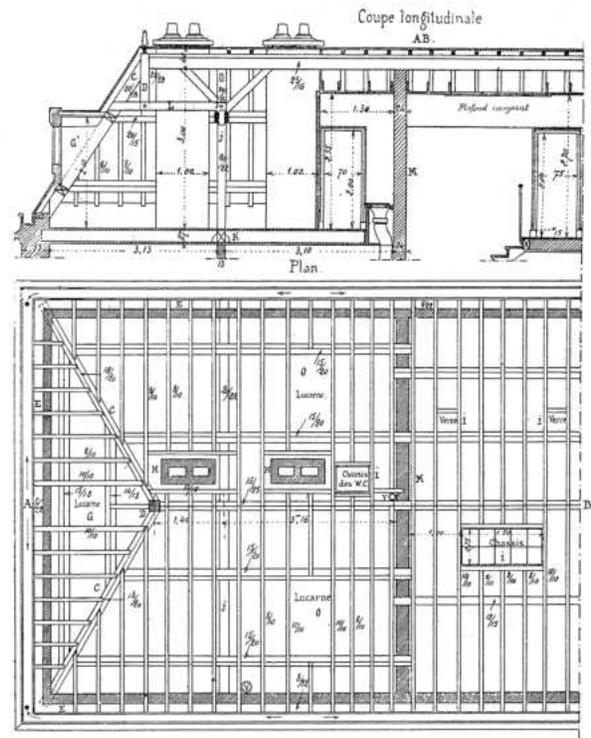


Fig. 4.9. Suppression de la ferme de croupe dans un comble à deux pannes intermédiaires

La ferme de croupe est remplacée par deux arêtiers (C) s'assemblant sur un poinçon (D), moisé par deux entrails (L) qui eux-mêmes s'assemblent sur le poinçon d'une ferme de long pan.



Photo 4.4. Liens de faitage dans une charpente de comble (xvii^e siècle)

4.4 Facteurs influençant la forme du comble

Le comble, destiné à protéger l'édifice des précipitations atmosphériques (neige, pluie), est très sollicité par l'action des vents.

4.4.1 Morphologie du comble

La forme du comble peut dépendre en tout ou partie des facteurs suivants :

- les conditions climatiques du lieu ;
- la géométrie en plan du bâti ;
- le matériau de couverture utilisé (tuile plate ou mécanique, ardoise, zinc, plomb) ;
- la mode (toit très pentu au Moyen Âge, profil surhaussé dit « à surcroît » sous Henri IV et Louis XIII, profil brisé dit « à la Mansart » du xvii^e au xix^e siècle) ;

- les gabarits de voirie et la recherche de l'habitabilité maximale.

L'espace du comble est subdivisé tous les 4 à 5 m environ par des ouvrages de charpente, dérivés de la « ferme latine » élémentaire, qui assurent ici un rôle porteur analogue à celui des poutres maîtresses d'un plancher (fig. 4.10 à 4.12). Leur portée dépend de l'épaisseur du corps de bâtiment, qui varie de 6 à 15 m suivant qu'elle est simple, double ou triple. Les fermes sont habituellement caractérisées par le nombre de pannes intermédiaires comprises dans un versant, entre la « panne sablière » et la « panne faitière », celles-ci n'étant pas comptées parce que toujours présentes. La distance entre pannes varie de 1,5 m à 3 m (5 à 9 pieds), avec une valeur moyenne de 2,3 m (7 pieds) et leur équarrissage, de section carrée, est compris entre 16 et 22 cm (6 à 8 pouces).

Malgré la grande variété possible de structures et de formes de comble, les types utilisés dans les bâtiments d'habitation des villes sont en nombre réduit (voir § 4.5). Les conditions d'habitabilité, les contraintes du parcellaire, la systématisation de la mitoyenneté dans la plupart des villes et l'économie de la construction limitent en effet l'éventail des possibilités.

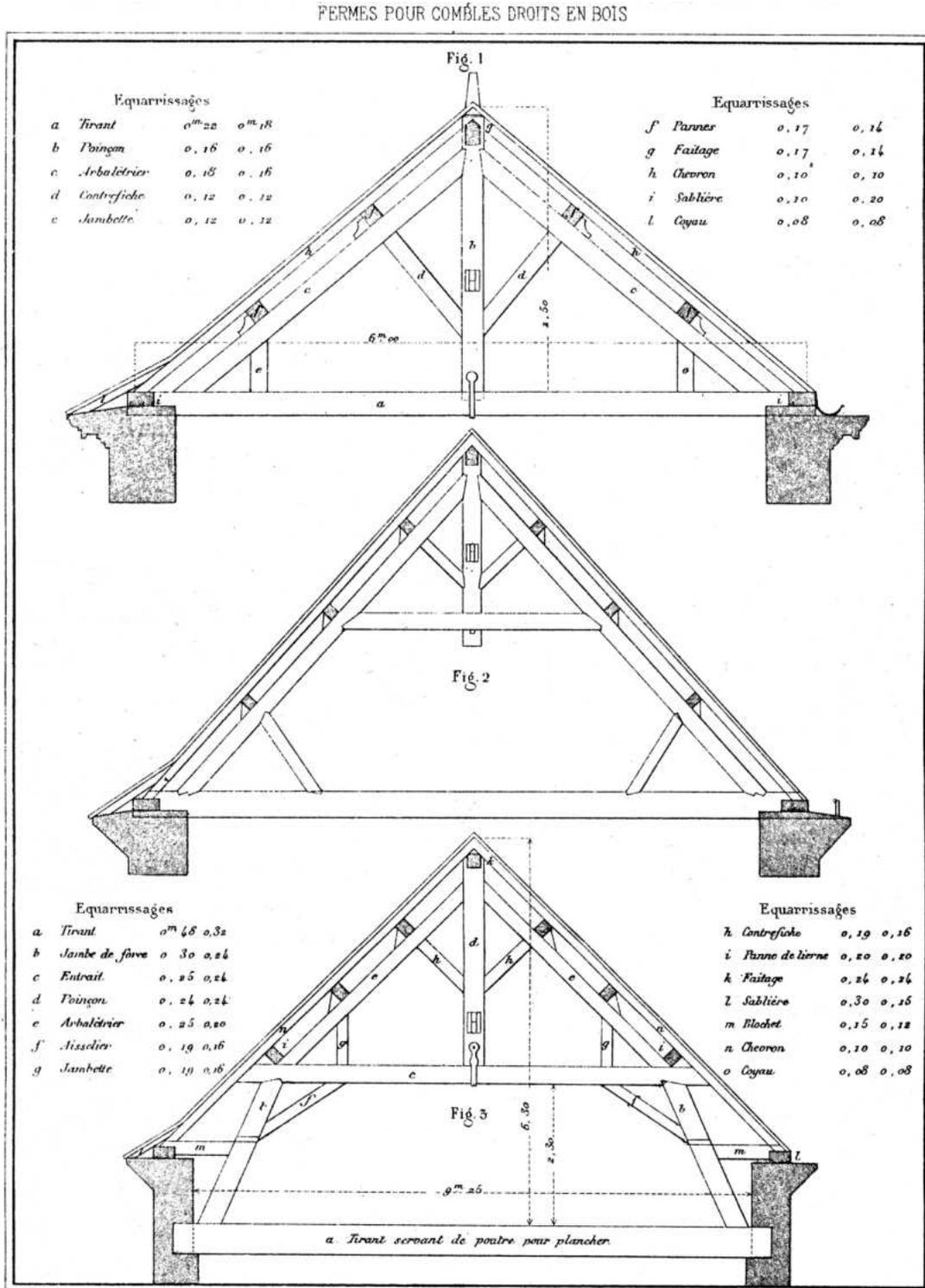
La disposition des corps de bâtiment sur la parcelle foncière ainsi que leur hiérarchie par rapport à la rue limitent les cas d'intersection de combles. La cage de l'escalier principal fait exception, car elle est souvent traitée en pénétration des versants, à la manière d'une très grande lucarne. Le plus souvent, les corps de bâtiment d'épaisseur double sur rue se retournent sur cour en formant une aile adossée de simple épaisseur, et l'intersection des combles donne une noue ou un noulet. La plupart des configurations de toiture dérivent de ce cas élémentaire : dispositions en forme de « C », de « T », de « O », de « H » (voir fig. 1.1).

REMARQUE

Direction d'un comble

La direction d'un comble est marquée soit par les pignons sur rue et sur cour (disposition en usage au Moyen Âge, dont il ne subsiste que peu d'exemples à Paris), soit par des versants parallèles à l'alignement et rejoignant les murs mitoyens qui forment alors pignons et coupe-feu (disposition généralement adoptée à partir de la Renaissance). Les croupes ne sont pas fréquentes et réservées aux bâtiments marquant les angles des îlots, aux extrémités des ailes en retour et à certains types de lucarnes⁽¹⁾.

(1) Les anciens hôtels disposés en plusieurs corps de bâtiment fortement articulés entre cour et jardin, en retrait des constructions sur rue, dérogent à ces dispositions courantes, consécutives à l'alignement.



On nomme ainsi la partie située au-dessus d'un édifice et sur laquelle on applique la couverture destinée à la garantir contre les intempéries des saisons. Pour porter cette couverture il faut établir de distance en distance (tous les 4 à 5 mètres environ) des assemblages de bois ou de fer que l'on nomme Fermes. Les dispositions de ces fermes varient suivant les besoins, les matériaux employés pour la couverture et le climat. Nous donnons ici trois exemples pour combles droits.

Fig. 4.10. Types usuels de fermes de comble (début du XIX^e siècle)

- 1 – Ferme élémentaire à deux pannes intermédiaires, contrefiches et jambettes.
- 2 – Ferme à faux entrait à trois pannes intermédiaires, contrefiches et jambettes.
- 3 – Ferme à entrait retroussé à trois pannes intermédiaires avec arbalétriers discontinus, posée sur la poutre d'un plancher (comble « à surcroît »).

4.4.2 Habitabilité

Le facteur déterminant dans le profil d'un comble est son habitabilité. Cela explique le succès des combles en surcroît puis à la Mansart, ainsi que celui de tous les combles qui comportent des entrails retroussés (voir § 4.5.3 à § 4.5.5). Dans ces types de comble, la membrure horizontale la plus basse, l'entrait, est utilisée comme poutre pour porter le plancher de l'étage, et sa flexion est parfois soulagée en l'accrochant à la partie supérieure de la ferme par le poinçon ou par des « aiguilles pendantes » en fer, noyées dans les cloisons et fixées aux nœuds de la charpente. Cette condition d'habitabilité nécessite l'utilisation de pièces de bois plus résistantes, ce qui explique que la transformation d'un comble, à l'origine non habité, en comble habitable est une opération hasardeuse lorsqu'elle est menée sans précaution (photos 4.5 et 4.6).

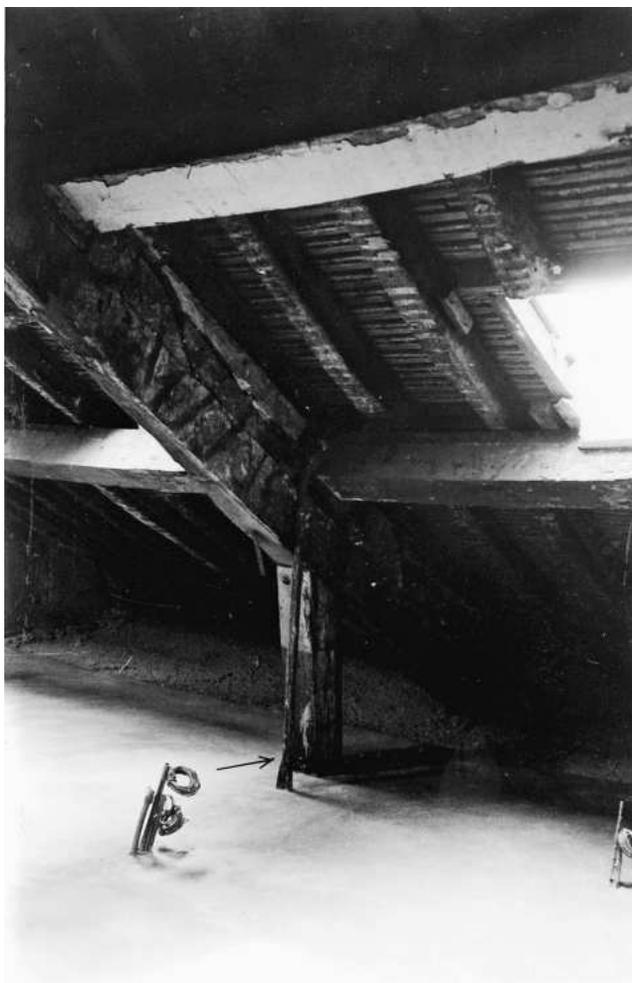


Photo 4.5. Aiguille pendante accrochée à l'arbalétrier au voisinage d'une jambette

Cette disposition est un signe de confortation du plancher formant aussi plafond de l'étage du dessous.



Photo 4.6. Aiguilles pendantes suspendues aux poinçons de fermes à entrails moisants portant plancher

Les aiguilles soulagent ici le plancher à mi-portée.

4.4.3 Gabarit municipal

L'obligation, à partir du XIX^e siècle, de respecter des gabarits municipaux de voirie a eu pour conséquence d'engendrer des profils de combles dissymétriques. Il n'est pas rare de rencontrer des bâtiments construits à cette époque présentant un ou même deux étages carrés de plus du côté cour que du côté rue (fig. 4.13 et fig. 7.11).

4.4.4 Présence de fermes

L'emploi de fermes dans la structure des combles des habitations urbaines ordinaires n'est pas systématique : le constructeur cherche dès que possible à utiliser les parois montants de fond (murs mitoyens, pignons et refends) pour remplacer une ferme. Il ne retient celle-ci que s'il ne peut faire autrement ou si le procédé s'avère moins onéreux.

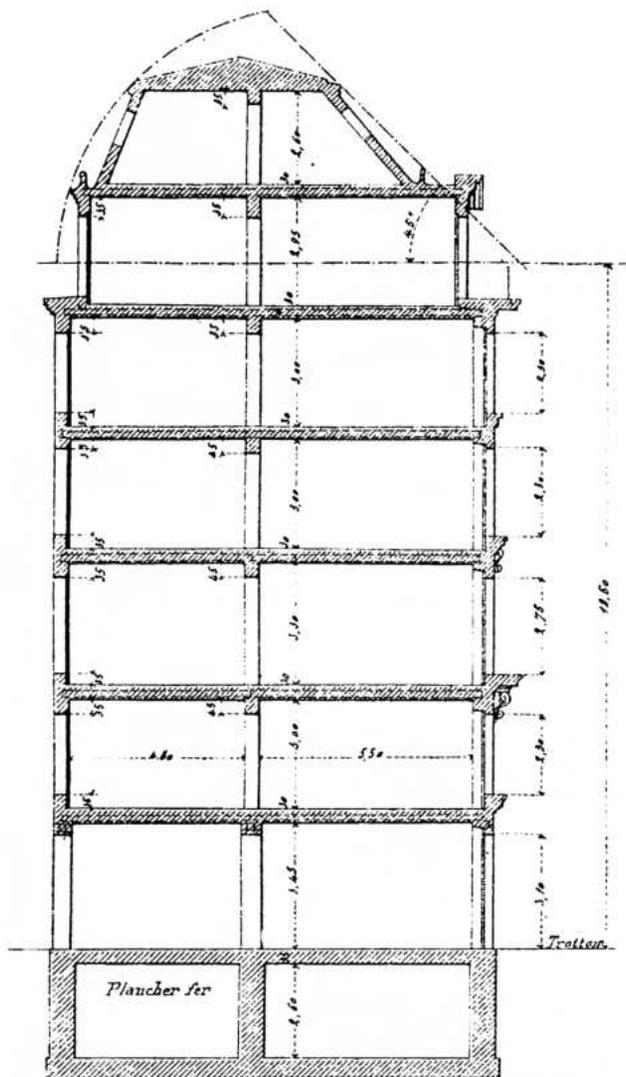


Fig. 4.13. Coupe transversale sur un bâtiment construit sur le gabarit de 17,55 m (premier tiers du XIX^e siècle)

Description sommaire anticipant le schéma statique : indication des dimensions des intervalles structuraux, des appuis des planchers et des principaux transferts statiques (poitrails, étages en retrait, balcons). On peut noter la dissymétrie entre les profils du comble sur rue et sur cour qui induisent des volumes habitables différents.

Ainsi, lorsque l'intervalle entre deux parois consécutives ne dépasse pas 5 m, les pannes portent de mur à mur. Les conduits de cheminée et les lucarnes sont, dans la mesure du possible, implantés dans l'intervalle entre les pannes. Dans le cas contraire, la panne gênante est interrompue, et son extrémité libre est reprise par une enchevêtrure placée dans le plan incliné des arbalétriers (« dans leur chambrée ») ou, si le comble n'est pas habitable, par un chevalet ou même un simple potelet, ce qui est un expédient peu recommandable, quoique couramment pratiqué au XIX^e siècle (voir § 25.5.1.1).

4.5 Types usuels de fermes de comble

Les structures de comble rencontrées dans les bâtiments courants ont pour origine la ferme élémentaire. Celle-ci est constituée de deux arbalétriers assemblés par « embrèvement » sur le haut du poinçon, et à leur extrémité inférieure sur un entrait où l'embrèvement est fréquemment remplacé par un tenon oblique lorsque la pente du comble est très raide, ce qui est le cas du brisis dans le comble à la Mansart. Les principaux types de fermes que l'enquêteur peut rencontrer sont sommairement décrits dans les paragraphes qui suivent.

4.5.1 Ferme élémentaire à pannes intermédiaires

Si la distance entre appuis est supérieure à 6 m, la ferme se complique du fait de la présence des pannes intermédiaires, qui sont le plus souvent au nombre de deux par versant (voir fig. 4.10). Afin d'éviter les déformations des arbalétriers en flexion sous l'action des pannes intermédiaires, une membrure les soulage sous chaque repos de panne et s'appuie soit sur le poinçon, soit sur l'entrait par l'intermédiaire d'une jambette (dite aussi parfois « jambe de force ») (photos 4.7 et 4.8, voir fig. 4.4 et 4.11).

Ce type de fermes se rencontre dans les combles non habitables – en raison de la présence gênante du poinçon, des contrefiches et des jambettes –, et fréquemment dans les faux combles des charpentes à la Mansart, appelés aussi « terrassons » (voir fig. 4.23 et 4.24). Il est toutefois observable dans des combles habitables dont la pente des versants est supérieure à 30°, même lorsque le volume perdu est important, avec présence de cloisons de redressement sous la panne intermédiaire la plus basse.

4.5.2 Ferme à faux entrait

La ferme à faux entrait est utilisée pour des portées similaires aux précédentes : corps de bâti double en épaisseur, c'est-à-dire jusqu'à environ 12 m, soit 36 pieds (fig. 4.14 et 4.15, voir fig. 4.4). Il suffit de remplacer les contrefiches reliant arbalétriers et poinçon, au voisinage de l'appui des pannes supérieures, par une seule pièce de bois horizontale appelée « faux entrait », placée de telle façon que l'on puisse disposer de l'« échappée », c'est-à-dire de la hauteur libre nécessaire pour passer (condition d'habitabilité).

Contrairement à l'entrait soumis à des efforts de traction, le faux entrait est sollicité à la compression comme les contrefiches qu'il remplace. L'espace obtenu de la sorte devient habitable, et le faux entrait porte les « solives » d'un plafond qui délimite un comble perdu, dit aussi « faux comble » ou « pointe du comble ». Le dispositif



Photo 4.7. Ferme à deux pannes intermédiaires portant plancher (milieu du XVIII^e siècle)

Les solives de plancher, recouvertes ici d'une chape, s'appuient de part et d'autre de l'entrait qui reçoit une lambourde de chaque côté. L'intervalle entre poinçon et jambette est traité comme un pan de bois.

peut être reproduit plusieurs fois dans une même ferme dans le cas d'un comble à fortes pentes (60° et plus), ce qui donne les fermes à entrails multiples.

4.5.3 Ferme à entrait retroussé et arbalétrier discontinu dite « comble à surcroît »

Le comble à surcroît s'obtient en posant sur un chevalet une ferme à une panne intermédiaire de portée inférieure à la distance à franchir (fig. 4.16). Le chevalet, d'une hauteur suffisante pour rendre le comble habitable, repose en dessous de l'arase supérieure des murs de façade sur une hauteur d'environ 1 m, d'où le terme « surcroît ». Il est constitué de deux jambes de force inclinées, assemblées en pied à la poutre maîtresse du plancher du



Photo 4.8. Ferme à deux pannes intermédiaires portant plancher (milieu du XVIII^e siècle)

Même commentaire que la photo 4.7.

comble ou, à défaut, à une pièce horizontale posée sur le solivage (tirant en bois ou, ultérieurement, en fer plat). L'indéformabilité du trapèze constitué par l'entrait et les jambes de force est assurée par la mise en place d'« aisseliers », appelés aussi « goussets » (photo 4.9).

Ce comble, ancêtre de celui dit « à la Mansart », apparaît au XVI^e siècle, et il est abondamment utilisé dans les décennies Henri IV et Louis XIII, mais contrairement au Mansart, son profil n'est pas brisé⁽²⁾. Il est presque toujours associé à des lucarnes à fronton en maçonnerie, qui prolongent les murs des façades en interrompant leur entablement, d'où la silhouette très caractéristique des édifices de cette époque (photos 4.10 et 4.11, voir photo 1.7). Sachant qu'alors, les planchers étaient construits « à la française », avec poutres maîtresses et solives apparentes, l'enquêteur dispose d'un certain nombre d'éléments lui permettant d'évaluer leur époque de construction. L'interruption de l'entablement n'étant toutefois pas systématique (bien des lucarnes ont été remaniées), il faut vérifier principalement dans ce cas que la devanture des lucarnes est en maçonnerie érigée dans le prolongement des murs de façade.

(2) Voir Le Muet, *Manière de bien bâtir pour toutes sortes de personnes*.

4.5.4 Ferme à entrain retroussé et arbalétrier continu dite « à entrain retroussé »

Une variante du comble à surcroît est obtenue en prolongeant les arbalétriers de la ferme du faux comble précédent jusqu'au mur d'appui, tout en interposant une pièce de bois horizontale supplémentaire, le « blochet ». Ce dernier est assemblé dans les jambes de force pour former un triangle dont le troisième côté est assuré soit par un potelet en contre-mur reposant sur une console, soit par le mur d'appui lui-même (fig. 4.17 à 4.20). Le blochet peut être considéré comme un tirant qui aurait été coupé. Cette configuration triangulée permet de relever l'entrait, et la ferme est dite alors « à entrain retroussé ». Elle est reconnaissable même lorsqu'elle est incorporée dans des cloisons (surépaisseurs) : les aisseliers n'étant plus indispensables, ils disparaissent, ce qui améliore d'autant l'habitabilité du comble. Les jambes de force peuvent reposer directement sur les murs ou sur un plancher, quel que soit son sens de portée (fig. 4.21 et 4.22).

Cette ferme donne des poussées résiduelles en pieds des jambes de force, suite à la flexion des arbalétriers aux appuis des pannes intermédiaires les plus basses, souvent placées à la hauteur de l'entrait retroussé. Cela nécessite la présence d'un tirant additionnel (généralement un fer plat) assemblé dans des « semelles traînantes » placées au-dessus du plancher, un dispositif non nécessaire lorsque la ferme s'appuie directement sur une des membrures du plancher, une solive d'enchevêtrement par exemple, qui bande la ferme en neutralisant les poussées (photo 4.12).

Dans ces cas, très fréquents, le sens des efforts dans l'entrait retroussé se renverse, comme dans la ferme à faux entrain. Lorsque les blochets sont placés à une hauteur située au-dessus d'échappée, comme dans les combles d'ateliers montés sur poteaux, ils sont reliés entre eux par des tendeurs en fer rond soulagés à mi-portée par une aiguille suspendue au poinçon. La différence entre ce type de ferme et le précédent ne concerne donc que leur morphologie : présence de blochets et de jambes de force dans un cas, d'aiseliers et de jambettes dans l'autre. Ce type est parfois appelé « ferme à faux entrain », comme précédemment, lorsque la ferme est en appui sur une membrure du plancher formant tirant.

4.5.5 Comble brisé à la Mansart

4.5.5.1 Dispositifs canoniques

La charpente de ferme dite « à la Mansart » ressemble à celle du comble à surcroît, mais le profil du comble est ici brisé : une ferme à une panne intermédiaire repose sur deux jambes de force plus ou moins inclinées et posées sur les membrures principales du plancher (fig. 4.23 à 4.25). L'indéformabilité transversale est assurée par des « aisseliers » (dits aussi « goussets ») qui, pour des raisons de gêne, sont souvent remplacés au XIX^e siècle par de fortes



Photo 4.12. Entrain retroussé en appui sur un plancher à système d'enchevêtrements (milieu du XIX^e siècle)

équerrres métalliques assurant la rigidité de l'assemblage entre entrain et jambes de force (fig. 4.26). Cet expédient, souvent insuffisant, nécessite la plupart du temps la présence de diaphragmes assurés par des remplissages en maçonnerie ou en pan de bois, afin de garantir l'indéformabilité d'ensemble de la ferme.

La partie supérieure du comble ou « faux comble » forme le « terrasson », également appelé « pointe du comble » ou « comble perdu » au XIX^e siècle ; la partie inférieure habitable est dite « étage de brisis ». La panne située au changement de pente (intersection de l'entrait avec la jambe de force) s'appelle « panne de brisis ». Les jambes de force prennent une pente aussi raide que l'on désire réduire l'espace perdu, et les arbalétriers du terrasson sont inclinés suivant le matériau de couverture adopté (tuile plate, zinc, plomb). Le comble à la Mansart est de plus en plus utilisé du XVII^e siècle jusqu'au XX^e siècle, car il offre l'habitabilité maximale (photo 4.13). Il doit disposer à cet effet de lucarnes, qui peuvent être en saillie ou bien rentrantes (fig. 4.27 et 4.28).

– de porte-à-faux, tels que la corniche de couronnement et surtout les balcons (charges uniformément réparties ou non, couples d'encastrement), lorsqu'ils existent ;
 – des poussées des berceaux, appliquées à leur naissance. Il s'agit des composantes verticales de ces poussées se traduisant en charges uniformément réparties, comprenant le poids propre de la voûte et le dispositif de blocage de ses reins (le détail du diagramme des poussées, dit « épure de Méry », est exposé au chapitre 29).

Le schéma de la figure 7.70 met en évidence le poids propre des ouvrages verticaux, qui s'ajoute au cumul des charges précédentes et dont il faut effectuer la somme, pour en déduire les forces de réaction du sol au niveau du fond de fouille, puis les contraintes admissibles en fonction des surfaces en contact à ce niveau. Chaque vecteur force doit être calibré, mis en rapport avec les aires sur lesquelles il s'exerce et représenté par des diagrammes appropriés.

Les forces réparties peuvent être résumées par une force proportionnelle à leur surface d'appui, sur une direction passant par leur centre de gravité. La somme des diagrammes (forces réparties et forces concentrées) doit être égale aux réactions du sol réparties sur toute la surface des fondations en fond de fouille, lorsqu'il s'agit de fondations linéaires et superficielles. Les endroits de contraintes élevées (appuis de poitrails, de poutres maîtresses, appuis ponctuels de fermes) constituent autant de points névralgiques à examiner de façon détaillée.

7.5.8.2 Schéma statique de la façade sur rue de la même maison

La façade sur rue est en maçonnerie, disposée en travées réglées porteuses de planchers (pleins sur pleins et vides sur vides) (voir fig. 7.67). Deux types d'efforts doivent être distingués : ceux dus au poids propre de la paroi et ceux apportés à la paroi, comme dans l'analyse en coupe qui précède.

Le poids propre est principalement constitué par celui des trumeaux en maçonnerie. Ce poids se traduit en contraintes de compression cumulables, uniformément réparties, proportionnellement à la surface visible du trumeau lorsque les murs sont d'épaisseur constante dans un diagramme linéaire vertical, uniformément réparti. Il faut y ajouter le poids des parties situées au-dessus des ouvrages de couverture des baies (allèges), ainsi que celui des principaux encorbellements (corniches de couronnement, balcons non pris en compte ici). S'y ajoute en sous-sol le poids du mur de cave, pratiquement sans ouvertures – aux soupiraux près.

Les efforts dans la paroi étudiée se composent avec ceux apportés par l'appui des planchers, des fermes de comble et des voûtes des sous-sols, à chacun de leurs niveaux

respectifs. Les principaux transferts dans le plan de la paroi créent des contraintes supplémentaires, qui peuvent devenir critiques à certains endroits : appuis des poitrails (diagrammes verticaux uniformément répartis ou triangulaires selon le degré d'approximation choisi⁽¹³⁾).

Au niveau du sous-sol, les charges cumulées apportées par chaque trumeau, tête de mur, pilier ou colonne en fonte, se diffusent le plus souvent dans la paroi selon des troncs de pyramide inclinés à 55° (le complément de l'angle de frottement interne dans la maçonnerie, généralement évalué à 35°). Cet angle peut être pris à 45° ($\cos 45^\circ = 1$) ou à 60° selon l'approximation de calcul souhaitée.

REMARQUE

Efforts horizontaux dus au vent

Dans cet exemple, les efforts horizontaux dus au vent n'ont pas été pris en compte. S'ils n'étaient pas négligeables, comme dans ce cas de maison insérée dans un îlot compact, ils devraient faire l'objet de schémas particuliers supplémentaires.

7.5.9 Caractérisation de la structure

En dehors des transferts statiques, les coupes verticales permettent de mettre en évidence certains traits morphologiques de cette sorte de bâtiment : les murs s'allègent vers le haut, le poids des conduits de cheminée augmente vers le haut avec des trémies plus nombreuses dans les planchers, les contraintes se cumulent vers le bas, les planchers sont en appuis simples sur les parois, les chaînages horizontaux (antiflambement) sont indispensables dans les étages inférieurs, et la plus grande partie des maçonneries est en contact permanent avec le sol d'assise, à l'exception des parties portées par les poitrails et les arcades entresolées (voir fig. 1.9, 2.2, 7.1, 7.12, 7.13).

7.5.9.1 Une morphologie composite

Il est important de dégager les caractères principaux, classificateurs de la morphologie des structures des maisons à étages, préindustrielles, parce qu'ils correspondent à deux genres de systèmes statiques. L'un opère par surfaces porteuses de planchers et les murs – porteurs ou non – assurent en même temps la stabilité latérale. L'autre se présente comme une ossature canalisant directement les charges verticales, mais nécessitant des dispositifs complémentaires pour assurer l'indéformabilité d'ensemble (murs diaphragmes de remplissage, triangulation). Ce caractère a une incidence directe sur le potentiel de distribution des locaux, ainsi que sur le comportement hygrothermique de l'enveloppe. Le mode de répartition

(13) Sous l'appui d'un poitrail, la substitution d'un diagramme rectangulaire (uniformément réparti) par un diagramme triangulaire revient à multiplier la contrainte par trois.

des charges est davantage réparti dans un cas (système surfacique), alors qu'il est plus concentré dans l'autre (système linéique).

Dans la plupart des étages des maisons d'habitation urbaines parisiennes, l'un des deux systèmes est plus développé que l'autre à certains niveaux, et cela peut basculer d'un groupe d'étages à l'autre, mais les surfaces l'emportent majoritairement dans la morphologie de la structure d'ensemble. Le système à ossature n'est prédominant qu'à certains niveaux (rez-de-chaussée et comble).

Cependant, le rapport inverse peut se rencontrer, notamment dans les maisons de commerce et les immeubles industriels édifiés dans la seconde moitié du XIX^e siècle, dans lesquels les étages d'habitation sont minoritaires par rapport aux autres activités insérées dans des sortes d'ossatures en bois ou en fer, aux murs mitoyens près. La morphologie d'ensemble qui en résulte est donc principalement « composite » (voir fig. 7.3 et 7.4).

7.5.9.2 Caractéristiques de structure des bâtiments préindustriels

Dans les structures des maisons préindustrielles, tous les ouvrages se composent entre eux par des liaisons statiques du genre « appui simple », « articulation », l'« encastrement » étant une exception, ce qui leur confère deux caractéristiques importantes :

- leurs systèmes sont « isostatiques » et ils absorbent relativement bien les changements de température et les petites déformations ;
- leurs composants sont facilement remplaçables ou modifiables par substitution, ce qui permet des réparations lourdes et la modification des baies.

Le repérage des principaux transferts faisait apparaître des sous-ensembles d'espaces et de structure correspondant aux principaux regroupements fonctionnels des activités contenues dans le bâtiment d'origine. C'est une particularité dont il faut tenir compte lors d'un changement d'affectation.

L'important est de comprendre quel mode de distribution des charges est majoritaire à tel ou tel niveau, dans un ensemble qui se présente dans la maison parisienne préindustrielle comme essentiellement « composite », non seulement en considérant sa structure mais aussi en observant ses matériaux constitutifs. Ces traits s'opposent nettement à ceux qui prévalent dans les constructions d'aujourd'hui, d'une structure homogène et d'un même matériau de structure de bas en haut.

REMARQUE

Éléments de diagnostic des bâtiments préindustriels

Au-delà de ces traits structuraux, il faut prendre en compte d'autres caractéristiques, indispensables à un diagnostic plus complet :

- la plupart des matériaux anciens sont réemployés sur place (pierre de taille, brique, moellons décrottés, planchers en bois, déchets de coupes de moellons, plâtres passés au tamis, métaux, etc.) ;
- les bâtiments préindustriels sont adaptés par leur conception et construction mêmes à leur contexte géographique et social, donc à une économie autrefois qualifiée de « locale » (carrières de pierres calcaires et de gypse, dépôts de sables et graviers de rivière, marché régional du bois flotté, traction animale et transport fluvial des matériaux de construction) ;
- il n'existe pas de toitures-terrasses, accessibles ou non, comme dans la quasi-totalité des bâtiments depuis un demi-siècle, mais, seulement à certaines époques, un balcon d'étage en retrait, produit d'un gabarit de voirie passager dans le temps (disposition qui par ailleurs doit être l'objet d'une attention soutenue pour assurer sans dommage le couvert) ;
- ces bâtiments sont sensibles à l'eau et à l'humidité sous toutes leurs formes, notamment les vapeurs dans l'air et surtout les infiltrations en provenance des canalisations de l'extérieur (notamment pluviales) et, plus redoutables encore, de l'intérieur, ce qui sera expliqué en troisième partie ;
- les matériaux, ouvrages et corps de bâti préindustriels « respirent » et ne s'opposent jamais aux flux d'échanges hygrothermiques qui traversent en permanence l'ensemble de leurs enveloppes. Les corps de bâti entre rue et cour disposent d'une ventilation naturelle traversante, et ceux de simple épaisseur, adossés, reçoivent un complément de ventilation par l'intermédiaire des anciens conduits de cheminée. Les « ponts thermiques » y sont pratiquement inexistantes (pans de fer exceptés).

Correctement entretenu – et modifié lorsque nécessaire, en respectant ses caractéristiques structurales et les compatibilités avec ses matériaux d'origine –, un bâtiment de l'ère préindustrielle possède une durée de vie généralement plus longue que la plupart des bâtiments d'habitation collectifs construits depuis un demi-siècle.

7.6 Coupes complémentaires sur des espaces et ouvrages particuliers

Quant aux coupes effectuées sur les cages d'escalier, les courettes couvertes, certaines lucarnes spéciales, les descentes de cave, etc., elles s'effectuent après les coupes caractéristiques évoquées et viennent compléter le relevé au moment opportun, notamment pour examiner des zones vulnérables, reconnaître leurs altérations et en évaluer l'importance (fig. 7.68 et 7.69, voir fig. 6.26, 6.1).

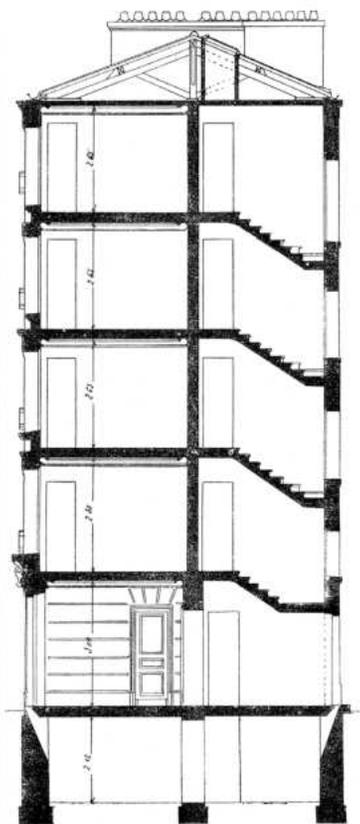


Fig. 7.68. Corps de bâti double en épaisseur coupé au droit de la cage d'escalier

7.7 Méthode de diagnostic de la structure

Lorsque les documents graphiques sont complets et vérifiés, il est bon de les accompagner d'un bref descriptif écrit, conventionnel, qui résume les principaux traits morphologiques des espaces et des ouvrages de construction. À sa lecture, un professionnel du bâtiment doit pouvoir imaginer visuellement le type d'édifice, sa disposition spatiale et sa composition matérielle. Les descriptions des bâtiments placées au début de cette partie ont pour but de familiariser le lecteur avec une typologie historique des ouvrages de construction qui facilite grandement la tâche de l'enquêteur.

7.7.1 Inspection des ouvrages de second œuvre

La démarche suivie était orientée avant tout sur la reconnaissance de la structure du bâti. Les ouvrages de second œuvre (enduits extérieurs et intérieurs, menuiseries, revêtements de sol, matériaux de couverture, etc., ainsi que leur modénature, qui forme le décor stylistique) n'ont pas été traités. Ils doivent être inspectés parallèlement et demandent un respect certain, notamment au cours des sondages.

La plupart d'entre eux peuvent avoir été remplacés plusieurs fois au cours de l'histoire d'un bâtiment particulier, et souvent il n'en subsiste que des traces partielles, passagères, dont il faut tenir compte dans un diagnostic plus extensif que celui de la seule structure bâtie. Ne considérer que celle-ci est insuffisant, cela va de soi, mais l'inverse est lourd de conséquences, car la conservation des ouvrages de second œuvre selon leur intérêt stylistique dépend de celle de la structure, qui témoigne plus sûrement qu'eux de son époque de construction. Même lorsqu'ils ne sont pas d'origine, leur qualité et leur aspect doivent être comparés à leurs équivalents d'aujourd'hui. Il faut éviter de détruire ce qui ne peut plus être réalisé aujourd'hui, ainsi que des factures et des matériaux impossibles à retrouver ou à financer.

Les principaux ouvrages de second œuvre sommairement introduits dans cette partie sont les canalisations des équipements de service, et ils ne sont abordés que dans la mesure où ils peuvent avoir une incidence sur le comportement de la structure et sa tenue dans le temps.

7.7.2 Une démarche par approximations successives

À la fin de ce chapitre, le lecteur ne manquera pas de noter que la plupart des ouvrages de construction ont été examinés plusieurs fois au cours de la démarche. L'approche choisie est d'avancer par approximations successives pour faire comprendre la hiérarchie des

ouvrages et leurs relations respectives. La première étape visait à les identifier et les mettre en place graphiquement, la seconde à les décrire en détail et à achever d'examiner leur mode de fonctionnement pratique, en même temps qu'à enregistrer les anomalies directement perceptibles. Dans une approche inverse et complémentaire de la précédente, l'enquêteur procède à une « réduction » pour extraire à partir des informations recueillies les schémas statiques, dans une synthèse nécessaire à l'étape d'évaluation quantitative qui va suivre.

REMARQUE

Multiplicité de critères d'analyse, va-et-vient entre plusieurs échelles d'observation

Les deux premières étapes procèdent par comparaison avec un petit nombre de dispositions types, caractéristiques, chacune ayant une histoire qui ne peut être approfondie dans ce simple guide. La plupart des ouvrages du bâti ancien, issus de l'expérience et de la tradition, présentent des aspects multifonctionnels, irréductibles à une étude qui ne comporterait qu'un seul point de vue. Leur bonne compréhension requiert en effet un va-et-vient entre plusieurs échelles d'observation (du 1/50 au 1/200, principalement), avec des changements dans les critères d'analyse, en pratiquant une sorte de gymnastique de la pensée qui fait l'intérêt de ce genre de diagnostic.

Les ouvrages vont être donc revus une troisième fois dans la deuxième partie qui suit – avec un point de vue orienté sur l'évaluation de leur « capacité portante », ayant pour objectif l'établissement de la « descente de charges » – et une dernière fois à la troisième partie, pour passer en revue leurs principaux désordres et altérations.

Pour clore cette phase d'enquête préliminaire, cherchons à comprendre en quoi un bâtiment d'habitation préindustriel – tel que nous l'avons défini⁽¹⁴⁾ – fonctionne différemment de ce qui se bâtit aujourd'hui. Et en quoi son schéma statique échappe aux pratiques d'analyse et de conception en cours, même si celles-ci procurent à la plupart des acteurs en la matière des certitudes qui peuvent s'avérer dans ce cas infondées.

Les bâtiments parisiens préindustriels sont une combinaison adaptée de parois porteuses et de poteaux-poutres comportant des liaisons entre ouvrages verticaux. Les charpentes de combles et les planchers reposent principalement par des appuis simples sur les murs périphériques et les refends. Les assemblages de charpente en bois sont assimilables à des articulations. On rencontre aussi des butées ou des épaulements (pour la stabilité des murs, arcs et voûtes), des liaisons semi-rigides (aisseliers, contrefiches, décharges, croix de Saint-André), des liaisons assurant une continuité vis-à-vis des efforts de tractions (tirants et ancrages).

Les charpentes des toits et les pans de bois sont des ossatures que l'on peut analyser par des vecteurs (au sens de la statique graphique) qui redistribuent les forces externes en les redirigeant vers des membrures comprimées ou tendues où les liaisons autorisent de petites rotations mais ne permettent pas en principe de translations significatives. Les tirants et ancrages empêchent les translations dans la direction du tirant. Les murs en maçonnerie, porteurs ou non, se comportent comme des diaphragmes, indéformables dans leurs propres plans verticaux ou des plans parallèles. Cependant, dans le cas de risques sismiques, la plupart de ces liaisons ne suffisent pas à faire face aux oscillations qui secouent l'ensemble du bâti.

Dans les anciens bâtiments de Paris, il n'y a pas de liaisons par encastrement (consoles des balcons en pierre de taille exceptés) : les structures sont isostatiques et ne sont jamais hyperstatiques. Les encastresments ne sont observables que dans les ossatures en acier ou en béton armé, notamment pour assurer leur stabilité latérale (vent, tremblement de terre), c'est-à-dire pour maintenir des angles indéformables entre membrures et leur transmettre des moments de flexion en sus des forces verticales (poids propre et charges d'exploitation).

Les proportions des ouvrages de structure préindustriels – tels que les murs porteurs, les poutres et les solives de planchers répartis dans l'espace bâti, ou les arcs et voûtes en maçonnerie – nous donnent des indications sur leur rôle dans l'ensemble bâti ainsi que sur les standards d'épaisseur, de hauteur et largeur des sections transversales. Pour apprécier visuellement les dimensions des ouvrages, il est recommandé de s'exercer à la pratique du relevé dessiné, effectué sur place, ou encore de participer à des chantiers de construction ou de transformation du bâti.

Voici ce que l'on peut apprendre en relevant un certain nombre d'entre eux avec opiniâtreté⁽¹⁵⁾ :

– Un bâtiment ancien est toujours en contact direct avec le sol – il a les pieds sur terre. Il peut se tasser verticalement de façon différenciée dans des sols hétérogènes et selon les saisons (par variation de leur teneur en air et en eau), d'où les fréquentes ondulations que l'on peut observer dans les murs périmétriques sur les bandeaux, corniches, linteaux et plates-bandes appareillées. Exception faite de l'étage en retrait, principalement présent au XIX^e siècle, il n'y a pas de façades portées comme dans les constructions d'aujourd'hui.

(14) Voir chapitre 1.

(15) Bien que la région parisienne ne soit pas classée en zone sismique, les remarques qui suivent peuvent contribuer à mieux comprendre les efforts qui s'exercent sur des bâtiments similaires dans d'autres zones sujettes à ces risques, notamment en ce qui concerne les conditions de stabilité latérale.

– On n’observe pas de semelles⁽¹⁶⁾ de fondations dans les bâtiments anciens, l’épaisseur des murs en fond de fouille étant le plus souvent suffisante pour répartir les contraintes à ce niveau. En cas contraire, des retraites successives sont pratiquées dans les maçonneries selon un angle incliné à 60° (règle empirique de non-traction dans ce matériau), avec ou sans libages, empêchant le fractionnement transversal de la fondation.

– Les planchers anciens ne se comportent pas en plaques rigides – comme les dalles pleines en béton armé redistribuant les efforts horizontaux sur les composants verticaux (murs et poteaux). Dans les zones sismiques, les poutres et solives sont déformables dans leurs propres plans en fonction des matériaux intercalaires : une des raisons constatées de l’effondrement des murs en maçonnerie réside dans l’absence de tirants et d’ancrages au niveau des planchers, pour rediriger les sollicitations sur des murs diaphragmes, dans les plans verticaux qui supportent lesdits planchers.

– Une partie des forces horizontales en provenance de l’extérieur, exercées sur les charpentes de combles, s’applique aux extrémités des pannes (faîtière, sablières et intermédiaires) qui doivent être chaînées et ancrées aux pignons maçonnés. Les contrefiches offrent un supplément de rigidité longitudinale. Cependant, en cas de séismes, lorsqu’il y a déficience de tirants au niveau du plan horizontal d’appui des fermes, les composantes horizontales transmises par les entrants et les arêtiers sur les murs d’appuis peuvent se traduire par des sortes de coups de bélier provoquant des éclatements locaux dans les maçonneries voisines et occasionnant des ruines partielles. Rappelons qu’il faut au moins trois plans verticaux non concourants et travaillant ensemble – c’est-à-dire reliés par des membrures faisant fonction de tirants – pour résister à la pesanteur et aux forces latérales en provenance de l’extérieur.

– On constate des déficits de contreventement à certaines époques, notamment à Paris aux XVI^e et XVII^e siècles dans les constructions sur parcellaire étroit et profond avec planchers apparents et poutres maîtresses perpendiculaires aux murs mitoyens (solivage tant pleins que vides). Le sous-sol ainsi que l’espace associé à la charpente du comble (habitable ou non) peuvent être considérés comme étant stables latéralement (voir fig. 7.66). Toutefois, les étages courants ne disposent généralement pas de dispositifs assurant l’indéformabilité transversalement aux corps de bâti disposés entre rue et cour⁽¹⁷⁾. Il n’est pas rare de constater un flambage local des murs mitoyens au

voisinage du milieu d’un corps de bâti, entre le rez-de-chaussée et le premier étage. Ce sont les parcelles d’angle, dont les murs mitoyens sont perpendiculaires aux murs sujets au flambage des parcelles courantes, qui contribuent de proche en proche à la stabilité d’ensemble, par l’intermédiaire des poutres des planchers d’une série de maisons construites pareillement. On est alors dans le cas d’une *statique d’îlot* appliquée à certaines de ses parties, ce qui oblige à être très attentif aux désordres pouvant se produire lorsque l’on démolit sans précaution une ou plusieurs maisons d’une série solidaire partageant une stabilité latérale de complément (voir remarque § 7.5.5).

– Les règles de mitoyenneté s’imposent dans une grande partie des coutumes de villes anciennes – excepté celles où l’on trouve des pans de bois en limite de propriété, ouvrages dont la possession ne peut être partagée (ils sont généralement dédoublés de chaque côté, en raison de risques de propagation d’incendie notamment, et l’intervalle entre ceux-ci résultant des déformations des pans de bois doit être protégé contre les intempéries).

7.7.3 Principales étapes de la méthode

Le résumé qui suit récapitule les principales étapes déjà effectuées. Il servira également de guide pour les suivantes, qui vont être décrites dans leurs particularités, afin d’aboutir à un diagnostic conclusif.

7.7.3.1 Enquête préliminaire (voir chap. 1, 2 et 3)

Étude du contexte par approximations successives et convergence pour acquérir une compréhension globale des interactions entre l’édifice et son environnement naturel et artificiel (échelle du 1/2 000 et du 1/500).

- Site géographique :
 - relief et hydrographie : courbes de niveau, lignes de crête et thalwegs (collecte et régime des eaux, couches de terrain et sol d’assise dont les données de nivellement),
 - couvert végétal ;
- forme urbaine, type constructif :
 - réseau viaire (mode de formation, pôles majeurs, hiérarchies, limites de croissance, etc.),
 - processus de division du sol (parcellaire : alignement, mitoyenneté, front et fond de parcelle),
 - bâti et non bâti : emprise au sol en relation avec les rues, les cours, les jardins,
 - composition des corps de bâti (simples, doubles, triples en épaisseur) et accessibilité (implantations des accès, passages cochers ou non, cages d’escalier et disposition de la séquence d’accès),
 - identification du type d’édifice sur sa parcelle foncière (lecture historique),
 - nombre de niveaux (sous-sols, étages « carrés », étages et profil du comble) et COS,

(16) « Semelle » signifie ici « double console inversée » pour assurer une surface portante adéquate en fond de fouille.

(17) Il existe des cas de pans de bois incorporés entre deux maîtresses-poutres, mais cela est peu courant.

- intervalles structuraux (entre murs périphériques et refends) et sens de portée des planchers,
- gabarits urbains et prospects (rues, cours), coutumes, servitudes et règlements.

7.7.3.2 Relevé d'anatomie constructive (voir chap. 4 à 18⁽¹⁸⁾)

Relevé par approximations successives selon l'accessibilité, le temps disponible, la complexité de l'édifice, son état de conservation, la compétence de l'enquêteur (échelle du 1/100 et 1/50) :

- Identification et relevé des principaux ouvrages structuraux resitués dans la structure d'ensemble (ouvrages et interfaces). Les ouvrages de second œuvre ne sont pas reportés, sauf en cas d'incidence sur la structure ;
- relevé exhaustif et fiable (distinction entre ouvrages réellement observés et ouvrages conjecturés) ;
- sélection des dimensions et des cotes pour effectuer la phase suivante (évaluation de la capacité structurale, c'est-à-dire, principalement, de la capacité portante), lecture spatiale et constructive si possible dans les unités de mesure d'origine ;
- relevés des ouvrages de structure *en l'état* avec leur pathologie constatée (désordres, altérations, voir partie 3) :
 - déformations géométriques (différences de niveaux, faux aplombs, flèches, inclinaisons, flambements, etc.),
 - fissures structurales (mouvements dans œuvre ou hors œuvre),
 - altérations des matériaux (décomposition des mortiers, corrosions des métaux, insectes lignivores, champignons).

7.7.3.3 Analyse quantitative (voir chap. 28)

Étude hors site préparant la campagne d'auscultation (processus inversé de la construction neuve)

Les ouvrages préexistent au programme d'affectation, qui doit rester compatible avec leur capacité structurale et spatiale.

- Schémas statiques (voir § 7.5 et § 28.4.1) décrivant graphiquement le cheminement le plus probable des forces dans les ouvrages structuraux sous l'action des charges verticales et des efforts horizontaux, du faitage aux fondations et couches de terrain concernées (représentation sur au moins trois projections orthogonales). Ils visualisent la hiérarchie structurale : distribution des charges, liaisons entre ouvrages, transferts ;
- vérification des principales fonctions structurales, à l'exception de la résistance qui doit être évaluée à la suite du schéma statique : stabilité, indéformabilité – par triangulation, mur diaphragme, encastrement (rare dans l'an-

- cohésion d'ensemble (chaînages et ancrages) ;
- descente de charges quantifiant les efforts dans chaque ouvrage selon la modélisation du schéma statique (voir § 28.4.1). À l'inverse de la construction neuve, les charges d'exploitation ne sont pas connues (processus inversé de conception). La descente de charges s'effectue selon la méthode dite du « tabouret » dans les zones structurellement répétitives comme dans les zones critiques (transferts, zones vulnérables à l'eau et à l'humidité). Pour chaque élément porteur sont déterminées l'intensité des charges permanentes Q et la surface concernée A , selon un partage par plans médiateurs entre appuis ;
- détermination de la capacité portante théorique P de chaque élément (voir § 28.4.3), abstraction faite de son degré de vétusté (charge d'exploitation théorique s en kN/m^2), répertoire des éléments⁽¹⁹⁾ ;
- classification des éléments structuraux selon leurs caractères (voir § 28.4.4) : déficients (sous-dimensionnés), suffisants (correctement dimensionnés) ou surabondants (surdimensionnés).

7.7.3.4 Examen clinique

Campagne d'auscultation et de sondages (voir § 28.5.2)

- Sélection des éléments de structure à inspecter (éléments suffisants et surabondants) en priorité dans les zones critiques ou à risque (transferts structuraux, exposition à l'eau et à l'humidité sous toutes leurs formes, internes et externes) ;
- campagne d'auscultation et sondages, *systématiques* pour les éléments principaux de la structure, *statistiques* pour les éléments secondaires et répétitifs. Vérification, en effectuant trois sondages par élément (un à chaque extrémité et un à mi-longueur), des poitrails, des poutres, des solives d'enchevêtrement, des chevêtres, des solives courantes, des arbalétriers, des tirants, des pannes, des piliers, des poteaux, des colonnes, des trumeaux, des murs en maçonnerie, des linteaux, des plates-bandes, des voûtes, des fondations, etc. ;
- détermination de la capacité portante réelle P' pour chaque élément, compte tenu des sections saines S' constatées, d'où la charge d'exploitation admissible s' (kN/m^2) ; (voir § 28.4.3) ;
- récapitulatif des éléments à renforcer ou à remplacer.

(18) Dans le chapitre 7, voir en particulier § 7.2 et 7.3.

(19) Pour les composants des planchers, $s_1 > 1,5 \text{ kN/m}^2$ (usage résidentiel) et $s_2 > 2,5 \text{ kN/m}^2$ (usage de bureaux).

Table des matières

	Sommaire	5
	Avant-propos	7
Partie 1	Reconnaissance du bâtiment par approximations successives	9
1	Tour d'ensemble	11
1.1	Disposition de l'édifice sur la parcelle foncière	12
1.2	Première approximation de la morphologie du bâti	22
1.2.1	Examen des façades : disposition usuelle des ouvertures	22
1.2.1.1	Mode de cheminement des charges	23
1.2.1.2	Façades organiques et façades ordonnancées	31
1.2.2	Disposition courante en strates d'occupations distinctes	31
1.2.2.1	Repérage des étages	35
1.2.2.2	Hauteur totale estimée	35
1.2.2.3	Groupement des niveaux	37
1.2.3	Signes visibles permettant d'identifier les matériaux constitutifs des murs de face	41
1.3	Récapitulatif des observations à transcrire	46
1.3.1	Fond parcellaire	46
1.3.2	Façade principale sur rue	47
2	Spécialisation fonctionnelle des parois	51
2.1	Murs périphériques assurant le clos	51
2.1.1	Murs de face	51
2.1.2	Murs mitoyens	61
2.1.3	Murs gouttereaux et murs pignons	67
2.2	Murs intérieurs de refend	67
2.2.1	Refends transversaux	67
2.2.2	Refends longitudinaux	70
2.3	Murs recevant les conduits de cheminée	71
2.4	Murs d'échiffre	75

2.5	Murs enterrés et fondations superficielles	78
2.5.1	Épaisseur de la maçonnerie.....	78
2.5.2	Fondations dans les sols plus compressibles.....	78
2.6	Fonctions classificatoires des murs	82
2.7	Récapitulatif des observations à transcrire	83
3	Variations de structure entre étages	87
3.1	Rez-de-chaussée et entresol	87
3.1.1	Rez-de-chaussée.....	87
3.1.2	Entresol.....	88
3.1.3	Transferts statiques des charges des étages d'habitation.....	88
3.2	Étage principal dit « étage de l'occupant privilégié »	89
3.3	Étages courants	89
3.4	Étages sous comble	90
3.5	Niveaux en sous-sol	90
3.6	Récapitulatif des observations à transcrire	91
4	Charpente du comble	93
4.1	Plan de toiture et géométrie du comble	93
4.2	Coupes en travers	95
4.2.1	Principales pièces de charpente.....	95
4.2.2	Lucarnes.....	95
4.3	Coupes en long	98
4.4	Facteurs influençant la forme du comble	100
4.4.1	Morphologie du comble.....	100
4.4.2	Habitabilité.....	104
4.4.3	Gabarit municipal.....	104
4.4.4	Présence de fermes.....	104
4.5	Types usuels de fermes de comble	105
4.5.1	Ferme élémentaire à pannes intermédiaires.....	105
4.5.2	Ferme à faux entrain.....	105
4.5.3	Ferme à entrain retroussé et arbalétrier discontinu dite « comble à surcroît ».....	106
4.5.4	Ferme à entrain retroussé et arbalétrier continu dite « à entrain retroussé ».....	110
4.5.5	Comble brisé à la Mansart.....	110
4.5.5.1	Dispositifs canoniques.....	110
4.5.5.2	Dispositifs simplifiés.....	119
4.5.6	Comble cylindrique.....	119
4.5.7	Comble à une pente.....	120

4.5.8	Comble avec fermes-chevrons	122
4.5.9	Comble en fer	122
4.5.9.1	Transposition simplifiée en métal des fermes en bois	123
4.5.9.2	Charpente en fer supportant des verrières	123
4.6	Récapitulatif des observations à transcrire	124
5	Planchers et voûtes	127
5.1	Repérage des intervalles structuraux	127
5.1.1	Report des points d'appuis et des parois	127
5.1.2	Identification du type de travure	128
5.2	Recherche du sens de portée du plancher haut de l'étage déterminant	129
5.2.1	Conjecturer le sens de portée	129
5.2.2	Indices pour identifier le sens de portée d'une travure de plancher	130
5.2.3	Synthèse des indications relevées	135
5.3	Identification de la travure par rapport aux types courants	138
5.3.1	Plancher à travure simple	138
5.3.2	Plancher à travure composée à la française	141
5.3.2.1	Identification du plancher à la française	141
5.3.2.2	Variante de plancher composé avec maîtresse poutre	146
5.3.3	Plancher composé à solives d'enchevêtrement dit aussi « plancher d'assemblage à système d'enchevêtrement »	147
5.3.3.1	Intérêt du dispositif	147
5.3.3.2	Trémies de cheminée	149
5.3.3.3	Pérennité du système à enchevêtrement	152
5.4	Identification du matériau	156
5.4.1	Mesure de la portée	156
5.4.2	Mesure de l'épaisseur du plancher	156
5.4.3	Datation de l'édifice	158
5.5	Travure des autres niveaux	159
5.5.1	Étage en retrait	159
5.5.1.1	Importance du retrait	159
5.5.1.2	Transfert statique	160
5.5.1.3	Étages d'habitation incorporés dans les combles	164
5.5.2	Plancher haut du rez-de-chaussée	164
5.5.2.1	Transfert statique de façade et du plancher haut de rez-de-chaussée	164
5.5.2.2	Appuis ponctuels	164
5.5.2.3	Poitrails et pièces maîtresses de charpente	166
5.5.3	Niveaux en sous-sol : voûtes et planchers en fer	171
5.6	Récapitulatif des observations à transcrire	173
6	Cages d'escalier	175
6.1	L'escalier principal, un lieu significatif de l'édifice	175

6.2	Relevé des dispositions d'ensemble	176
6.2.1	Escalier principal, escalier de service.....	176
6.2.2	Types d'escaliers.....	176
6.2.2.1	Escaliers à vis.....	176
6.2.2.2	Escaliers rampe sur rampe.....	176
6.2.2.3	Escaliers suspendus à la poutre palière.....	184
6.2.2.4	Escaliers suspendus avec volée droite entre deux quartiers tournants.....	184
6.2.2.5	Escaliers sur plan polygonal.....	184
6.2.3	Limons à la française et limons à crémaillère.....	186
6.2.4	Changements de position et de forme de la cage d'un groupe de niveaux à l'autre.....	189
6.3	Examen des parois de chaque cage	191
6.3.1	Cage à cheval sur deux corps de bâti.....	191
6.3.2	Rôle dérivé de la cage : recevoir des canalisations de service.....	191
6.3.3	Cages entièrement portées par les travures de plancher.....	191
6.3.4	Cages intérieures servant de courettes d'éclairage et de ventilation.....	191
6.4	Examen des paliers et volées	192
6.5	Récapitulatif des observations à transcrire	192
7	Seconde approximation : synthèse de la structure, élaboration des schémas statiques, détails d'ouvrages	197
7.1	Visualiser la structure dans son ensemble	197
7.1.1	Rôle essentiel des coupes verticales.....	197
7.1.2	Caractériser la structure.....	204
7.1.3	Choisir les plans de coupe appropriés décrivant la structure d'ensemble.....	204
7.1.4	Relever le bâti tel qu'il est.....	204
7.1.4.1	Déformations des parois et des planchers.....	204
7.1.4.2	Anomalies courantes dues à des transformations.....	207
7.1.4.3	Ouvrages de second œuvre présentant des risques pour la structure.....	207
7.2	Profils détaillés des supports verticaux	207
7.2.1	Variations d'épaisseur des murs de façade.....	209
7.2.1.1	Profils et chargement dissymétriques.....	209
7.2.1.2	Quelques dimensions caractéristiques.....	213
7.2.2	Profil centré des murs mitoyens.....	213
7.2.3	Profil centré des murs de refend.....	215
7.2.4	Épaisseur constante des murs incorporant les conduits de cheminée.....	215
7.2.5	Chaînes verticales et horizontales en pierre de taille dans les parois en maçonnerie (chaînages en fer, chaînages en bois).....	223
7.2.5.1	Chaînes en maçonnerie de pierre de taille.....	223
7.2.5.2	Chaînes, tirants et ancras en fer.....	226
7.2.5.3	Chaînage en bois.....	229
7.2.6	Parois formées d'ossatures avec remplissages : pans de bois et pans de fer.....	229
7.2.6.1	Pans de bois.....	234
7.2.6.2	Pans de fer.....	245

7.3	Divers détails d'ouvrages de structure	245
7.3.1	Planchers en bois : équarrissage des solives	245
7.3.2	Planchers en fer : hauteur courante des profilés.....	247
7.3.3	Identification des hourdis de planchers par rapport aux types courants.....	249
7.3.3.1	Les « ais » en bois.....	249
7.3.3.2	Planchers « creux » avec augets.....	249
7.3.3.3	Hourdis pleins	250
7.3.3.4	Hourdis en plâtre et plâtras des planchers en fer	250
7.3.3.5	Voûtains en brique pleine ou creuse entre profilés métalliques.....	252
7.3.3.6	Hourdis en céramique creuse.....	252
7.3.4	Examen des paliers et volées d'escalier	253
7.3.4.1	Types de limons.....	253
7.3.4.2	Emmarchements.....	255
7.3.5	Équarrissage des pièces de charpente des combles	256
7.3.6	Chaînages et ancrages en fer.....	257
7.4	Couvrement des baies dans les parois en maçonnerie	260
7.4.1	Dispositifs de baie ordinaire.....	260
7.4.2	Linteaux et arrière-linteaux.....	260
7.4.3	Poitrails et filets.....	261
7.4.3.1	Poitrails en bois et en fer.....	262
7.4.3.2	Appuis et chaînages des poitrails	263
7.4.4	Arcs, plates-bandes appareillées en pierre de taille, arcs de décharge.....	264
7.4.4.1	Arcs et types d'appareils.....	264
7.4.4.2	Plates-bandes appareillées en pierre de taille ou en brique	265
7.4.4.3	Arcs de décharge.....	267
7.4.5	Baies dans les sous-sols.....	269
7.5	Schémas statiques	270
7.5.1	Double démarche : des composants à l'ensemble et de l'ensemble aux composants.....	270
7.5.2	Premières étapes du schéma statique	271
7.5.3	Différence entre le schéma statique à élaborer dans un bâtiment existant et celui d'un bâtiment à construire.....	271
7.5.4	Redondances, surabondances et insuffisances structurales	271
7.5.5	Indéformabilité et cohésion d'ensemble.....	272
7.5.5.1	Stabilité latérale ou contreventement.....	272
7.5.5.2	Cohésion d'ensemble.....	272
7.5.6	Schéma statique en plan	272
7.5.7	Schémas statiques en coupe et en élévation : descentes de charges rendues visibles graphiquement.....	273
7.5.7.1	Quelques cas courants.....	275
7.5.7.2	Mode de cheminement des charges	277
7.5.8	Étude de cas	277
7.5.8.1	Schéma statique d'une maison parisienne ordinaire : étude sommaire en plan et en coupe transversale.....	277
7.5.8.2	Schéma statique de la façade sur rue de la même maison	279
7.5.9	Caractérisation de la structure.....	279
7.5.9.1	Une morphologie composite	279
7.5.9.2	Caractéristiques de structure des bâtiments préindustriels.....	280

7.6	Coupes complémentaires sur des espaces et ouvrages particuliers	281
7.7	Méthode de diagnostic de la structure	281
7.7.1	Inspection des ouvrages de second œuvre.....	281
7.7.2	Une démarche par approximations successives.....	281
7.7.3	Principales étapes de la méthode.....	284
7.7.3.1	Enquête préliminaire (voir chap. 1, 2 et 3).....	284
7.7.3.2	Relevé d'anatomie constructive (voir chap. 4 à 18).....	285
7.7.3.3	Analyse quantitative (voir chap. 28).....	285
7.7.3.4	Examen clinique.....	285

Partie 2 Principaux ouvrages de structure..... 287

8	Murs et maçonneries	289
8.1	Types de murs	289
8.1.1	Murs de fondation.....	289
8.1.2	Murs de face.....	290
8.1.3	Murs mitoyens.....	290
8.1.4	Murs de refend.....	290
8.1.5	Murs d'allège.....	292
8.2	Maçonnerie	293
8.2.1	Maçonnerie en pisé.....	293
8.2.2	Maçonnerie de moellon.....	293
8.2.2.1	Types de moellons.....	294
8.2.2.2	Principe de mise en œuvre.....	295
8.2.3	Maçonnerie de brique.....	296
8.2.3.1	Formats de briques.....	296
8.2.3.2	Possibilités de mise en œuvre.....	296
8.2.4	Maçonnerie de libage.....	297
8.2.5	Maçonnerie de pierre de taille.....	297
8.2.5.1	Traitement des joints.....	297
8.2.5.2	Mise en œuvre.....	297
8.2.6	Maçonnerie mixte.....	298
8.2.6.1	Chaînages horizontaux.....	298
8.2.6.2	Chaînages verticaux.....	299
8.3	Altérations	301
8.3.1	Mortiers.....	301
8.3.1.1	Action des eaux de pluie.....	301
8.3.1.2	Action des eaux dans le sol.....	301
8.3.2	Maçonnerie.....	301
8.3.2.1	Action des eaux en provenance du sol.....	301
8.3.2.2	Action des eaux de pluie.....	301
9	Paramètres de stabilité des murs	303
9.1	Mode de fonctionnement d'un mur	303
9.1.1	Rôle des planchers.....	303
9.1.2	Type d'assemblage entre murs et planchers.....	303

9.2	Incidence du frottement physique dans la résistance d'une maçonnerie à la décohesion	304
9.3	Capacité de résistance à la traction d'un chaînage horizontal en maçonnerie	305
9.3.1	Chaînage constitué de deux assises superposées	305
9.3.2	Chaînage constitué de trois, quatre ou <i>i</i> assises superposées	305
9.4	Détermination de l'épaisseur d'un mur avec ou sans contreforts	306
9.4.1	Stabilité et résistance d'un mur à la flexion verticale	306
9.4.1.1	Stabilité	306
9.4.1.2	Résistance	308
9.4.2	Stabilité d'un mur avec contreforts	309
9.5	Incidence des tirants dans la stabilité d'ensemble d'un édifice	309
9.5.1	Estimation de l'effort horizontal à reprendre par des tirants à chaque étage	309
9.5.1.1	Calcul de la tension d'un tirant	309
9.5.1.2	Application numérique : détermination de la tension d'un tirant	311
9.5.1.3	Calcul de la section du tirant et conclusion	313
9.5.2	Ancrages des tirants	313
9.6	Résistance à la compression d'un mur en maçonnerie, contrainte maximale admissible	313
9.7	Capacité portante théorique d'un trumeau ou d'un mur en maçonnerie	316
9.7.1	Capacité portante théorique d'une pile ou d'un trumeau	316
9.7.2	Capacité portante théorique par mètre linéaire de mur	316
10	Éléments monolithes de section rectangulaire soumis à la flexion	317
10.1	Capacité portante d'un balcon constitué de dalles de pierre en porte-à-faux	317
10.1.1	Stabilité des balcons	317
10.1.2	Vérification de la résistance propre de la pierre	317
10.1.2.1	Exemple d'utilisation	318
10.1.3	Charge d'exploitation	318
10.1.4	Vérification de l'encastrement	318
10.1.4.1	Exemple chiffré	319
10.2	Capacité portante d'un corbeau ou d'une console	320
10.3	Capacité portante d'un balcon soutenu par des consoles	320
10.3.1	Résistance à la flexion des consoles	320
10.3.1.1	Calcul des moments	320
10.3.1.2	Contrainte dans la console	322
10.3.2	Vérification de la stabilité	322
10.3.3	Vérification de la résistance à la flexion de la dalle du balcon	322
10.3.4	Résistance à la torsion de la plate-bande appareillée	322
10.3.4.1	Forces de compression dans la plate-bande	323
10.3.4.2	Moment de stabilité	323
10.3.4.3	Moment de renversement	324
10.3.4.4	Conclusion	324
10.4	Capacité portante d'une marche d'escalier ou d'un linteau	326
10.4.1	Marche ou linteau posé sur deux appuis	326
10.4.2	Marche en console	326

11	Fondations	327
11.1	Fondations sur bon sol	327
11.1.1	Sous un mur.....	327
11.1.2	Sous un poteau ou une colonne	328
11.2	Fondations sur mauvais sol	328
11.2.1	Par pieux.....	328
11.2.2	Par radier ou grille de charpente.....	329
11.2.3	Par excavation et remplacement du mauvais sol.....	330
11.2.4	Par puits forcés à la main.....	330
11.3	Détermination de la capacité portante d'une fondation sur bon sol	330
11.3.1	Sous un mur.....	331
11.3.1.1	Exemple.....	331
11.3.2	Sous un poteau ou une colonne	331
11.3.2.1	Exemple.....	331
11.4	Reconnaissance des fondations	331
11.5	Fondations sensibles à examiner attentivement	331
11.5.1	Fondations fortement sollicitées eu égard à leur capacité portante	331
11.5.2	Fondations situées sous des murs présentant des signes de tassement différentiel	331
12	Calcul des voûtes	333
12.1	Épure de Méry	333
12.2	Analyse théorique de l'arc en plein cintre soumis à une charge uniformément répartie	333
12.2.1	Forces sollicitant l'arc.....	333
12.2.2	Tracé de la ligne des pressions.....	334
12.2.2.1	Tracé par amortissement	334
12.2.2.2	Méthode du funiculaire	334
12.2.3	Joint de rupture de l'arc.....	334
12.2.4	Ligne des pressions redressée.....	335
12.3	Méthode appliquée du calcul de l'arc en plein cintre	335
12.3.1	Méthode graphique du tracé de la ligne des pressions passant par des joints définis à l'avance	336
12.3.2	Détermination des charges appliquées à la voûte.....	337
12.3.3	Méthode de détermination des joints de rupture.....	337
12.4	Cas d'une voûte symétrique	338
12.4.1	Détermination des forces extérieures	338
12.4.2	Tracé de la ligne des pressions.....	338
12.4.3	Cas de l'arc en plein cintre.....	338
12.5	Arc en plein cintre sous charge dissymétrique	341
12.5.1	Détermination de la ligne des pressions.....	341
12.5.2	Vérification de la contrainte maximale dans l'arc ou dans la voûte	343

13	Pan de bois	345
13.1	Définition du pan de bois	345
13.2	Composition du pan de bois	345
13.2.1	Pièces de structure	345
13.2.2	Pièces de remplissage	346
13.3	Types de construction	346
13.3.1	Édifices entièrement en pan de bois	347
13.3.2	Édifices en pan de bois et maçonnerie	347
13.3.3	Édifices en pan de bois mais à stabilité assurée par la maçonnerie	347
13.4	Schématisme et classification statique des pans de bois	347
13.4.1	Portique à montants multiples	347
13.4.2	Cadre à montants multiples	347
13.5	Typologie et classification	347
13.5.1	Type 1 : superposition de cadres porteurs de plancher, avec ou sans encorbellement	347
13.5.2	Type 1 bis : superposition de cadres porteurs de plancher, avec longs bois	348
13.5.3	Type 2 : superposition de cadres porteurs ou non de plancher	348
13.5.4	Type 2 bis : superposition de cadres porteurs ou non de plancher, avec longs bois	349
13.5.5	Type 3 : superposition de portiques porteurs ou non de plancher	349
13.5.6	Type 3 bis : superposition de portiques porteurs ou non de plancher, avec long bois	349
13.5.7	Type 4 : superposition de portiques porteurs de plancher, avec sablière de chambrée	350
13.5.8	Type 4 bis : superposition de portiques porteurs de plancher, avec sablière de chambrée et longs bois	350
13.6	Stabilité et résistance	350
13.6.1	Analyse <i>in situ</i> du rôle du pan de bois dans la construction	351
13.6.2	Analyse des contraintes et vérification par le calcul	351
13.6.1	Principes statiques	351
13.6.1.1	Assemblage des pièces de bois	351
13.6.1.2	Efforts dus au vent	351
13.6.1.3	Cadres à montants multiples	352
13.6.1.4	Portiques à traverses multiples avec sablière de chambrée	353
13.6.2	Exemple de schéma statique et descente de charges	353
13.6.2.1	Détermination des charges linéaires sur la façade	356
13.6.2.2	Analyse des charges verticales	356
13.6.2.3	Analyse de la poussée due au vent	356
13.6.3	Calcul de la capacité portante du pan de bois	357
13.6.3.1	Vérification du poteau le plus chargé	357
13.6.3.2	Vérification de l'écharpe la plus chargée	358
13.6.3.3	Vérification de l'assemblage, à tenon et mortaise à épaulement, entre un poteau de fond et la sablière	358
13.6.3.4	Conclusion	360
14	Pan de fer	361
14.1	Composition d'un pan de fer	361
14.1.1	Poteaux	362

14.1.2	Sablières	362
14.1.3	Assemblage entre poteau et sablière.....	362
14.1.4	Traverses et linteaux.....	362
14.1.4.1	Traverses.....	362
14.1.4.2	Linteaux	362
14.1.5	Semelle	365
14.1.6	Remplissage.....	365
14.1.7	Dimensionnement des pièces	365
14.2	Calcul de la capacité portante d'un pan de fer	365
14.2.1	Données du calcul.....	365
14.2.2	Valeur du flambement.....	366
14.2.3	Vérification de la force admissible.....	366
14.2.4	Capacité portante disponible pour les charges d'exploitation.....	367
14.3	Reconnaissance des pans de fer et points sensibles	367
14.3.1	Identification des pans de fer.....	367
14.3.2	Points à examiner attentivement	367
15	Planchers en bois	369
15.1	Incidence du mode de production sur la qualité des pièces de bois	369
15.1.1	Bois de brin	369
15.1.2	Bois de sciage	369
15.2	Types principaux de travures.....	370
15.2.1	Plancher à travure simple ou vulgaire	370
15.2.2	Plancher à la française.....	370
15.2.3	Plancher à solives d'enchevêtrement.....	370
15.3	Relevé de la travure	370
15.3.1	Nombre de pièces limité	370
15.3.2	Grand nombre de pièces	371
15.4	Détermination des capacités portantes	371
15.4.1	Objectif : le classement des pièces de bois.....	371
15.4.1.1	Pièces surdimensionnées	371
15.4.1.2	Pièces justement dimensionnées	371
15.4.1.3	Pièces sous-dimensionnées	371
15.4.2	Caractéristiques mécaniques du bois retenues pour les calculs.....	371
15.4.3	Conditions de résistance en toute sécurité.....	371
15.4.3.1	Condition de déformation ou condition de flèche.....	372
15.4.3.2	Condition de résistance à la flexion.....	372
15.4.3.3	Condition de résistance au cisaillement	373
15.4.4	Données de calcul.....	373
15.4.4.1	Pièce uniformément chargée sur toute sa longueur	373
15.4.4.2	Pièce sollicitée par une charge ponctuelle	373
15.4.4.3	Pièce sollicitée par deux charges ponctuelles symétriques	373
15.5	Plancher à la française.....	375
15.5.1	Détermination de la capacité portante théorique de la poutre	375

15.5.1.1	Déformation en flexion	375
15.5.1.2	Rupture par flexion	375
15.5.1.3	Rupture par cisaillement	376
15.5.1.4	Conclusions de la vérification de la poutre	376
15.5.2	Détermination de la capacité portante théorique de la solive	376
15.5.2.1	Déformation en flexion	376
15.5.2.2	Rupture par flexion	376
15.5.2.3	Rupture par cisaillement	377
15.5.2.4	Conclusions de la vérification de la solive	377
15.5.3	Conclusions de la vérification du plancher à la française	377
15.6	Plancher à solives d'enchevêtrement	377
15.6.1	Détermination des capacités portantes théoriques de la solive d'enchevêtrement	377
15.6.1.1	Déformation en flexion	377
15.6.1.2	Rupture par flexion	377
15.6.1.3	Rupture par cisaillement	379
15.6.1.4	Conclusions de la vérification de la solive d'enchevêtrement	379
15.6.2	Détermination des capacités portantes théoriques du linçoir	379
15.6.2.1	Déformation en flexion	379
15.6.2.2	Rupture par flexion	379
15.6.2.3	Rupture par cisaillement	379
15.6.2.4	Conclusions de la vérification du linçoir	380
15.6.3	Détermination des capacités portantes théoriques de la solive de remplage	380
15.6.3.1	Déformation en flexion	380
15.6.3.2	Rupture par flexion	380
15.6.3.3	Rupture par cisaillement	380
15.6.3.4	Conclusions de la vérification de la solive de remplage	380
15.6.4	Conclusions de la vérification du plancher à solives d'enchevêtrement	380
15.6.5	Vérification des assemblages entaillés	381
15.6.6	Vérification du tenon à épaulement de la solive de remplage	381
15.6.7	Vérification du tenon à épaulement du linçoir	381
15.7	Auscultation des pièces	382
16	Planchers en fer	383
16.1	Conception générale de l'ossature	383
16.1.1	Profilés utilisés	383
16.1.2	Appuis des poutres et solives	383
16.1.3	Cintrage des solives	386
16.1.4	Poutres jumelées : filet ou poitrail	386
16.1.5	Assemblage des poutres et poutrelles	390
16.1.6	Entretoisement des poutrelles et types de hourdis	390
16.1.6.1	Hourdis en plâtre	390
16.1.6.2	Hourdis en terre cuite	391
16.2	Données pour la détermination de la capacité portante	392
16.2.1	Évolution des valeurs des contraintes admissibles	392
16.2.2	Données à établir et valeurs à retenir pour les calculs	393

16.2.2.1	Date de construction.....	393
16.2.2.2	Type de métal.....	393
16.2.2.3	Relevé des sections.....	393
16.2.2.4	Valeurs à retenir pour le calcul de la capacité portante d'un profilé.....	393
16.3	Plancher composé en fer.....	395
16.3.1	Composition de la travure.....	395
16.3.2	Détermination de la capacité portante théorique de la poutre.....	395
16.3.2.1	Déformation en flexion.....	395
16.3.2.2	Rupture par flexion.....	396
16.3.2.3	Rupture par cisaillement.....	396
16.3.2.4	Conclusions de la vérification de la poutre-filet.....	396
16.3.3	Détermination de la capacité portante théorique de la poutrelle.....	396
16.3.3.1	Déformation en flexion.....	396
16.3.3.2	Rupture par flexion.....	396
16.3.3.3	Rupture par cisaillement.....	397
16.3.3.4	Conclusions de la vérification de la poutrelle.....	397
16.3.4	Vérification des conditions d'appuis.....	397
16.4	Plancher à solives d'enchevêtrement.....	397
16.4.1	Composition de la travure.....	397
16.4.2	Détermination de la capacité portante théorique de la solive d'enchevêtrement.....	399
16.4.2.1	Déformation en flexion.....	399
16.4.2.2	Rupture par flexion.....	399
16.4.2.3	Rupture par cisaillement.....	399
16.4.2.4	Conclusions de la vérification de la solive d'enchevêtrement.....	400
16.4.3	Détermination de la capacité portante théorique du linçoir.....	400
16.4.3.1	Déformation en flexion.....	400
16.4.3.2	Rupture par flexion.....	400
16.4.3.3	Rupture par cisaillement.....	400
16.4.3.4	Conclusions de la vérification du linçoir.....	400
16.4.4	Détermination de la capacité portante théorique de la solive de remplissage.....	400
16.4.4.1	Déformation en flexion.....	400
16.4.4.2	Rupture par flexion.....	401
16.4.4.3	Rupture par cisaillement.....	401
16.4.4.4	Conclusions de la vérification de la solive de remplissage.....	401
16.4.5	Conclusions de la vérification du plancher à solives d'enchevêtrement.....	401
16.5	Reconnaissance des planchers métalliques et points sensibles.....	401
16.5.1	Identification des planchers.....	401
16.5.2	Points sensibles.....	401
17	Escaliers.....	403
17.1	Types d'escaliers.....	403
17.2	Escaliers à marches porteuses.....	403
17.2.1	Escaliers à marches en pierre.....	403
17.2.1.1	Détermination de la capacité portante des marches en pierre.....	403
17.2.2	Escaliers à marches en bois.....	405

17.2.2.1	Marches massives	405
17.2.2.2	Marches composées	405
17.2.3	Éléments porteurs des escaliers à marches en bois	406
17.2.3.1	Supports verticaux	406
17.2.3.2	Limons	406
17.2.3.3	Support des limons	407
17.2.3.4	Vérification de la capacité portante théorique d'un limon en chêne	409
17.2.4	Escaliers à marches métalliques	411
17.2.4.1	Contremarches métalliques	411
17.2.4.2	Éléments porteurs des escaliers à marches métalliques	412
17.2.4.3	Support des limons	412
17.3	Escaliers sur voûtes	412
17.3.1	Escalier sur voûte rampante	413
17.3.2	Escalier sur voûte à berceau rampant	413
17.3.3	Escalier sur voûte sarrasine	413
18	Charpente des combles	415
18.1	Description générale des charpentes	415
18.1.1	Définition des principaux termes	415
18.1.2	Types généraux de charpente	415
18.1.2.1	Charpente sans fermes	415
18.1.2.2	Charpente avec fermes	415
18.1.2.3	Charpente à fermes-chevrons	415
18.1.3	Composition des fermes	417
18.2	Principaux types de fermes	417
18.2.1	Ferme sans panne intermédiaire	420
18.2.2	Ferme à une panne intermédiaire	420
18.2.2.1	Type 1 : ferme à contrefiches	420
18.2.2.2	Type 2 : ferme à faux entrait	420
18.2.2.3	Type 3 : ferme à la Palladio	420
18.2.3	Ferme à deux pannes intermédiaires	421
18.2.3.1	Type 1 : ferme à faux entrait et contrefiches	421
18.2.3.2	Type 2 : ferme à contrefiches et jambettes	421
18.2.3.3	Type 3 : ferme à faux entrait et jambettes	421
18.2.4	Ferme à entrait retroussé ou comble à surcroît à arbalétrier discontinu	421
18.2.4.1	Type 1 : ferme à entrait retroussé	421
18.2.4.2	Type 2 : ferme à comble à surcroît parisien	421
18.2.4.3	Type 3 : ferme à la Mansart	421
18.2.5	Combles à plus de deux versants	422
18.3	Fonctionnement statique d'une ferme	425
18.3.1	Exposé des données et conventions d'écriture	425
18.3.2	Principes statiques	425
18.3.2.1	Forces F2 et F4	425
18.3.2.2	Force F0	425
18.3.2.3	Forces F1 et F5	426

18.4	Vérification de la capacité portante des fermes	426
18.4.1	Vérification du dimensionnement des pièces de bois	426
18.4.1.1	Étude analytique	426
18.4.1.2	Épure de Crémone	426
18.4.2	Vérification d'un assemblage à tenon et mortaise à embovtement	426
18.4.2.1	Valeurs dimensionnelles de l'assemblage arbalétrier/entrait	427
18.4.2.2	Vérification de l'entrait à la compression transversale (composante verticale)	427
18.4.2.3	Vérification de l'entrait au cisaillement longitudinal (composante horizontale)	427
18.4.3	Stabilité	428
18.5	Points sensibles et pathologies	428
18.5.1	Points à examiner attentivement	428
18.5.1.1	Assemblages traditionnels	428
18.5.1.2	Éléments assurant l'indéformabilité du comble aux efforts horizontaux	429
18.5.1.3	Liaisons métalliques	429
18.5.2	Pathologies du bois	429

Partie 3 Cas courants de désordres et d'altérations statiques

19	Examen préalable du bâtiment comme totalité structurale	433
19.1	Totalité structurale et solidarité entre ouvrages	433
19.1.1	Dépendance mutuelle des ouvrages	433
19.1.2	Dissymétrie des actions	433
19.2	Désordres et altérations révélateurs de la composition d'un bâtiment et de son histoire	433
19.2.1	Rôle de l'observation armée de relevés	433
19.2.2	Désordres révélateurs de la composition matérielle du support	434
19.3	Hiérarchie à établir dans les désordres et altérations	434
19.3.1	Ordre et désordre dans les ouvrages de construction	434
19.3.2	Désordres mineurs et altérations graves	434
19.4	Totalité structurale et fonctions intégrées ou compatibles	435
19.4.1	Spécialisation fonctionnelle des ouvrages	435
19.4.1.1	Ouvrages de structure et ouvrages de second œuvre	435
19.4.1.2	Fonctions secondaires, dérivées	435
19.4.2	Conceptions moderne et ancienne de la structure d'un bâtiment	436
19.4.2.1	Capacité d'adaptation des bâtiments anciens	436
19.4.2.2	Vulnérabilité des bâtiments anciens	436
19.5	Division du travail et limites des points de vue spécialisés	436
19.5.1	Approche par le calcul et approche pragmatique	437
19.5.2	Conception monolithique et homogène de la structure	437
19.5.2.1	Cas de l'immeuble parisien	437
19.5.2.2	Installation des services techniques	438
19.5.2.3	Point de vue unitaire comparé au point de vue surspécialisé	438
19.6	Réalisation des travaux aujourd'hui dans les anciens bâtiments d'habitation	439
19.6.1	Performances techniques et recherche d'économies	439

19.6.2	Constat actuel	439
19.6.2.1	Gain de temps primant sur la vision d'ensemble	439
19.6.2.2	Recherche de la performance technique en soi	440
19.6.2.3	Outils mécanisés éliminant les factures préindustrielles	440
19.6.2.4	Installation d'équipements de service préjudiciables aux matériaux anciens	440
19.6.2.5	Effets de mode : anatomisme, ouvertures en excès	440
19.6.2.6	Facteurs guidant le choix de matériaux compatibles avec le bâti ancien	440
19.6.2.7	Examen des réalisations locales	441
20	Fissures superficielles n'affectant pas la structure dans un premier temps	443
20.1	Aspect des fissures dans les enduits	443
20.1.1	Retrait hydrique	443
20.1.2	Retrait, dilatation thermique et gonflement hygrothermique	444
20.1.2.1	Retrait thermique	444
20.1.2.2	Dilatation thermique	445
20.1.2.3	Gonflement hygrothermique	445
20.2	Aspect des fissures dans le bois	446
20.2.1	Gerces	447
20.2.2	Pourrissement	448
20.2.2.1	Facteurs favorisant le pourrissement	448
20.2.2.2	Pourriture cubique et lamellaire	448
20.2.3	Variations saisonnières de la teneur en eau	449
20.3	Aspect des fissures provoquées par l'oxydation des fers	449
20.3.1	Poutrelles	449
20.3.2	Pans de fer	451
20.3.3	Chaînages traditionnels	451
20.4	Fissures témoins ou spectres révélant la composition des ouvrages	452
20.4.1	Joint de construction et fissuration	452
20.4.2	Spectres révélateurs du sens de portée et de la composition des travures de plancher	453
20.4.3	Spectres dans un appareil en pierre de taille	455
20.4.4	Spectres dans un pan de bois	456
20.4.5	Spectres dans les murs incorporant les conduits de cheminée	458
21	Désordres statiques dans les parois verticales	459
21.1	Principaux types de fissure et mode d'observation	459
21.2	Rôle décisif du sol d'assise	460
21.2.1	Types de fondations observés dans les bâtiments anciens	460
21.2.2	Efforts sollicitant les parois verticales	460
21.2.3	Capacité portante du sol d'assise : variation, surestimation et tassements consécutifs	460
21.2.3.1	Variation de capacité portante	460
21.2.3.2	Tassements inégaux dans les couches de terrain	461
21.3	Fissures de translations verticales (tassements)	461
21.3.1	Cas élémentaire du tassement d'extrémité de paroi	461
21.3.1.1	Tassement long, tassement moyen, tassement court	463

21.3.1.2	Effet dérivé : rotation secondaire	466
21.3.1.3	Composition de deux parois en tassement vertical	467
21.3.2	Cas courant de tassement intermédiaire	468
21.3.2.1	Lieu d'apparition : milieu d'une partie de terrain affaissé	468
21.3.2.2	Tassement long, tassement moyen et tassement court.....	469
21.3.3	Murs composés en tassement vertical intermédiaire	471
21.3.4	Murs avec ouvertures	472
21.3.4.1	Découpage omniprésent en files verticales de trumeaux et de baies superposés	472
21.3.4.2	Modèle d'analyse.....	472
21.3.4.3	Baies rapprochées ou éloignées verticalement.....	473
21.3.4.4	Influence des matériaux composant la paroi.....	475
21.3.4.5	Tassement vertical des trumeaux de façade	476
21.4	Fissures de translations horizontales (glissements)	480
21.4.1	Translations longitudinales	480
21.4.2	Glissements transversaux.....	480
21.4.2.1	Glissements d'extrémité de la paroi	480
21.4.2.2	Glissements intermédiaires	483
21.4.2.3	Glissements obliques	484
21.5	Fissures de rotation (pivotements)	487
21.5.1	Contre-rotation	487
21.5.2	Murs composés entre eux.....	487
21.6	Tassements verticaux dans les parois en maçonnerie composite : tassements internes, tassements externes	492
21.6.1	Cas des murs mitoyens parisiens aux XVI ^e et XVII ^e siècles.....	492
21.6.2	Déformations et fissures induites	493
21.6.3	Maçonneries composites des façades.....	495
21.7	Fissures dues aux contraintes de compression	496
21.8	Fissurations des pans de bois	500
21.8.1	Phénomènes internes à la paroi	500
21.8.2	Déformations de la géométrie des baies et des panneaux.....	502
22	Désordres statiques dans les façades	503
22.1	Problèmes communs aux façades	503
22.1.1	Composition des ouvrages de construction et ornementation stylistique.....	503
22.1.2	Caractéristiques de construction des façades.....	503
22.1.3	Facteurs à l'origine des désordres	503
22.2	Influence du mode de distribution des ouvertures	504
22.2.1	Tassements différentiels entre trumeaux et baies.....	504
22.2.1.1	Baies avec linteaux en bois ou en fer	504
22.2.1.2	Baies avec plates-bandes appareillées (constructions soignées du XVII ^e au XIX ^e siècle)	505
22.2.1.3	Baies en forme d'arc.....	505
22.2.2	Affaissement de trumeau au-dessus d'un poitrail de rez-de-chaussée.....	505
22.2.3	Cisaillement de linteaux ou de plates-bandes.....	505

22.3	Stabilité de la façade aux efforts verticaux et horizontaux	506
22.3.1	Importance de la typologie historique des bâtiments d'habitation	507
22.3.2	Origine des défauts de stabilité des façades	507
22.3.3	Flambage vertical : déversement, faux aplombs	507
22.3.3.1	Observation du phénomène	507
22.3.3.2	Lieux d'apparition	508
22.3.3.3	Cas classique de ventre ou faux aplomb du mur de rez-de-chaussée	511
22.3.3.4	Déversement des murs périphériques en pignons	518
22.3.4	Déformations dans le plan horizontal	518
22.3.4.1	Modes d'observation et lieux d'apparition du phénomène	519
22.3.4.2	Facteurs critiques	523
22.3.4.3	Déversement des extrémités hautes des façades, poussées du comble	526
22.3.4.4	Coutures rattachées entre façades, refends et mitoyens	527
22.4	Ouvrages en porte-à-faux sur la façade	528
22.4.1	Problèmes communs à tous ces ouvrages	528
22.4.1.1	Travail en console	528
22.4.1.2	Vulnérabilité aux intempéries	529
22.4.1.3	Édicules de service	529
22.4.2	Fissures et éclatement des dalles de balcon (balcons haussmanniens)	530
22.4.2.1	Conditions statiques des balcons	530
22.4.2.2	Grands balcons réalisés à partir de la seconde moitié du XIX ^e siècle	534
22.4.2.3	Scellement des grilles de balcon	534
22.4.2.4	Consoles en pierre de taille	537
22.4.3	Fissures et éclatement des corniches de couronnement	538
22.4.3.1	Conditions statiques	538
22.4.3.2	Examen des fissures visibles en surface	539
22.5	Action de l'eau et de l'humidité sous toutes leurs formes	539
22.5.1	Provenance externe et provenance interne	539
22.5.2	Perméabilité des façades aux échanges hygrothermiques	539
22.5.2.1	Absence d'étanchéité à l'air et à la vapeur d'eau	540
22.5.2.2	Un principe : ne jamais empêcher l'eau et l'humidité de sortir de l'enveloppe	540
22.5.3	Dégradation des façades dues à l'action de l'eau et de l'humidité extérieure	541
22.5.3.1	Repérage des traces d'humidité	541
22.5.3.2	Nécessité d'enquêter sur place	543
22.5.3.3	Endroits à examiner en priorité	543
22.5.4	Dégradations dues à l'action de l'eau et de l'humidité en provenance de l'intérieur du bâtiment	550
22.5.4.1	Dégradations dues aux défauts dans les revêtements de murs ou de sols intérieurs	550
22.5.4.2	Dégradations dues aux défauts de conception ou d'entretien des canalisations et des appareils	550
22.5.5	Cas particulier du ruissellement extérieur	552
22.5.5.1	Importance de la modénature	554
22.5.5.2	Réfection défectueuse ou absence d'entretien de la zinguerie recouvrant les corniches et les bandeaux	554
22.5.5.3	Défaut d'entretien des menuiseries des baies	554
22.5.6	Cas de l'étage en retrait	555
22.5.6.1	Défauts d'imperméabilité du sol de la terrasse	555
22.5.6.2	Collecte des eaux de ruissellement	556

22.6	Évolution des façades dans l'histoire du bâtiment	556
22.6.1	Surélévations	557
22.6.1.1	Rupture des maçonneries par écrasement	557
22.6.1.2	Tassements différentiels entre trumeaux et baies	560
22.6.1.3	Flambage et bouclage de la paroi	560
22.6.1.4	Indices de surélévation	561
22.6.2	Modifications des ouvertures	561
22.6.2.1	Fenêtres rebouchées	561
22.6.2.2	Percement de nouvelles ouvertures	563
22.6.2.3	Élargissement de baies	563
22.6.2.4	Balcons rapportés	564
22.6.3	Constructions mitoyennes réalisées ultérieurement	565
22.7	Incendie se propageant dans les façades	569
23	Désordres statiques dans les parois de refend et les parois mitoyennes	571
23.1	Tassements différentiels et modes de répartition des charges	571
23.1.1	Fissures entre jambes sous poutre et remplissages dans les murs mitoyens porteurs de planchers	571
23.1.2	Fissures dans les murs mitoyens entre corps de bâtiment principal et aile en retour	572
23.1.3	Fissures à la jonction des mitoyens, refends et façades	572
23.1.3.1	Cisaillements par tassements différentiels	573
23.1.3.2	Fissures de décollement	573
23.1.4	Tassements des refends au-dessus des poitrails intérieurs	574
23.1.5	Transferts statiques de grande intensité	574
23.2	Stabilité aux efforts verticaux et horizontaux	575
23.2.1	Stabilité verticale	575
23.2.1.1	Flambage et bouclage des murs mitoyens aux rez-de-chaussée et sous-sols	575
23.2.1.2	Fissures d'écrasement des murs mitoyens en partie basse	576
23.2.2	Stabilité horizontale	576
23.3	Action de l'eau et de l'humidité sous toutes leurs formes	578
23.3.1	Dégradations des murs mitoyens exposés aux intempéries	578
23.3.1.1	Particularités des murs mitoyens vis-à-vis des désordres	578
23.3.1.2	Murs séparatifs distincts	578
23.3.2	Dégradations des refends dues à la présence des réseaux intérieurs de plomberie	578
23.3.3	Prolongements extérieurs des murs mitoyens et de refends	579
23.4	Évolution des mitoyens et refends dans l'histoire du bâtiment	579
23.4.1	Surélévations	579
23.4.1.1	Incorporation de la charpente d'un ancien comble dans les parois de refend	579
23.4.1.2	Cas des combles à surcroît des bâtiments à trois ou quatre étages édifiés au XVII ^e siècle	580
23.4.2	Modifications des ouvertures	580
23.4.2.1	Rebouchage d'une baie dans une paroi maçonnée	582
23.4.2.2	Agrandissement de baies ou réalisation de nouvelles baies de plus grandes dimensions	582
23.4.2.3	Création de nouvelles ouvertures	583
23.4.3	Reprise en sous-cœuvre de refends et de mitoyens	585
23.4.3.1	Suppression de murs de refend	585
23.4.3.2	Flambage généralisé	586
23.4.4	Cloisons en charge faisant fonction de refends	586

24	Désordres statiques dans les planchers	587
24.1	Flèches et inclinaison des planchers	588
24.1.1	Inclinaison vers les refends ou les poutres maîtresses	588
24.1.1.1	Déboîtement des appuis	588
24.1.1.2	Conséquences du déboîtement.....	588
24.1.2	Flèches anormales des planchers : cycles cumulatifs « flèche-recharge »	590
24.1.3	Flèches des planchers et désordres induits dans les cloisons	591
24.2	Déliaisonnement entre planchers et façades	591
24.3	Ruptures de pièces de charpentes ou d'assemblages	592
24.3.1	Hiérarchie des pièces de charpente et gravité des désordres statiques	593
24.3.1.1	Nécessité de bien connaître les principaux types de plancher	593
24.3.1.2	Rupture de poutres maîtresses	593
24.3.2	Rupture d'assemblage, cas des mortaises et tenons renforcés dans les planchers à solives d'enchevêtreure	594
24.3.3	Rupture longitudinale de chevêtre, de linçoir ou de lambourde	595
24.3.4	Descellement de lambourdes	597
24.3.5	Rupture locale de solives	598
24.3.5.1	Défauts susceptibles d'entraîner une rupture	598
24.3.5.2	Concentrations de charges.....	598
24.3.6	Rupture de bardeaux et déversement des solives de remplissage	599
24.3.6.1	Déboîtement ou rupture de bardeaux : un phénomène localisé	599
24.3.6.2	Risques de déversement des solives en cas de dépose des augets.....	599
24.4	Désordres dus à l'action de l'eau et de l'humidité en provenance de l'extérieur et de l'intérieur du bâtiment	600
24.4.1	Pourrissement.....	600
24.4.1.1	Ouvrages ou parties d'ouvrage les plus vulnérables.....	600
24.4.1.2	Planchers apparents et planchers plafonnés	601
24.4.1.3	Parties vulnérables aux actions des eaux en provenance de l'intérieur	602
24.4.2	Cas de l'étage en retrait.....	602
24.4.2.1	Disposition de la travure perpendiculairement à la façade	602
24.4.2.2	Disposition de la travure parallèlement à la façade, avec refends ou mitoyens porteurs	603
24.4.3	Oxydation des planchers métalliques	605
24.4.3.1	Degrés d'altération	605
24.4.3.2	Endroits vulnérables : rez-de-chaussée des commerces d'alimentation, planchers des cuisines et des locaux sanitaires	606
24.5	Évolution des planchers dans l'histoire du bâtiment	608
24.5.1	Distinction entre pièces maîtresses et pièces secondaires	608
24.5.1.1	Grosses réparations et réparations d'entretien.....	608
24.5.1.2	Anciennes reprises de plancher	609
24.5.2	Renforcement et recouplement des portées, visibles aux retombées des poutres rapportées	609
24.5.3	Nouveaux planchers et plafonds rapportés	609
24.5.4	Altération des chaînages horizontaux	610
24.5.5	Nouvelles trémies	611
24.5.5.1	Nouvelles trémies de cheminée.....	611
24.5.5.2	Nouvelles trémies d'escalier.....	611

24.5.6	Cloisons nouvelles et refends portés par des planchers.....	612
24.5.6.1	Cloisons lourdes rapportées.....	612
24.5.6.2	Parois de structure rapportées en appui sur des travures de planchers.....	614
25	Désordres statiques dans les charpentes de combles	615
25.1	Désordres dus à l'action de l'eau et de l'humidité sous toutes leurs formes	615
25.1.1	Combles en bois et combles métalliques.....	615
25.1.2	Pièces de charpente situées au voisinage d'ouvrages de collecte des eaux.....	615
25.1.2.1	Déficiences des matériaux de couverture.....	615
25.1.2.2	Parties basses des versants : pieds de chevrons, coyaux et pannes sablières.....	616
25.1.2.3	Appuis des entrails de ferme, jambes de force et pieds d'arbalétriers sur les maçonneries.....	616
25.1.2.4	Appuis des pannes et cas des pannes de brisis dans un comble à la Mansart.....	617
25.1.3	Pièces de charpente situées au voisinage de trémies ou d'émergences de toiture.....	618
25.1.3.1	Parties courantes des pannes placées sous les lucarnes, châssis et lanterneaux.....	618
25.1.3.2	Chevrons de jouée et linçoirs des lucarnes, lanterneaux et châssis en tabatière.....	618
25.1.3.3	Pannes et chevrons au voisinage des souches de cheminée.....	620
25.1.4	Pourrissement des bois à la suite de la mise en place d'une couverture imperméable à l'air et à la vapeur d'eau.....	620
25.2	Charpentes de comble portant plancher	620
25.3	Poussée des combles sur les murs périphériques	621
25.3.1	Types de comble induisant des poussées « par construction ».....	621
25.3.1.1	Appui direct des jambes de force sur les murs de façade avec de simples empochements ou de petites consoles.....	621
25.3.1.2	Appui des jambes de force sur la charpente du plancher.....	621
25.3.2	Types de comble induisant des poussées par altération.....	622
25.3.2.1	Indices révélateurs de poussées.....	622
25.3.2.2	Disposition fréquente.....	622
25.3.2.3	Cas particuliers.....	623
25.4	Voisinage des souches de cheminée	623
25.4.1	Faux aplombs et déversements.....	623
25.4.2	Entourage des souches, extrémités de pannes.....	624
25.5	Évolution du comble dans l'histoire du bâtiment	624
25.5.1	Sectionnement des pièces de charpente.....	625
25.5.1.1	Pannes sectionnées.....	625
25.5.1.2	Jambes de force entaillées, rupture d'arbalétrier.....	626
25.5.1.3	Contrefiches, liens de faîtage, aisseliers sectionnés.....	626
25.5.1.4	Entrails hauts sectionnés.....	627
25.5.1.5	Aiguille pendante ou poinçon recoupé.....	627
25.5.2	Altération des ferrures consolidant les assemblages ou assurant l'ancrage de la charpente dans les parois.....	627
25.5.3	Planchers d'habitation réalisés ultérieurement dans les charpentes de comble.....	628
25.5.4	Incorporation de charpente dans les refends.....	628
25.5.4.1	Signes visibles d'incorporation.....	628
25.5.4.2	Autres modifications du profil originel.....	628

26	Désordres statiques dans les niveaux de sous-sol	631
26.1	Désordres dus à l'action de l'eau et de l'humidité sous toutes leurs formes	631
26.1.1	Infiltrations dans les maçonneries en provenance des couches de terrain contiguës ou dues à la déficience des canalisations intérieures	631
26.1.1.1	Sources d'infiltrations	631
26.1.1.2	Maçonneries à pores ouverts ou à pores fermés	631
26.1.1.3	Décomposition partielle des maçonneries	632
26.1.2	Décomposition des planchers métalliques	632
26.1.3	Décollement des parquets et carrelages de rez-de-chaussée	632
26.2	Faux aplombs, bouclage, ventres et bombements de murs	633
26.2.1	Faux aplomb, ventre, bombement vers l'intérieur du bâtiment	633
26.2.2	Faux aplomb, ventre, bombement vers l'extérieur des piédroits des voûtes	633
26.2.3	Bouclage de murs : bombement à mi-hauteur de chaque côté du parement	633
26.3	Tassements différentiels du sol d'assise et des maçonneries	634
26.3.1	Maçonneries homogènes ou hétérogènes, modes de répartition des charges au niveau des fondations	634
26.3.2	Maçonneries composites	634
26.3.3	Cisaillement des pieds de descentes pluviales, des pieds de chute d'eaux-vannes et des collecteurs	635
26.3.4	Affaissement des voûtes en berceau	636
26.3.4.1	Fissures d'intrados à la clef (traction) et aux reins (écrasement)	636
26.3.4.2	Déformation du profil	637
26.3.5	Anciennes fosses d'aisances au voisinage des cages d'escalier	637
26.4	Transformations des sous-sols au cours de l'histoire du bâtiment	637
26.4.1	Percement de nouvelles trémies entre le rez-de-chaussée et les sous-sols	637
26.4.1.1	Descentes de caves rapportées	637
26.4.1.2	Percement des voûtes	637
26.4.2	Affaissements ou ruptures de voûtes sous les passages cochers	638
26.4.3	Poinçonnement de berceaux à la suite de reprises ou de constructions nouvelles de refends	638
26.4.4	Remplacement de voûtes par des planchers métalliques	639
26.4.5	Déchaussement de fondations	640
27	Désordres statiques dans les cages d'escalier	643
27.1	Tassements différentiels dans les parois de la cage	643
27.1.1	Hétérogénéité des parois périphériques	643
27.1.2	Mouvements entre parois périphériques, paroi centrale d'échiffre et poutres palières	646
27.2	Flambage des parois des étages inférieurs	648
27.3	Déformations des limons et déversements induits dans les parois périphériques	648
27.3.1	Escalier en volée droite se terminant à chaque étage par deux quartiers tournants	648
27.3.2	Palier placé le long d'un refend longitudinal	649
27.4	Désordres et altérations dus à l'action de l'eau et de l'humidité, principalement intérieures	649
27.4.1	Action de l'eau et de l'humidité intérieures sur tous les composants	649
27.4.1.1	Rôle dérivé de la cage pour le passage des canalisations de service	649

27.4.1.2	Endroits les plus sollicités	650
27.4.2	Pourrissement ou oxydation des poutres palières, limons et crémaillères, leviers et bascules des paliers de repos intermédiaires, ouvrages de transfert	652
27.4.3	Condensations sur les parois de la cage	652
27.4.4	Fuite des lanterneaux et altération des ouvrages situés en dessous	653
27.5	Transformation des escaliers dans l'histoire du bâtiment	653
27.5.1	Changement d'emplacement et réfection complète de la cage	653
27.5.2	Cas de surélévation et de densification	653
27.5.2.1	Modifications des anciens ouvrages	653
27.5.2.2	Principaux désordres observés	654
27.5.3	Pose d'ascenseurs	654
27.5.3.1	Pose en applique sur les façades de cour	655
27.5.3.2	Incorporation de l'ascenseur dans le vide de cage	655
27.5.3.3	Incorporation d'une cage d'ascenseur dans les logements voisins ou dans l'intervalle anciennement occupé par les lieux d'aisances communs	656
27.5.4	Création de nouveaux escaliers partiels encloués	656
27.5.4	Incendie dans les cages d'escalier	657

Partie 4

Diagnostic de la structure constructive

28	Exposé de la démarche	661
28.1	Objectif du diagnostic	661
28.2	Méthode	661
28.3	Relevé constructif	661
28.4	Analyse théorique	662
28.4.1	Schéma statique des forces	662
28.4.1.1	Forces horizontales	662
28.4.1.2	Forces verticales	662
28.4.2	Descente de charges	662
28.4.2.1	Objectif	662
28.4.2.2	Exemple	663
28.4.3	Capacité portante théorique	663
28.4.3.1	Objectif	663
28.4.3.2	Remarque concernant les flèches	663
28.4.4	Classement des éléments de structure	663
28.4.4.1	Répertoire	663
28.4.4.2	Détermination de la charge admissible par mètre carré de plancher	664
28.5	Analyse clinique	664
28.5.1	Objectif	664
28.5.2	Campagne d'auscultation	664
28.5.2.1	Auscultation	664
28.5.2.2	Matériel d'auscultation	664
28.5.2.3	Localisation et nombre de sondages	664
28.5.2.4	Modes d'auscultation	664

29	Étude de cas : descente de charge sur la façade d'un immeuble parisien du milieu du XIX^e siècle	667
29.1	Charges apportées par les pieds de ferme sur les trumeaux de l'étage en retrait.....	667
29.2	Charges réparties apportées par le chevonnage à la panne sablière du pan de bois de l'étage en retrait.....	670
29.3	Poids propre du pan de bois.....	670
29.4	Charges apportées par chaque solive d'enchevêtrement de l'étage en retrait placée au sommet des trumeaux en maçonnerie.....	670
29.4.1	Charges dans les trumeaux 3 et 4.....	670
29.4.2	Charges dans les trumeaux en pan de bois 2 et 5.....	670
29.4.3	Charges totales.....	670
29.5	Poids propre des planchers.....	671
29.6	Poids propre de l'ensemble linteau/allège.....	671
29.7	Poids propre du trumeau en maçonnerie du quatrième étage.....	671
29.8	Poids propre du trumeau en maçonnerie du troisième étage.....	671
29.9	Poids propre du trumeau en maçonnerie du deuxième étage.....	671
29.10	Poids propre du trumeau en maçonnerie du premier étage.....	671
29.11	Poids propre du trumeau en maçonnerie du rez-de-chaussée.....	672
29.12	Cumul des charges jusqu'au niveau des poitrails de rez-de-chaussée.....	672
29.12.1	Trumeaux 3 et 4.....	672
29.12.2	Trumeaux 2 et 5.....	672
29.12.3	Trumeaux 1 et 6.....	672
29.13	Transfert par les poitrails.....	672
29.13.1	Charges aux pieds des trumeaux 1 et 6.....	672
29.13.2	Charges aux pieds des trumeaux 3 et 4.....	672
29.14	Charges apportées par la voûte.....	673
29.15	Poids propre du mur de cave.....	673
29.16	Répartition des charges dans le mur de cave.....	673
29.17	Contrainte appliquée sur le sol d'assise au pied du mur de cave.....	673
29.18	Capacité portante de la fondation, ramenée au m ² de plancher d'étage.....	673
29.19	Recherche et vérification des endroits névralgiques.....	674
29.19.1	Capacité portante en pied des trumeaux 3 et 4.....	674
29.19.2	Vérification du même trumeau de maçonnerie de moellon au premier étage.....	674
29.19.3	Vérification des contraintes sous appui.....	674
29.19.3.1	Contrainte sous l'appui d'une solive d'enchevêtrement courante.....	675

29.19.3.2	Contrainte sous l'appui d'un des deux poitrails	675
29.19.3.3	Capacité portante autorisée par l'appui du poitrail.....	676
29.20	Calcul des poussées de la voûte sur le mur de cave.....	676
29.21	Récapitulatif des contraintes dans les trumeaux centraux.....	678
29.22	Détermination de la capacité portante des planchers en chêne.....	678
29.22.1	Solive d'enchevêtrement.....	678
29.22.2	Solive courante ou de remplage.....	679
29.22.3	Linçoir.....	679
29.22.4	Poitrail sans colonne de fonte.....	679
29.22.4.1	Vérification au flambement de la colonne en fonte	680
29.22.4.2	Vérification de la contrainte au pied de la colonne.....	680
Annexe -	Caractéristiques des matériaux.....	681
A.1	Poids et charges.....	681
A.1.1	Poids volumiques des matériaux de construction.....	681
A.1.2	Poids propres au mètre carré de quelques éléments de construction.....	681
A.1.1.1	Planchers.....	681
A.1.1.2	Cloisons.....	681
A.1.1.3	Couvertures avec le poids de la charpente.....	681
A.1.1.4	Plafonds et faux plafonds.....	681
A.1.1.5	Revêtements de sol.....	681
A.1.3	Charges d'exploitation.....	681
A.2	Matériaux.....	682
A.2.1	Aluminium.....	682
A.2.2	Asphalte coulé.....	682
A.2.2.1	Historique.....	682
A.2.2.2	Types d'asphaltes coulés.....	682
A.2.2.3	Fabrication, transport, application.....	683
A.2.2.4	Asphalte et réhabilitation.....	683
A.2.3	Asphalte naturel.....	683
A.2.4	Bois.....	683
A.2.4.1	Composition de la matière.....	683
A.2.4.2	Défaut des bois.....	684
A.2.4.3	Altérations des bois.....	684
A.2.4.4	Principes généraux de la lutte contre les termites.....	685
A.2.4.5	Bois et humidité.....	685
A.2.4.6	Caractéristiques mécaniques du bois.....	686
A.2.4.7	Durabilité des bois.....	686
A.2.4.8	Dimensions des bois de commerce.....	686
A.2.5	Chaux.....	687
A.2.5.1	Historique.....	687
A.2.5.2	Différents types de chaux.....	688
A.2.5.3	Composition chimique.....	689
A.2.5.4	Extinction de la chaux vive.....	689
A.2.5.5	Prise et durcissement des chaux.....	689

A.2.5.6	Ciments.....	690
A.2.5.7	Pouzzolanes	690
A.2.5.8	Adhérence et résistance du mortier.....	690
A.2.6	Cuivre.....	691
A.2.7	Métaux ferreux.....	691
A.2.7.1	Définition.....	691
A.2.7.2	Histoire de l'élaboration du métal.....	692
A.2.7.3	Contraintes admissibles.....	693
A.2.7.4	Corrosion des métaux ferreux.....	693
A.2.7.5	Caractéristiques géométriques.....	695
A.2.8	Pierre.....	695
A.2.8.1	Pierres naturelles.....	695
A.2.8.2	Pierres artificielles.....	697
A.2.9	Plâtre.....	698
A.2.9.1	Propriétés du gypse.....	698
A.2.9.2	Fabrication du plâtre.....	698
A.2.9.3	Principales propriétés du plâtre.....	698
A.2.9.4	Prise du plâtre.....	699
A.2.9.5	Avantages et inconvénients du plâtre.....	699
A.2.10	Plomb.....	699
A.2.11	Zinc.....	699
A.3	Conversion des unités de contrainte.....	700
	Lexique.....	701
	Bibliographie.....	719
	Sources des illustrations.....	723
	Index.....	725

Avant toute rénovation ou réhabilitation importante, un diagnostic est indispensable afin d'anticiper les difficultés techniques spécifiques aux bâtiments anciens. *Le Guide du diagnostic des structures dans les bâtiments d'habitation anciens* décrit les connaissances scientifiques et pratiques nécessaires à l'analyse structurelle des bâtiments résidentiels courants construits avant 1914 et l'usage massif du béton armé.

La reconnaissance du type de bâtiment s'effectue selon une méthode éprouvée et explicitée pas à pas dans la première partie de l'ouvrage, à l'aide de nombreuses planches tirées de traités anciens, de figures et de photographies actuelles.

La deuxième partie expose les spécificités des principaux ouvrages de structure (murs en maçonnerie, balcons, fondations, voûtes, pans de bois, pans de fer, combles, planchers et escaliers), avec le détail des calculs de vérification de la capacité portante de chacun d'eux.

La troisième partie analyse les désordres structurels courants (fissurations, tassements, flambages, éclatements, ruptures, pourrissements, etc.) pour parachever l'analyse du bâti.

Enfin la dernière partie récapitule la démarche de diagnostic et la méthode de vérification de la stabilité, illustrées de figures, de diagrammes et d'une étude de cas détaillée.

Une annexe fournit les caractéristiques des matériaux (bois, chaux, pierre naturelle, plâtre, cuivre, plomb, zinc, etc.) selon leur époque de mise en œuvre.

Enrichie de nombreux documents graphiques, photos et schémas, cette nouvelle édition s'adresse aux maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, entrepreneurs et à tous les intervenants du bâti ancien qui cherchent à identifier les types d'ouvrages et leurs caractéristiques techniques ou qui souhaitent acquérir la méthode du diagnostic de la structure bâtie.

Jacques Fredet, architecte, diplômé de l'École nationale supérieure des beaux-arts et de l'Université de Pennsylvanie. Il a travaillé deux ans dans l'agence de Louis I. Kahn. Il a enseigné pendant trois décennies à l'ENSAPB. Il est l'auteur, entre autres, de *Maisons de Paris, types courants de l'architecture mineure parisienne, de la fin de l'époque médiévale à nos jours* (Paris, 2003) et de *Mettre en forme et composer le projet d'architecture* (Paris, 2015).

Jean-Christophe Laurent, architecte, formé à l'ENSA de Versailles, où il a suivi l'enseignement de Jean-Michel Guillemain (réhabilitation du bâti ancien) et de Bernard Charue, dont il a été l'assistant (statique et résistance des matériaux). Il enseigne à l'ENSAPL et à l'ENSAPB. Depuis 1996, il exerce la maîtrise d'œuvre, essentiellement à Paris et en région parisienne.

Sommaire

Partie 1

Reconnaissance du bâtiment par approximations successives

Partie 2

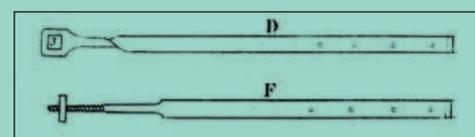
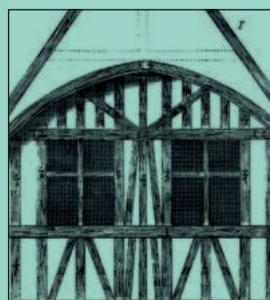
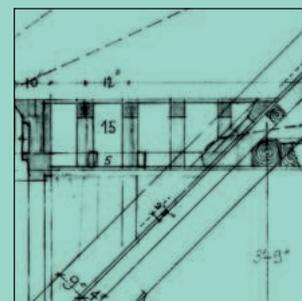
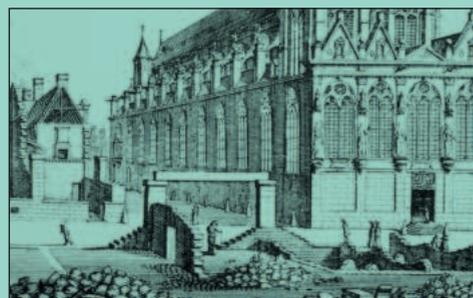
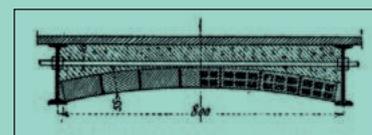
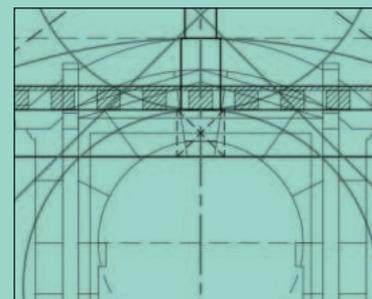
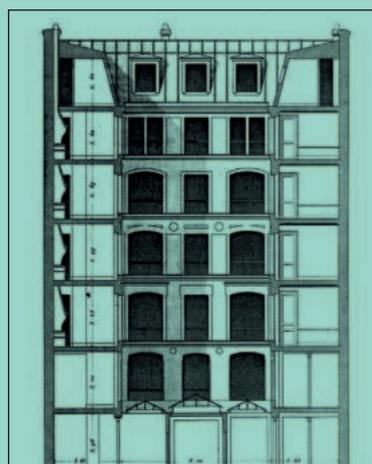
Principaux ouvrages de structure

Partie 3

Cas courants de désordres et d'altérations statiques

Partie 4

Diagnostic de la structure constructive



ISBN 978-2-281-14195-5



EDITIONS
LE MONITEUR