



ASSAINISSEMENT DE FENÊTRES

Immeubles d'habitation 1850 - 1920

Image de couverture: «Interno IV» par Annina Ruf (2005)

© 2012 Laboratoire de construction et conservation,
Ecole polytechnique fédérale de Lausanne
EPFL ENAC IA LCC, Station 16, CH-1015 Lausanne

Version révisée, novembre 2014

EPFL - Laboratoire de Construction et Conservation

ASSAINISSEMENT DE FENÊTRES

IMMEUBLES D'HABITATION 1850 - 1920

Luca Ortelli
Pierre Zurbrügg
Catarina Wall Gago
Georgine Roch

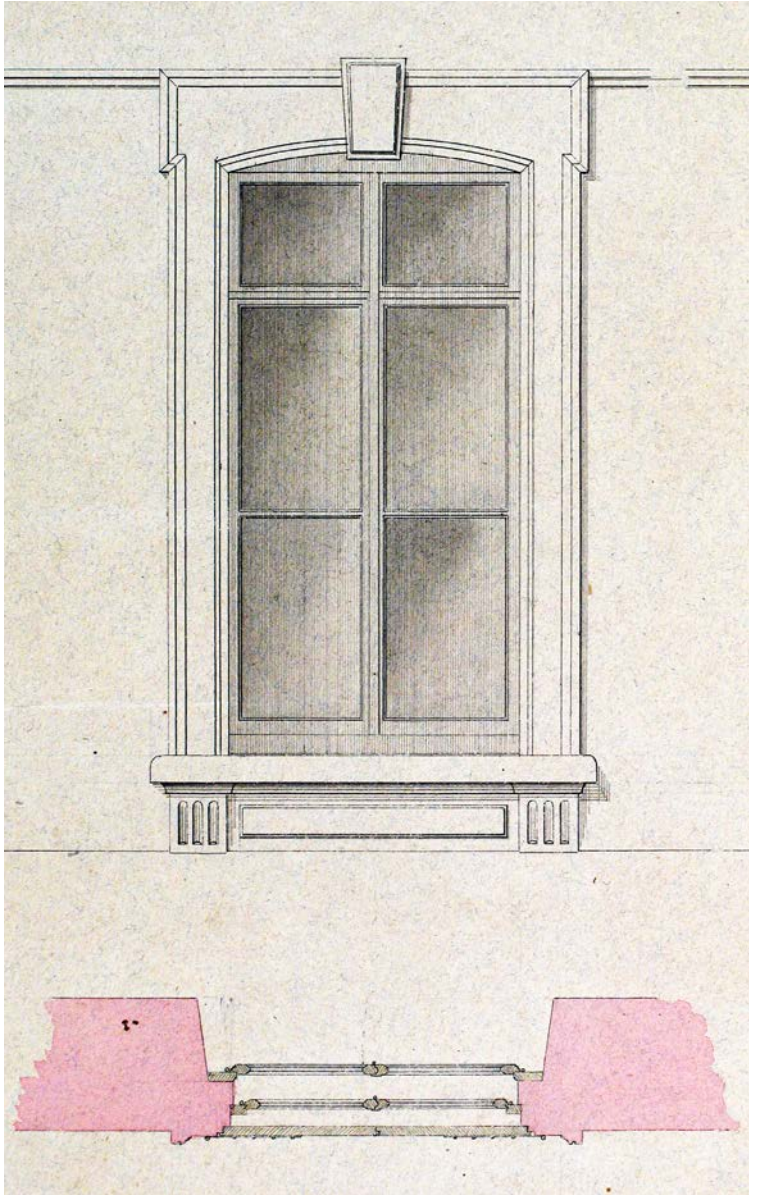
Cette recherche a été élaborée avec le soutien de:

Stiftung zur Förderung der Denkmalpflege

par Luca Ortelli, Pierre Zurbrügg, Catarina Wall Gago et Georgine Roch, dans le cadre du Laboratoire de construction et conservation de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne. Les documents graphiques ont été élaborés avec l'aide de Florian Rochat.

TABLE DES MATIÈRES

I	Architecture courante	1
II	Démarche	23
III	Fenêtres anciennes	29
	Fenêtre simple.....	33
	Contre-fenêtre.....	41
	Fenêtre à caisson.....	49
	Fenêtre couplée.....	55
IV	Rénovation de fenêtres	63
	Remplacement du vitrage.....	65
V	Remplacement de fenêtres	73
	Fenêtre à l'ancienne.....	77
	Fenêtre en bois.....	83
	Fenêtre en bois-métal.....	91
	Fenêtre en PVC.....	97
VI	Doublage de fenêtres	105
	Nouvelle contre-fenêtre.....	107
	Transformation en fenêtre à caisson.....	115
	Doublage par l'intérieur.....	121
VII	Conclusions	127
VIII	Bibliographie	131



I. ARCHITECTURE COURANTE

Cette étude s'occupe de fenêtres. Son origine réside dans le déséquilibre existant en termes légaux entre les bâtiments classés ou protégés et ceux qui ne le sont pas. La problématique est vaste et complexe; elle concerne les idées et les théories relatives à la sauvegarde ainsi que leurs applications dans la pratique quotidienne des transformations, réhabilitations, assainissements et, plus récemment, dans toutes interventions de mise à niveau technique en relation, notamment, avec les impératifs énergétiques.

Le point de départ est le constat de l'existence d'une sorte de "zone grise" dans laquelle se situe la masse de bâtiments historiques qui ne présentent pas des qualités architecturales extraordinaires et qui sont, par conséquent, *ordinaires* à tous les effets.

La notion d'ordinaire est assez ambiguë. D'un point de vue strictement sémantique, le mot possède, dans le langage quotidien de nos jours, une signification négative ou dépréciative, contrairement au monde académique dans lequel l'ordinariat correspond au rang le plus élevé de la hiérarchie. Avant de revenir à la signification du mot, nous allons donner une définition à ce que nous appelons l' *architecture ordinaire*. Les premiers résultats d'une recherche sur le *web* montrent que l'architecture ordinaire constitue, du moins, un sujet de discussion¹.

Dans le cas de cette étude, il faut considérer en tant qu' *architecture ordinaire* l'ensemble des bâtiments qui ne présentent pas de qualités particulières, ni d'un point de vue architectural, ni historique ou artistique. A l'intérieur d'un cadre temporel défini – la deuxième moitié du XIX^e siècle et les premières années du XX^e – il est facile de constater que cette "architecture sans qualité" constitue en grande partie le tissu bâti de nos villes. Considérés individuellement, ces bâtiments s'affirment comme ordinaires mais dans leur ensemble ils contribuent à la définition du caractère urbain de leurs villes respectives. Ce point de vue correspond, entre autres, à l'élargissement du concept de

1. Si on saisit les mots recherchés en français, parmi les premiers résultats on trouve aussi le terme "banal". La référence la plus directe est celle d'Auguste Perret qui, dans l'un des aphorismes composant sa *Contribution à une théorie de l'architecture*, publiée en 1952, affirme: "Celui qui, sans trahir les matériaux ni les programmes modernes, aurait produit une œuvre qui semblerait avoir toujours existé, qui, en un mot, serait banale, je dis que celui-là pourrait se tenir pour satisfait" (Perret, 1952).

patrimoine, toujours plus ouvert à une dimension qui dépasse celle de l'objet individuel. Il s'agit, dans ces cas, d'ensembles reconnaissables et descriptibles dont notre culture reconnaît la valeur patrimoniale au sens général, sans qu'ils bénéficient pour autant d'une protection légale stricte.

Les modifications de la notion de patrimoine suffiraient déjà à l'attribution d'une signification positive au terme *ordinaire*. Mais nous devons ici ajouter que l'étude et la mise en valeur de l'architecture ordinaire nourrissent un filon de recherche caractéristique de l'architecture dite moderne. Il suffit de penser à l'importance attribuée à l'architecture vernaculaire par Le Corbusier, pour ne citer que le plus célèbre des architectes qui, à l'issue de leurs formations, parcoururent l'Europe à la recherche d'une architecture plus authentique, plus vraie et belle, en opposition aux préceptes académiques. Or, il est évident que les exemples de constructions vernaculaires que l'on trouve dans les pages des carnets de voyage des futurs protagonistes de l'architecture moderne n'ont rien à voir avec les bâtiments urbains ordinaires évoqués plus haut. Il est cependant vrai que la diffusion et le partage de cet intérêt pour un patrimoine architectural mineur marquent les premières décennies du XX^e siècle et constituent un changement de paradigme fondamental. Plus tard, on trouvera d'éminents architectes engagés dans la réflexion théorique, ainsi que dans la pratique, préconisant une architecture modeste ou même *anonyme*, comme le recommandait l'architecte danois Kay Fisker (1964). Dans ce contexte, il faut également rappeler l'*architecture sans architectes* célébrée par Bernard Rudofsky (1964), diffusée dans le cadre d'une exposition au Musée d'Art Moderne de New York accompagnée par un catalogue et par les livres successifs du même auteur. La liste des publications pourrait s'étendre sur de nombreuses pages, alimentée par une multitude d'études locales consacrées à l'architecture vernaculaire. En réalité, ce qu'il faut souligner ici est plutôt le changement de paradigme propre à ces premières explorations qui nous amène, aujourd'hui, à reconnaître la valeur intrinsèque de cette modeste *architecture urbaine sans qualités* et, dans la plupart des cas, sans architectes. Évidemment la connotation *sans qualités* est à considérer en tant qu'antiphrase, comme dans le plus célèbre roman de Musil² ([1930-3] 1992).

Nous considérons, en effet, que les qualités de ces architectures courantes réalisées dans la deuxième moitié du XIX^e siècle, expression tangible d'un renouveau urbain sans précédents et témoignages d'une idée de ville extrêmement efficace, contribuent

2. Il s'agit, naturellement, de Robert Musil ([1930-3] 1992), *L'homme sans qualités*, publié en Allemagne en 1930-1933 sous le titre *Der Mann ohne Eigenschaften*.

largement à la définition du caractère que chacune de nos villes possède. Ceci, malgré l'homogénéité de l'architecture de cette période. En Suisse, notamment, l'observateur attentif sera capable d'identifier, au-delà de strates homogènes déterminées par une large diffusion des techniques constructives, les différentes déclinaisons que les bâtiments acquièrent selon les influences provenant d'Allemagne, de France ou d'Italie.

Cette dernière remarque pourrait, à elle seule, justifier la volonté d'observer attentivement cet autre patrimoine, mineur, en le considérant comme témoin de la pluralité culturelle qui anime et enrichie les villes suisses. Mais ces *bâtiments courants* rendent également compte d'une idée urbaine – et, avec elle, d'une idée de société – relativement flexible et capable de s'adapter aux exigences et aux besoins actuels. Cette *flexibilité* concerne en premier lieu les immeubles d'habitation, dans lesquels on arrive à vivre plutôt confortablement aujourd'hui. Selon les différentes régions, parfois même selon la ville, cette architecture se décline à l'aide d'un savoir-faire artisanal qui marque les bâtiments de façon indélébile. A Lausanne, par exemple, le répertoire des menuiseries est tellement homogène, dans les réalisations de la fin du XIX^e siècle, que l'on a nettement l'impression d'être en présence d'un catalogue d'éléments bien rodés et, par là même, efficaces, reconnus et, évidemment, appréciés.

IMMEUBLES D'HABITATION FIN XIX^E SIÈCLE: SITUATION ACTUELLE

Aujourd'hui, les édifices en question sont souvent recherchés à cause de ce que les courtiers en immobiliers appellent "cachet". L'expression se réfère évidemment aux dispositifs et aux éléments caractéristiques de cette manière de construire. Il est clair que les qualités majeures résident dans la surface et la distribution des pièces et, à mesure égale, dans les décors intérieurs, les parquets, les portes, les fenêtres et les boiseries, en premier lieu; dans la plâtrerie, les cheminées et la ferronnerie, en deuxième lieu.

Après les destructions aveugles et les véritables *massacres* opérés au détriment de ce type d'immeubles dans le passé récent, notamment en ce qui concerne les intérieurs, on assiste aujourd'hui à un intérêt grandissant pour les qualités des constructions de cette époque. Si autrefois on n'hésitait pas à recouvrir un parquet avec de la moquette, aujourd'hui, pour sauvegarder ce même parquet, on est disposés à accepter quelques grincements et la

non parfaite planéité du revêtement. Autrement dit, les goûts du public semblent s'orienter vers ces qualités (un peu nostalgiques et passéistes, peut-être) mais offrant un cadre dignement alternatif à ce que peut offrir la production contemporaine en matière de logement. S'il est possible d'affirmer, en généralisant, qu'on porte aujourd'hui une plus grande attention aux éléments constitutifs des immeubles bourgeois, parfois même à défaut de normes de protection, il est également vrai que certains de ces éléments caractéristiques sont plus fragiles que d'autres et plus exposés au risque d'être remplacés et définitivement effacés.

Les édifices pris en considération dans cette étude appartiennent à une période historique qui commence vers la moitié du XIX^e siècle pour se conclure à la fin des années vingt du siècle



suisant. Le début de cette période, qui peut varier dans les différentes régions de Suisse, correspond à l'affirmation de la "ville bourgeoise", caractérisée par une série d'infrastructures et d'équipements publics, ainsi que par une croissance urbaine remarquable constituée par un parc immobilier financé par des investissements privés fournissant principalement des immeubles d'habitation. La fin de la période correspond par contre à l'affirmation de nouveaux systèmes constructifs et aux influences que les théories urbanistiques modernes exerceront sur les transformations des villes. Dans ce deuxième cas aussi, les dates peuvent varier d'une région à l'autre selon les situations politiques et les orientations des principaux acteurs économiques. Malgré ces différences, et au-delà de la variété des influences stylistiques et des héritages typologiques, les édifices d'habitation de cette époque présentent des caractères assez homogènes, ce qui rend plausible leur identification en tant que *corpus* reconnaissable. Des phénomènes analogues sont d'ailleurs visibles, à la même époque, dans la plupart des pays européens. S'agissant d'édifices constituant ce que nous appelons le *tissu urbain*, leur statut d'architectures courantes les expose aux risques évoqués plus haut. A défaut de normes de sauvegarde spécifiques, ces bâtiments font souvent l'objet de travaux de rénovation peu respectueux ou de transformations brutales et dépourvues de la moindre capacité d'en reconnaître les qualités. Effectivement, le cadre légal dans lequel les immeubles courants que nous traitons sont insérés est assez variable selon les cantons. Les lois fédérales leur délèguent la responsabilité de définir les mesures de sauvegarde à appliquer en distinguant, par exemple, les objets d'importance régionale ou locale ou en définissant des zones à protéger dans les plans d'affectation³. Dans une grande partie des cas, ces bâtiments sont considérés comme ayant une valeur locale (qui leur confère une protection générale en cas de travaux) ou ne bénéficient pas de protection légale. Même dans le premier cas, les travaux sur les fenêtres tombent souvent dans le cadre des travaux d'entretien courant, sans préavis des services du patrimoine. Il est néanmoins important de souligner l'exception, par exemple, du canton de Genève, qui a défini des instruments légaux permettant la protection des ensembles du XIX^e siècle et du début du XX^e siècle⁴ et de ses éléments particulièrement dignes de protection (parmi lesquels la liste indicative du Service des Monuments et Sites comprend les fenêtres).

L'hypothèse adoptée ici ne vise pas l'introduction de normes sévères en matière de conservation et de sauvegarde. Elle

3. Loi fédérale sur la protection de la nature et du paysage (LPN),
Loi fédérale sur l'aménagement du territoire (LAT)

4. Loi sur la protection des monuments, de la nature et des sites (LPMNS) Loi sur les constructions et les installations diverses (LCI)

préconise encore moins le recours à une sorte d'immobilité qui empêcherait à ces bâtiments de se transformer selon les nécessités, comme le *tissu urbain* de n'importe quelle ville l'a toujours fait. Cette option, que nous pouvons définir de "réaliste" tient compte des dynamiques que le travail de transformation comporte et exige, la finalité n'étant sûrement pas la libéralisation sauvage ou l'effacement des règles. Il s'agirait plutôt d'envisager un *modus operandi* capable de prendre en considération des alternatives, plutôt que d'adopter sans réflexion des solutions standard, souvent inadéquates au caractère de l'édifice qui subit les travaux de rénovation. Naturellement, la tâche n'est pas facile. Paradoxalement, elle est bien plus délicate et difficile que le serait la conservation obligatoire de l'état actuel. Les difficultés majeures sont de nature différente: d'un côté la liberté d'action rend les choix difficiles – suivre et respecter "l'enseignement du bâtiment" pour le transformer constitue, en effet, une très bonne démarche – de l'autre on constate, dans notre pays, l'absence d'une "culture de la modification" fondée sur le respect et la compréhension de l'architecture que l'on s'apprête à transformer. L'architecture courante du XIX^e siècle a souvent été considérée en tant que simple "support" à de nouvelles formules architecturales, qui, dans la plupart des cas s'affirment par contraste à l'égard de l'édifice original. Issue plus ou moins directement des dogmes modernistes, cette attitude s'est modifiée au fil du temps. Ignasi de Solà-Morales (1985) a affirmé, au début des années quatre-vingt, que la manière d'agir par rapport aux bâtiments existants était en train de s'orienter vers une approche de type analogique. Une série d'exemples devenus célèbres illustre le propos de Solà-Morales, mais parmi eux il n'y avait pas un seul cas de transformation de bâtiments d'habitation. Évidemment, il est beaucoup plus *simple et naturel* d'intervenir selon une démarche analogique sur un édifice monumental que sur un simple immeuble de logements. Les difficultés, de nature conceptuelle, se réfèrent au nœud fondamental du débat autour de la conservation, concernant d'abord le "quoi" plutôt que le "comment". Dans le cas du parc immobilier que nous traitons, la question du "quoi conserver ?" est donc incontournable. Il faut néanmoins reconnaître que ce même parc immobilier possède une inertie formidable et représente encore la majorité des édifices que l'on trouve dans les centres de nos villes, immédiatement à côté des noyaux plus anciens.

En conclusion, la manière d'intervenir sur un bâtiment de l'époque définie plus haut, protégé partiellement sans être classé,

est laissée au libre choix du maître d'œuvre et de l'architecte (quand il y en a un) responsable des travaux. Les problèmes et les risques liés à ce type d'interventions se sont récemment multipliés en raison d'une vaste campagne de sensibilisation sur la nécessité d'économiser l'énergie dans toutes ses formes. Dans le marché de la construction, nous assistons aujourd'hui à des réactions "automatiques", souvent dictées par les impératifs d'une mise à niveau technique, qui fait de l'économie d'énergie son cheval de bataille, avec la complicité des milieux politiques et des lobbies industriels.

Naturellement, personne ne prétend pouvoir ou devoir mettre en discussion une telle attitude, mais il faudrait néanmoins se méfier des attitudes dogmatiques et péremptoires qui se manifestent sous forme d'un réductionnisme inacceptable.

Dans ce cadre, extrêmement complexe, nous nous occupons d'un aspect apparemment secondaire qui concerne le traitement des fenêtres dans les travaux de rénovation. Fidèles au "principe de réalité" déjà évoqué, nous explorons les différentes alternatives qui s'offrent aux acteurs impliqués.

EX CURSUS SUR LA FENÊTRE

La fenêtre représente un élément clé pour le type d'architecture que nous traitons. Nombre d'études s'attardent sur elle en soulignant les aspects techniques; des études d'autre nature se penchent au contraire sur ses implications "philosophiques". Dans ce sens, la fenêtre est vue comme une *machine* mais aussi comme l'âme du bâtiment. Le philosophe James Hillman a écrit, à propos de la peinture d'Edward Hopper:

"(...) la fenêtre est le centre, l'âme du bâtiment, son regard à l'intérieur (...) partout où il y a une histoire, quelque part il y a aussi une fenêtre. Qui est expérience de l'âme, ouverture sur l'intériorité.

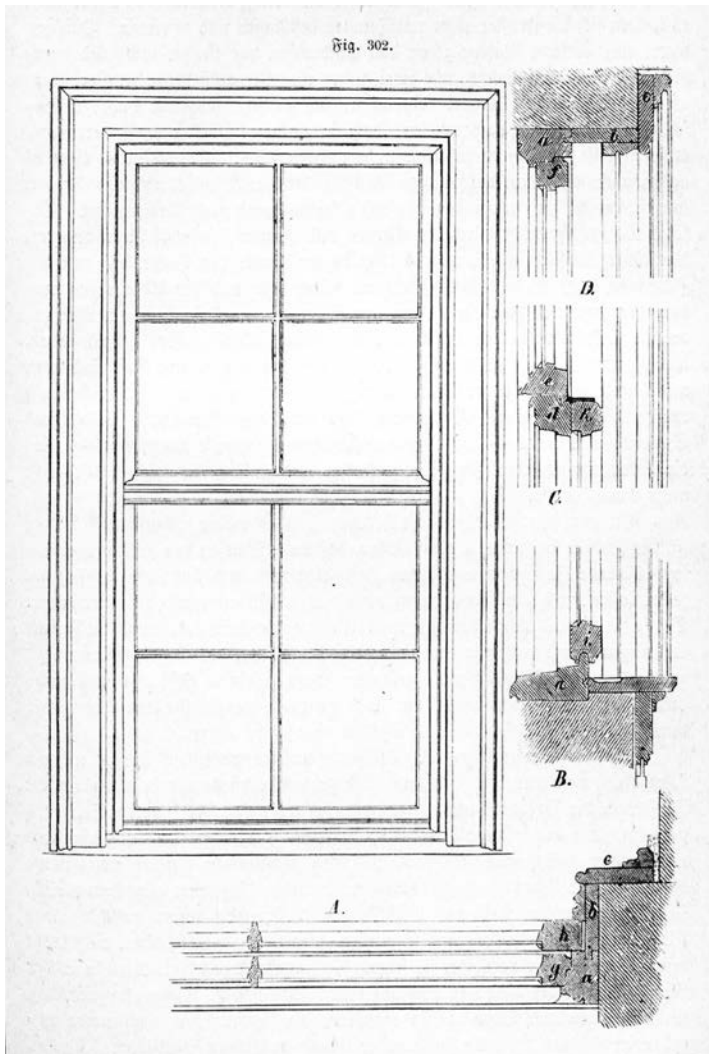
Pour le peintre, il ne s'agit pas d'un choix rationnel: il y a un sentiment qui le guide au-delà. Si l'au-delà manque – et il manque dans tout ce qui est nihiliste – la fenêtre est seulement une construction banale pour la lumière et l'air"⁵ (BENTIVOGLIO, 2004: 43).

Tant de peintres confirment la préexistence d'une fenêtre *partout où il y a une histoire* et il en est de même pour le cinéma, mais il est évident que la fenêtre constitue, *de facto*, une construction *pour la lumière et l'air*. Même si Hillman utilise le mot "banal"

5. Interview à James Hillman dans *La Repubblica* (Bentivoglio, 2004: 28 Mai)

dans sa signification négative, nous remarquons que cet élément d'architecture, qui a un rôle de premier plan dans les réalisations qui célèbrent la ville bourgeoise et bien avant cette époque, exerce une *fascination* indiscutable.

La fenêtre est un objet simple et compliqué à la fois. Même si nous la considérons du point de vue strictement technique, il est facile de constater qu'elle présente parfois des solutions constructives étonnantes et, presque systématiquement, un savoir faire artisanal tout-à-fait remarquable. Au-delà de la construction *banale* qui garantit l'entrée de la lumière et le passage contrôlé de l'air de l'extérieur vers l'intérieur et vice-versa, la fenêtre peut s'enrichir d'éléments décoratifs en se raccordant



Fenêtre à guillotine
(Fink, [1858] 1877: 217)

avec lambrequins et boiseries à l'intérieur ou en proposant des sections aux profils articulés qui enrichissent les jeux d'ombres et augmentent l'étanchéité à l'air et à l'eau.

Si les principes de base et les systèmes constructifs sont très semblables d'un pays à l'autre, il est vrai que chaque culture a développé une approche particulière: bois naturel ou peint, ouverture pivotante ou à guillotine, construction simple ou double, position occupée dans l'épaisseur du mur, partition géométrique des ouvrants, dimension des verres, sont autant d'éléments participant à la définition des caractères typiques des ouvertures en relation avec le climat, les matériaux à disposition, les connaissances constructives.

Dans certaines cultures, la fenêtre constitue un élément identitaire incontournable. Il suffit de penser aux *galerías* des bâtiments ibériques des côtes atlantiques, sortes de *bow-windows* répétés sur les façades, de forme plus régulière que ses correspondants anglo-saxons. Dans plusieurs cas, particulièrement à La Coruña, ces éléments répétés se superposent complètement à la façade en maçonnerie produisant des effets d'une modernité inattendue, qui font penser aux façades de type *curtain wall*.

Un autre exemple, dans lequel les fenêtres jouent un rôle de premier plan dans la définition de l'architecture est la ville de Bath, où une grande majorité de bâtiments utilise le même type de fenêtre, la *sash-window*, une fenêtre à guillotine qui s'impose comme solution unitaire à partir de son invention et qui connaîtra une très large diffusion, jusqu'à devenir un élément caractéristique de l'architecture britannique géorgienne et victorienne. La présence de ce type de fenêtre ainsi que son importance pour la sauvegarde des caractères architecturaux est témoignée, entre autres, par le nombre de publications qui y sont consacrées, dont plusieurs traitent de l'entretien, de la rénovation et de l'amélioration thermique. La *sash-window*, protagoniste de la vie quotidienne en Angleterre depuis des siècles, avec le mécanisme garantissant son fonctionnement, constitue une véritable "machine" dans le sens le plus noble du terme. Ce qui est fondamental de souligner ici, ce n'est pas seulement la qualité de cette fenêtre et sa contribution à la forme de l'architecture domestique anglaise, mais également le fait de la considérer comme un élément de valeur méritant d'être entretenu et sauvegardé.

Il faut également souligner, à ce propos, qu'en Suisse, dans le parc immobilier que nous traitons ici, s'impose désormais, et presque automatiquement, le remplacement plutôt que la rénovation. Les

raisons sont évidemment liées aux problèmes énergétiques mais aussi à l'absence d'entretien nécessité par les fenêtres en bois/métal et les fenêtres en PVC. Or, il serait certainement utile de connaître les motifs d'une telle attitude, sachant que personne n'oserait mettre en discussion les entretiens réguliers que nécessitent nos voitures, mais cet aspect dépasse largement les objectifs de ce travail.

QUE FAIRE ?

Lors de travaux de rénovation d'immeubles d'habitation de la deuxième moitié du XIX^e ou début XX^e siècle, les fenêtres figurent parmi les premiers éléments susceptibles d'être remplacés, tandis que pour d'autres parties du bâtiment le recours à la réparation figure parmi les options possibles. Dans les pages qui suivent, trois options fondamentales ont été prises en considération: maintien en l'état, réhabilitation, substitution.

En schématisant, il est possible d'affirmer que le premier cas est assez rare, vu que les fenêtres constituent un des points faibles de ce type d'immeubles, notamment au niveau thermique et acoustique. Par contre, la substitution s'affirme jusqu'à devenir la solution la plus adoptée. Cependant, des cas de réhabilitation d'anciennes fenêtres existent et montrent des résultats très satisfaisants, tant du point de vue énergétique, que du point de vue de l'étanchéité à l'eau et à l'air. Les aspects économiques jouent naturellement un rôle important. Dans ce contexte, il faut tenir compte de la difficulté à confronter deux types de marchés complètement différents comme la production industrielle et le travail artisanal. Dans le cadre de cette étude, nous avons à disposition une liste de prix élaborée par la ville de Lausanne.

Energie

Les aspects énergétiques occupent une position de premier plan dans les travaux de rénovation du parc immobilier. La pression économique et politique retentissant quotidiennement dans la presse spécialisée et générique est telle que l'on a parfois l'impression d'assister à l'affirmation de cette problématique au détriment de tout autre critère d'évaluation. Ce qui précède ne doit naturellement pas être interprété comme le refus d'entrer en matière dans un domaine d'importance capitale, mais plutôt comme l'invitation à prendre en considération un nombre plus large d'éléments afin de parvenir à des solutions satisfaisant

plusieurs aspects.

Les calculs énergétiques figurant dans les pages suivantes montrent, sans surprise, qu'une nouvelle fenêtre présente un rendement plus favorable qu'une ancienne fenêtre restaurée. On sera néanmoins étonné de constater que, parfois, la différence est moins importante que prévu. Le problème consiste alors à savoir ce que l'on "gagne" vis-à-vis d'une "perte" au niveau énergétique. Afin d'éviter tout malentendu, nous rappelons que l'objet de ce travail est constitué de bâtiments non classés et dont la protection légale est variable. Dans ce contexte, le remplacement d'anciennes fenêtres par des nouvelles est tout à fait admis, le but étant celui d'illustrer l'existence et l'importance d'autres aspects.

Proportions

Un premier problème dérivant du remplacement des anciennes fenêtres est constitué par les profils des cadres actuels et par leur épaisseur. Souvent, la performance énergétique est obtenue au détriment de la luminosité à l'intérieur des pièces et implique la perte visuelle des rapports proportionnels d'origine, même si, conscients de cette problématique, nombre de producteurs s'orientent vers des profilés de section réduite (voir détails à page 91 et suivantes). En travaillant intelligemment avec les embrasures existantes, on arrive à respecter l'encombrement visuel des cadres d'origine, ce qui n'est, par contre, pas possible au niveau du meneau central pour des raisons constructives et pour ne pas diminuer le rendement sur le plan énergétique.

Un autre problème relatif aux proportions est constitué par la répartition des vitres obtenues par l'introduction de *croisillons*, autrement dits *petits bois*. Les aberrations proposées par les fabricants de fenêtres témoignent de l'importance de leur présence d'un point de vue purement optique. Observées d'une certaine distance, les fenêtres avec croisillons rapportés ou incorporés peuvent donner l'impression de maintenir la géométrie constructive d'origine, même s'il s'agit d'une authentique tromperie. De ce point de vue, la substitution des fenêtres représente un thème de la plus grande importance à l'égard de l'*authenticité* dans les travaux de rénovation et de sauvegarde. Alors qu'il est évident que les croisillons de ce type n'ont aucun sens, ni par rapport à la construction du cadre, ni par rapport aux dimensions des vitres, la présence de ces solutions exprime, néanmoins, l'identification, de la part du public, de la répartition géométrique des vitres avec un certain type d'architecture. La

solution des faux croisillons constitue évidemment un exemple explicite de *décoration* dans le sens le plus détérioré et superficiel du terme, ce qui explique le refus, de la part des architectes les plus avertis, d'utiliser de tels expédients. Mais le problème subsiste. Parce que les gens, les habitants de vieux immeubles, veulent que leurs nouvelles fenêtres ressemblent le plus possible aux anciennes. Dans ce cas également, il serait utile de savoir quelles sont les raisons profondes de cette obstination, aussi incompréhensible, au fond, que respectable.

Au travers de ce problème ponctuel, nous pouvons nous poser la question de l'authenticité au sens large. En effet, si les matériaux de la fenêtre et les vitres changent, le besoin de voir les croisillons répond, peut-être, à la recherche d'un simulacre d'authenticité. Il peut apparaître excessif de s'attarder sur une telle question, mais derrière cette "petite chose sans importance" se cache le problème de notre rapport à l'architecture comme image et comme trace concrète du passé. Dans ce contexte, évidemment, l'image prévaut sur la matière et sur la technique.

Matériaux, couleurs, toucher

Le remplacement des fenêtres, très souvent, implique un changement de matériaux, pour les raisons évoquées plus haut (coût, facilité d'entretien, etc.). Dans l'optique de sauvegarder le caractère d'origine du bâtiment, toutes modifications devraient faire l'objet d'une évaluation attentive. S'il est vrai que les fenêtres en PVC peuvent tromper le profane au niveau de la perception, il est également vrai qu'elles ont souvent une coloration différente par rapport à l'ancienne fenêtre en bois peint. Les différences ne concernent pas uniquement les couleurs mais également l'apparence matérielle, notamment la surface parfaitement lisse des éléments en PVC diffère profondément des surfaces, quelque peu rugueuses, des anciennes fenêtres. Parfois, afin d'éviter cette *similitude infidèle*, on préfère installer des fenêtres de couleur différente, ce qui n'est pas sans effet sur l'ensemble de la façade. L'installation de nouvelles fenêtres clairement différentes des originelles n'est pas à exclure, mais elle nécessite une étude approfondie visant à ne pas perturber l'ensemble de la façade. Ce dernier point se réfère aux principes énoncés au début du texte, notamment le "principe de réalité" qui régit ou devrait régir les transformations opérées sur les bâtiments que nous avons définis comme "courants". Dans ce contexte, il n'est pas nécessaire d'adopter la même solution partout. Le remplacement

des fenêtres sur cour ou sur la façade arrière, pourrait faire l'objet d'une démarche différente de celle adoptée pour les fenêtres de la façade principale, au nom de la valeur collective de cette dernière. Le choix à adopter serait donc soumis à des critères autres que la performance technique, en reconnaissant implicitement la valeur sociale et collective de la face "publique" d'un immeuble d'habitation. Un tel discours serait probablement inacceptable du point de vue des critères de la restauration architecturale, mais il faut toujours se référer aux cas spécifiques que nous traitons, c'est-à-dire des bâtiments dont la valeur patrimoniale n'est pas absolue.

En plus des aspects visuels, il faudra aussi tenir compte des aspects tactiles, même si un tel argument peut sembler hors propos ou exagéré. La sensibilité du public change et aujourd'hui l'attention aux matériaux, dans toutes leurs composantes, devient de plus en plus importante. En présence d'espaces intérieurs possédant les caractères de l'architecture domestique fin XIX^e siècle, le contraste entre les nouvelles fenêtres et les portes d'origine en bois peint, peut être perçu comme incongru.

Vitres et reflets

Les deux options – remplacement ou réparation des éléments existants – ayant pour finalité l'amélioration du confort intérieur et la réduction des besoins en énergie, il est implicite que les vitres seront les plus performantes possible, sous forme de double, et désormais triple vitrage. Dans le cas d'adaptation des anciens cadres, le poids des nouvelles vitres ne représente pas un problème en soi. Le type de reflets et le degré de transparence, par contre, peuvent poser des problèmes tant à l'intérieur qu'à l'extérieur. En ce qui concerne la transparence et l'absence de colorations, les produits industriels sont de plus en plus performants. Quant aux reflets, il est évident que les non spécialistes ne perçoivent pas, à première vue, de différences, mais il est vrai que la disparition des *vibrations subtiles* qui animent les fenêtres des vieux immeubles, produit un effet étrange. La lumière du soleil est capturée par les surfaces pierreuses ou crépies de façon plus douce que ce que les surfaces parfaitement lisses des vitres et des nouveaux cadres peuvent faire. Il est facile d'anticiper l'objection à une telle remarque: il s'agit d'un discours nostalgique. Sans nier que ces considérations peuvent être empreintes de nostalgie, il est quand même légitime de se poser des questions d'ordre perceptif.

L'image des immeubles que nous traitons, comme l'expérience l'a déposée dans nos esprits, est indissociable des effets décrits plus haut. Pour cette raison, une fois mise de côté la distraction qui domine nos rapports à la ville et à l'architecture, même les non spécialistes – après un premier regard – noteront la différence ; ils percevront quelque chose d'étrange, comme une espèce de froideur due à l'absence de petites vibrations lumineuses...

Quelle importance peut avoir une telle remarque à l'égard des problèmes, bien plus sérieux et tangibles, des besoins énergétiques? Probablement s'agit-il d'une remarque négligeable, surtout quand on parle du parc immobilier qui est au centre de cette recherche. Mais il est cependant essentiel de la rappeler, de montrer qu'une telle préoccupation à son droit d'existence à l'intérieur d'une vision de l'architecture large et sensible.

AUTHENTICITÉ

Tous ces points, apparemment sans importance, composent la toile de fond sur laquelle repose le problème de l'authenticité.

Il s'agit d'une notion fondamentale en architecture, particulièrement dans le domaine de la rénovation/réhabilitation. Le *Document Nara sur l'authenticité* (Lemaire et Stovel, 1994) est assez explicite à ce sujet⁶. L'un des rédacteurs, Herb Stovel, a annexé au document officiel une série de suggestions concernant les suites à y donner. On y lit, au premier paragraphe:

"Le respect de la diversité des cultures et des patrimoines exige un effort soutenu pour éviter qu'on impose des formules mécaniques ou des procédures uniformisées lorsqu'on tente de définir et d'évaluer l'authenticité d'un monument ou d'un site" (Lemaire et Stovel, 1994).

Le message le plus important, contenu dans ces quelques lignes, n'est pas tellement lié à la définition de l'authenticité, quant à la mise en garde contre les *formules mécaniques* et les *procédures uniformisées*. En effet, toute exception faite, ce que nous constatons aujourd'hui dans les rénovations des immeubles d'habitation courants de la fin du XIX^e et du début du XX^e siècles, est justement l'application acritique et insensible de *formules mécaniques*. Les impératifs énergétiques sont le reflet d'un problème qui est sous les yeux de tout le monde et, en tant que tel, il est à considérer comme un problème *authentique*. L'ignorer serait donc contraire aux principes d'authenticité. Au-delà de

6. Le *Document Nara sur l'authenticité* a été rédigé par 45 participants à la Conférence de Nara sur l'authenticité dans le cadre de la Convention du Patrimoine mondial, tenue à Nara, Japon, du 1 au 6 novembre 1994, sur l'invitation de la Direction des Affaires Culturelles du Gouvernement Japonais et la Préfecture de Nara. La Direction organisa la Conférence en coopération avec l'UNESCO, l'ICCROM et l'ICOMOS.

ce syllogisme élémentaire, il faut noter que les adaptations et les transformations constituent un aspect caractéristique des bâtiments que nous traitons. Qu'il s'agisse de modernisation, mise à jour technique, amélioration du confort, ou de simple adaptation aux goûts du temps, ce patrimoine "sans qualités" ne cesse d'évoluer et de se modifier.

Dans cette optique, à la lumière des considérations de Stovel, il apparaît légitime de s'interroger sur le rapport entre les points soulevés plus haut et le *respect de la diversité*. Le *devenir historique* des immeubles dont nous traitons fait partie de sa raison d'être. Pour cette raison, s'agissant d'un patrimoine dont la valeur ne réside pas dans le bâtiment individuel mais plutôt dans l'ensemble qu'il constitue avec d'autres bâtiments similaires ; la volonté ou la nécessité de transformation n'est pas remise en discussion. Le problème consiste dans le *comment* plutôt que dans le *pourquoi*. L'objectif ultime de cette publication est d'illustrer la complexité d'un acte apparemment banal comme la substitution ou la réparation d'anciennes fenêtres.

Comme c'est souvent le cas dans les projets de transformation, l'application de règles absolues et universellement valables demeure extrêmement difficile, voire impossible. La logique du "cas par cas" est la seule capable de garantir de bons résultats, à condition que le problème soit abordé avec les connaissances et la sensibilité nécessaires. Comme dans n'importe quel projet d'architecture, le point fondamental est d'identifier les éléments importants et d'en établir une hiérarchie correcte, selon le principe de réalité évoqué à plusieurs reprises. Cette considération, qui s'apparente à des principes multicritères, refuse la réduction de la problématique à un seul et unique critère, qu'il soit de nature économique ou technique.

FUREUR ICONOCLASTE

Une solution assez répandue dans les immeubles que nous avons pris en considération dans la région lémanique est celle de la *fenêtre d'hiver* et de la double fenêtre à proprement parler. Les fenêtres éclairant et aérant les pièces sont doublées à l'extérieur par des *fenêtres d'hiver*. Même si l'usage qui veut que l'on remonte des caves ces fenêtres à l'arrivée du froid a été abandonné, ou pratiqué seulement dans les grandes résidences privées, cette deuxième fenêtre constitue un élément caractéristique de la culture constructive et domestique. Dans la plupart des cas, son

apport thermique est assez limité à cause de sa nature (vitrage simple et profils assez minces) et du fait que la possibilité d'un démontage imposait des systèmes de fixation assez rudimentaires. C'est probablement pour ces raisons que, une fois que les fenêtres intérieures ont été remplacées, les *fenêtres d'hiver* sont considérées inutiles à tous les effets et, par conséquent, démontées et jetées. Par contre, leur maintien constitue une solution valable pour deux bonnes raisons. Premièrement, parce qu'une fois réparées, elles peuvent contribuer à l'amélioration des performances en matière d'énergie; deuxièmement parce qu'elles garantissent le respect du caractère originaire des façades. À la lumière de ces considérations, le fait de se débarrasser des *fenêtres principales* ne s'explique que comme conséquence d'une vision limitée au seul paramètre énergétique ou, pire, d'un mépris arrogant à l'égard de ce témoignage d'un savoir faire et d'une culture domestique remarquablement riches par rapport aux moyens utilisés. Tout ce qui précède s'applique aux différentes déclinaisons de la double fenêtre (fenêtre d'hiver, fenêtre à caisson, fenêtre couplée).

CONSIDÉRATIONS PRIVÉES ET VALEURS PUBLIQUES

"Il importe de rappeler que l'UNESCO considère comme principe fondamental le fait que le patrimoine culturel de chacun est le patrimoine culturel de tous" (Lemaire et Stovel, 1994).

Cette déclaration, empruntée à l'article 8 du *Document Nara sur l'authenticité*⁷, dépasse évidemment le cadre de ce texte en rappelant la valeur collective de l'architecture, y compris les bâtiments "courants" dont nous nous occupons. Les cas que nous traitons, apparemment liés de manière exclusive à la sphère privée, ont par contre un impact considérable sur l'ensemble de l'immeuble ou de la rue.

Idéalement, le remplacement ou la réparation des fenêtres d'un immeuble devraient faire l'objet d'une action partagée et simultanée. De plus, une telle opération devrait prendre en compte le contexte géographique plus vaste dans lequel le bâtiment se situe. Il s'agirait donc de mettre sur pied une suite d'actions coordonnées. Une telle démarche est évidemment incompatible avec le régime de *Propriété Par Etage*, à l'exception des cas où les propriétaires s'accordent et décident d'exécuter des travaux communs. Toute forme de contrôle ou d'imposition

7. Le texte intégral du Document est téléchargeable sur le site Web d'ICOMOS <http://www.icomos.org/index.php/fr>.

serait cependant inappropriée et contraire à la nature même des bâtiments "courants".

Le problème semble, par conséquent, insoluble en dehors d'une prise de conscience collective des valeurs de l'architecture dite mineure. Cette prise de conscience pourrait être accompagnée par des mesures d'encouragement de nature diverse, prenant en compte d'autres critères à côté des aspects énergétiques. Une suite d'incitations ciblées pourrait produire une situation analogue à celle que les Anglais connaissent et vivent au quotidien à l'égard de leurs *sash-windows*. En attendant que ces conditions propices se réalisent, nous observons l'inéluctable: l'affirmation de solutions souvent hâtives et mal réfléchies, le succès d'un tel ou tel autre produit industriel et la disparition à jamais des anciennes fenêtres, désormais considérées, et peut-être définitivement, comme des objets sans qualités.

L'ambition de cette étude est de sensibiliser les opérateurs et le public, en agissant dans le seul espace d'action possible que le "patrimoine silencieux" nous offre: la conscience des valeurs élaborées par une culture du quotidien qui mérite d'être sauvegardée en dépit de son caractère "banal".

LES BÂTIMENTS

Comme déjà mentionnée plus haut, la question de l'assainissement énergétique des fenêtres que nous traitons ici, s'inscrit dans la problématique générale de la remise en état et de la rénovation des bâtiments construits entre 1850 et 1920. Pour mesurer les enjeux de telles interventions il semble utile de rappeler d'abord quelques spécificités de ces bâtiments.

Du point de vue constructif, ces immeubles forment un ensemble assez homogène, présentant des techniques couramment employées, faisant partie du savoir-faire des maîtres d'état.

Ainsi, les éléments horizontaux sont, pour la plupart, constitués de planchers en bois d'une épaisseur d'environ 20 cm avec des hauteurs sous plafond variant entre 3 m et 3.2 m. A partir de 1900, on observe aussi l'utilisation de dalles à hourdis ou nervurées en béton, surtout pour ceux situées entre le sous-sol et le rez-de-chaussée. Comme revêtement de sol on trouve, dans les chambres, de magnifiques parquets cloués sur lambourdes et, dans les cuisines et les salles de bains, des carrelages posés sur un

lit de mortier. Les plafonds sont constitués d'un enduit de plâtre sur lattis et, dans certaines pièces représentatives, parfois munis de moulures.

Les murs de façade sont porteurs et généralement construits en moellons puis enduit d'un crépi à base de chaux. Pour le soubassement on rencontre aussi des exécutions en pierre apparente. Les éléments décoratifs tout comme les encadrements des fenêtres sont façonnés en pierre de taille ou en simili-pierre et montés en même temps que le mur. Adaptées à ce type de maçonneries, les fenêtres ont des proportions verticales et des dimensions pratiquement standardisées qui varient très peu d'un bâtiment à l'autre, soit environ 1 m de large pour 2 m de haut. Ceci forme des ouvertures généreuses qui permettent une bonne illumination des pièces. Du côté intérieur de l'ouverture, pour permettre un accès aisé à la fenêtre, le mur est systématiquement évidé de manière à créer une niche avec des embrasures évasées. La niche, dont les parties latérales et la partie haute sont dans certains cas revêtues de boiseries, forment, avec la fenêtre, un ensemble spatial typique des bâtiments en pierre.

Le caractère matériel des logements du tournant du XX^e siècle est essentiellement déterminé par tous ces éléments: la nature des sols, les décorations de plafond ainsi que les détails de menuiseries, notamment ceux des fenêtres, y compris leur niche.

ÉVOLUTION DU VERRE

Pour les fenêtres anciennes comme pour les fenêtres actuelles, on peut constater que l'évolution de la technologie de la fenêtre en tant qu'élément de menuiserie, est étroitement liée à la technologie de la fabrication du verre.

Verre soufflé ou étiré

Dans la période située entre le milieu du XIX^e et le début du XX^e siècle, le verre courant était un verre soufflé ou étiré d'une épaisseur de 1 à 2 mm et fabriqué dans des dimensions d'environ 50 x 60 cm. Posé en simple vitrage, il ne protège du froid extérieur que de façon très limitée. La valeur U théorique de 6 W/m²K est obtenue par le pouvoir isolant des deux *couches limites* de part et d'autre du verre dont les conductances admises sont 8 W/m²K

pour l'intérieur et $25 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ pour l'extérieur. Par temps de vent, le pouvoir isolant de la couche extérieure diminue fortement et la valeur U du vitrage peut monter jusqu'à environ $8 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$. En période froide, la température à la surface intérieure du vitrage est alors très basse, proche de la température extérieure, ce qui a pour conséquence l'apparition de condensats ainsi que des courants d'air froids descendants dans les pièces d'habitation. Pour pallier à ces phénomènes, des solutions comportant deux couches de verres vont être développées. Ces systèmes diminuent les effets désagréables, sans toutefois pouvoir les éliminer complètement. Pour ces raisons, les fenêtres de cette époque sont systématiquement dotées d'une tablette intérieure comportant une rainure qui permet de récolter l'eau de condensation pendant les mois de grand froid. L'introduction du chauffage central, au début du XX^e siècle, a permis d'apporter une nette amélioration à ces problèmes. Les radiateurs posés sous les fenêtres permettent de compenser le courant d'air froid descendant par un courant d'air chaud montant, diminuant par la même occasion les phénomènes de condensation.

Verre isolant

A la fin des années 1970, les constructions à double verre sont remplacées par des verres dits "isolants" doubles et quelque fois triples. La valeur U reste toutefois autour de $2.9 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ pour les vitrages doubles et de $1.9 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ pour les vitrages triples. Depuis les années 1990, des progrès significatifs, du point de vue thermique, ont pu être obtenus par l'application de couches sélectives sur les verres, l'utilisation de gaz nobles pour le remplissage de l'entre-verre et la mise au point de nouveaux types d'intercalaires. Ces mesures ont permis d'abaisser la valeur U_g à $1.0 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ pour un vitrage double.

Les mesures liées à la politique énergétique suisse de ces dernières années ont aussi eu une influence sur le développement des verres isolants. Ainsi les constructions respectant les standards Minergie et Minergie P⁸ sont de plus en plus répandues. Le démarrage du *Programme Bâtiments*⁹ en 2009 a aussi eu un fort succès et incite passablement de propriétaires à assainir l'enveloppe de leurs immeubles. En conséquence, la demande de triples verres isolants a fortement augmenté et poussé les fabricants de verres isolants à moderniser leurs équipements en mettant l'accent sur la production de ce type de verres. Ainsi, la

8. www.minergie.ch

9. www.dasgebaeudeprogramm.ch

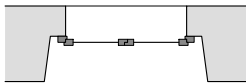

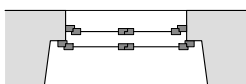
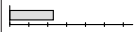


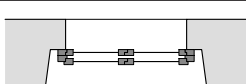
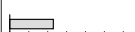
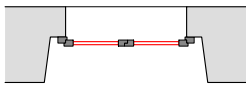
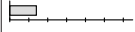
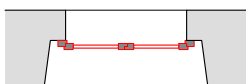
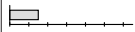
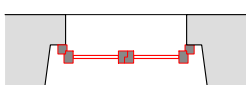

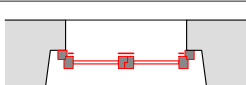

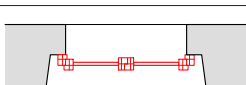

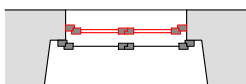
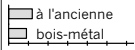
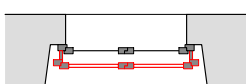
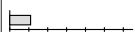
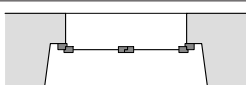

différence de prix entre le double et le triple vitrage isolant s'est considérablement réduite et le triple vitrage isolant est en phase de devenir le standard de ces prochaines années.

Verre sous vide

Toutefois, le progrès des vitrages isolants conventionnels semble aujourd'hui avoir atteint des limites et d'autres améliorations ne paraissent guère possibles. C'est pourquoi des recherches sont actuellement en cours pour explorer d'autres approches dans le but de trouver des matériaux transparents qui offrent d'excellentes propriétés d'isolation thermique. Parmi les pistes les plus prometteuses, on peut citer les verres sous vide dans lesquels l'espace entre deux vitrages est constitué d'un vacuum. En théorie, ceci constitue une solution idéale car elle permet de supprimer le transfert de chaleur par conduction et par convection entre les deux verres. Au Japon, ce type de verre est déjà fabriqué avec des valeurs U de $1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ¹⁰ et en Allemagne des recherches sont en cours pour mettre au point la fabrication de ce type de vitrages avec des performances thermiques meilleures¹¹. On peut déjà imaginer les conséquences sur l'évolution des fenêtres du futur ainsi que les possibilités offertes pour l'assainissement des fenêtres anciennes. Selon les premières publications, ces vitrages seront composés de deux couches de verres de 3 mm espacés de 0.2 mm, soit une épaisseur totale de 6.2 mm ce qui représente environ 25 - 30% d'un verre isolant double et 14 - 17% d'un verre isolant triple et ceci pour des performances thermiques similaires voir meilleures ($U_g \approx 0.6 \text{ W/m}^2\text{K}$). Toutefois, pour maintenir l'écartement entre les vitres, fortement sollicitées par la différence de pression, une grille de distanceurs en forme de billes doit être répartie sur toute la surface du vitrage. Celle-ci sera visible lorsque l'on s'approchera du vitrage. Une problématique à résoudre avant la commercialisation consiste à rendre les bords du verre étanches pour éviter des infiltrations d'air dans l'entre-verre, ce qui supprimerait l'effet isolant du vacuum. Pour contrôler le vide et pour soutirer l'air en cas d'infiltration, il sera envisageable d'équiper les verres d'une soupape qui permettra de raccorder un manomètre pour contrôler la pression, ou une pompe pour refaire le vide en cas d'infiltration. Ces manipulations seront à faire avant les périodes de chauffage.

10. L'entreprise Pilkington commercialise un verre sous vide sous la marque «Spacia».

11. http://www.detail.de/artikel_vakuumverglasung_23674_De.htm

	Désignation		U_w W/m ² K	page
Fenêtres anciennes	Fenêtre simple		 4.95	33
	Fenêtre avec contre-fenêtre		 2.31	41
	Fenêtre à caisson		 2.42	49
	Fenêtre couplée		 2.31	55
Rénovation de la fenêtre	Remplacement du vitrage		 1.44	65
Remplacement de la fenêtre	Fenêtre neuve à l'ancienne		 1.42	77
	Fenêtre neuve industrielle en bois		 1.33 <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> DV <div style="width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px; margin-left: 5px;"></div> TV </div>	83
	Fenêtre neuve industrielle en bois-métal		 1.12	91
	Fenêtre neuve industrielle en PVC		 1.33 <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> DV <div style="width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px; margin-left: 5px;"></div> TV </div>	97
Doublage de la fenêtre	Contre-fenêtre neuve		 1.18 <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> à l'ancienne <div style="width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px; margin-left: 5px;"></div> bois-métal </div>	107
	Transformation en fenêtre à caisson		 1.14	115
	Fenêtre intérieure neuve		 1.13	121

II. DÉMARCHE

Habituellement, le débat sur l'assainissement des fenêtres anciennes se fait dans le cadre de bâtiments protégés et aborde essentiellement des questions d'économie d'énergie et de sauvegarde du patrimoine. Les documents édités par certains services du patrimoine cantonaux à l'intention des architectes et du grand public en sont le témoin (voir bibliographie p.143).

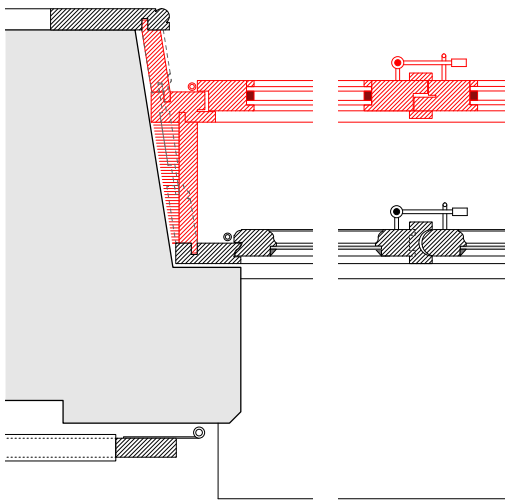
Pour traiter la question de la fenêtre dans le contexte des bâtiments "ordinaires" qui nous intéressent dans cette étude et pour apporter un autre éclairage à cette problématique difficile aux exigences apparemment contradictoires, il nous semblait important d'aborder non seulement des questions de construction et d'énergie, mais aussi de mener des interrogations d'ordre architectural, telles que l'intégration de nouveaux matériaux et systèmes constructifs dans une architecture ancienne.

Pour ce faire, nous avons décidé de présenter les divers cas d'étude séparément, mais selon une même trame analytique.

Analyse graphique

Un objectif de la recherche est d'évaluer les impacts architecturaux des différentes méthodes d'intervention et de les comparer. C'est pourquoi tous les cas d'étude ont été redessinés avec un code graphique identique. L'aspect global de la fenêtre est représenté à l'échelle 1:33 dans le but de pouvoir apprécier l'influence de l'opération sur l'expression de la façade, en particulier les proportions entre le cadre et le vitrage. Les dessins à l'échelle 1:5 permettent d'évaluer les détails constructifs et d'illustrer la mise en œuvre. Cette comparaison graphique, aide aussi à se rendre compte du saut d'échelle qui est opéré lorsque l'on remplace les fenêtres anciennes par des fenêtres industrielles contemporaines dont toutes les épaisseurs sont plus importantes.

Avant de décider du choix graphique, nous avons étudié les dessins de divers manuels de menuiserie anciens décrits dans la première partie de la bibliographie. Bien que dans ces livres, la maçonnerie soit généralement idéalisée et les fenêtres soient représentées comme étant collées au mur, il nous a paru utile de montrer l'imbrication des couches ainsi que la mise en place des divers éléments. Ceci nous semblait d'autant plus important que dans la plupart des cas, la rénovation passe par le démontage de certains éléments alors que d'autres sont maintenus en place. Pour faciliter la lecture des interventions, nous avons repris les codes graphiques habituels; les parties maintenues sont dessinées en noir, les parties nouvelles en rouge. Enfin, les éléments enlevés sont représentés en traitillé pour faciliter la lecture de l'intervention.



Exemple de dessin de détail.
Réduction échelle 1:10

Calculs énergétiques

En Suisse, les questions liées aux déperditions thermiques sont réglementées par la norme SIA 380/1 (2009) *L'énergie dans le bâtiment* qui définit la méthode de calcul ainsi que les valeurs limites à respecter. C'est l'une des rares normes ayant aussi une portée légale car plusieurs cantons en Suisse ont décidé de s'y référer dans leurs lois sur l'énergie.

Selon cette norme, les pertes par les fenêtres sont prises en compte à l'aide d'une valeur U_w , qui représente le coefficient

1. Le coefficient de transmission thermique "surfactive" de l'encadrement est calculé selon la norme ISO 10077-2 (2012), mesuré selon la norme EN 12412-2 (2003) ou obtenu à partir de l'annexe D de la norme ISO 100077-1 (2006).

de transmission thermique moyenne sur l'ensemble du vide de maçonnerie. La détermination de la valeur U_w elle-même se fait selon la méthode définie dans la norme ISO 10077-1 (2006) et tient compte:

- du coefficient de transmission thermique du vitrage (U_g) et de la surface nette du verre (A_g);
- du coefficient de transmission thermique de l'encadrement (U_f)¹ et de la surface nette des cadres (A_f);
- du coefficient de transmission thermique linéique Ψ_g dû aux effets thermiques combinés du vitrage, de l'intercalaire et de l'encadrement et du périmètre des verres (l_g).

La valeur U_w moyenne est alors calculée selon la formule suivante:

$$U_w = \frac{\Sigma U_g A_g + \Sigma U_f A_f + \Sigma \Psi_g l_g}{\Sigma A_g + \Sigma A_f}$$

Pour des fenêtres doubles, la norme ISO 10077-1 prévoit de calculer les valeurs à respecter des deux fenêtres séparément (U_{w1} et U_{w2}) et de déterminer la valeur U_w de l'ensemble selon la relation suivante (ISO 10077-1, 2006: Art. 5.1.2):

$$U_w = \frac{1}{1/U_{w1} - R_{si} + R_s - R_{se} + 1/U_{w2}}$$

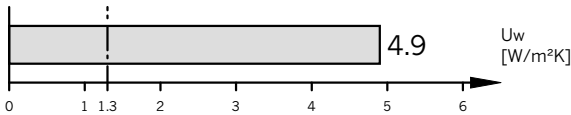
R_{si} et R_{se} sont les résistances superficielles intérieures et extérieures. R_s représente la résistance thermique de la couche d'air entre les deux fenêtres. Dans les cas courants, R_{si} est de 0.13 m²K/W et R_{se} de 0.04 m²K/W.

Le grand avantage de la méthode définie dans la norme ISO 10077-1 (2006) réside dans le fait qu'elle permette l'évaluation de la performance thermique d'une fenêtre sans avoir recours à des calculs complexes. D'une part on ne doit pas tenir compte de la composition du mur dans lequel la fenêtre est insérée, ni de la façon dont elle est raccordée à ce dernier. D'autre part, la justification thermique peut se faire sur la base de données fournies par les fabricants de fenêtres et de vitrages.

Pour justifier les déperditions thermiques d'un bâtiment entier, la norme SIA 380/1 (2009) prévoit deux types d'approches. La première exige le respect de *performances ponctuelles* pour tous les éléments assainis. Cette dernière méthode est généralement

II. DÉMARCHE

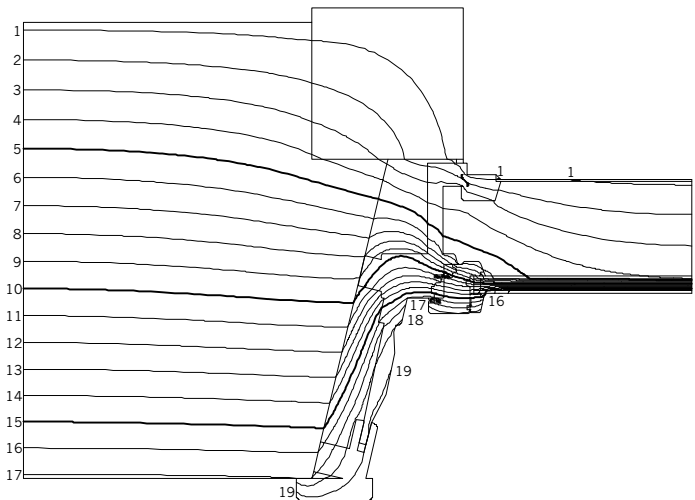
appliquée dans le cadre d'interventions localisées sur les façades qui ne visent qu'à rénover les fenêtres sans toucher aux parties murales. Dans ce cas, la valeur U_w de chaque fenêtre doit être inférieure ou égale à $1.3 \text{ W/m}^2\text{K}$. La deuxième approche demande le respect d'une *performance globale* ce qui nécessite l'établissement d'un bilan énergétique sur les zones transformées. Dans le cadre de la rénovation, cette méthode offre l'avantage de ne pas imposer des limites par élément mais de permettre une répartition des efforts d'isolation selon les spécificités du bâtiment. Ainsi, par exemple, un surplus de pertes à travers les fenêtres peut être compensé par une isolation plus conséquente d'autres parties du bâtiment.



Les valeurs U_w calculées des fenêtres sont représentées sous forme de barres.

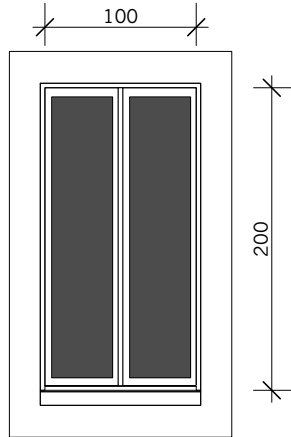
Pour évaluer l'efficacité énergétique des diverses fenêtres étudiées, les valeurs U_w selon la norme ISO 10077-1 (2006) ont été calculées pour une fenêtre type de dimension de $1.00 \times 2.00 \text{ m}$ (voir figure ci-contre). Ceci sur la base de la valeur thermique des cadres (U_f) et des intercalaires (Ψ_g) obtenue grâce à un calcul par éléments finis effectué à l'aide du logiciel Flixo². Cette approche a été choisie car elle permettait d'évaluer tous les types de fenêtres de manière équivalente, aussi bien les anciennes fenêtres à simple vitrage que les doubles fenêtres pour lesquelles aucune donnée thermique n'étaient disponibles. Les valeurs U_w obtenues sont

2. Le logiciel Flixo permet de créer des modèles thermiques bidimensionnels et de déterminer les transmissions thermiques à l'aide d'un calcul par éléments finis (Zürich: Editeur Infomind [www.flixo.com]. Version utilisée: Flixo 7).



Les résultats des calculs de flux thermiques sont représentés sous forme de dessins à l'échelle 1:10 représentant les isothermes. Les chiffres indiquent les températures en °C.

représentées dans un graphique sous forme de barres (voir ci-contre). La valeur limite légale de $1.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ y sert de référence. Dans le cadre des simulations par éléments finis, l'ensemble de



G: Fenêtre type servant à calculer la valeur U_w
D: Intercalaire thermoplastique

l'embrasure a aussi été modélisé pour évaluer le comportement thermique de l'assemblage "maçonnerie-fenêtre". Les résultats de ces calculs sont illustrés sous forme de coupes horizontales représentant les courbes des isothermes pour une température intérieure de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ et une température extérieure de $0 \text{ }^\circ\text{C}$, ce qui correspond à la température moyenne du mois de janvier à Lausanne (SIA 381/2, 1988).

Pour obtenir des résultats comparables, tous les calculs ont été faits avec des verres et des intercalaires identiques, c'est-à-dire un vitrage thermique ($U_g=1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$) composé de deux verres de 4 mm espacés de 12 mm^3 , respectivement 16 mm ainsi que des intercalaires à bord chaud⁴. Le choix du verre 4/12/4 d'une épaisseur totale de 20 mm semble être un compromis favorable qui permet d'obtenir une bonne isolation thermique pour une épaisseur minimale. C'est pourquoi il est couramment utilisé dans la rénovation de fenêtres. Les intercalaires thermoplastiques sont depuis quelques temps sur le marché et semblent devenir un standard du fait qu'ils possèdent d'excellentes propriétés thermiques, tout en facilitant l'automatisation de la fabrication des verres isolants.

3. Référence: Flachglas
 "vetroTherm 1.1"
 vF 4/12/vF 4 low-E 1.1 Krypton,
 U_g théorique selon EN 673 (2011)
 $1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$.

4. Référence: Kódimelt TPS
 intercalaire thermoplastique à base de polyisobutylène, conductivité thermique $\lambda = 0.25 \text{ W/mK}$.
 Un produit similaire à base de silicone avec le nom commercial ACSplus est également commercialisé par Glas Troesch.

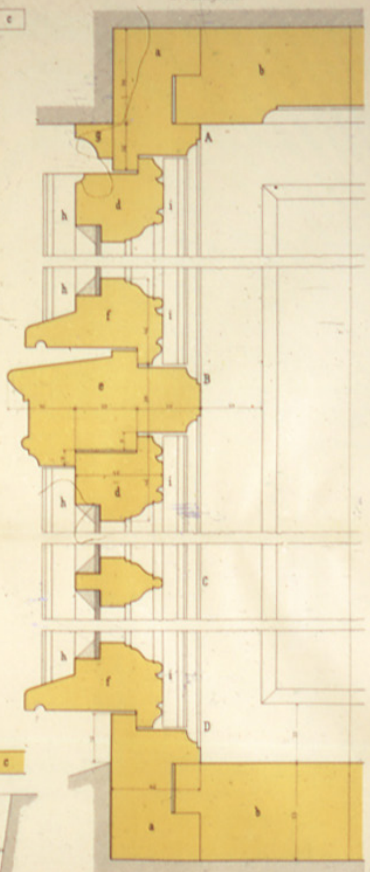
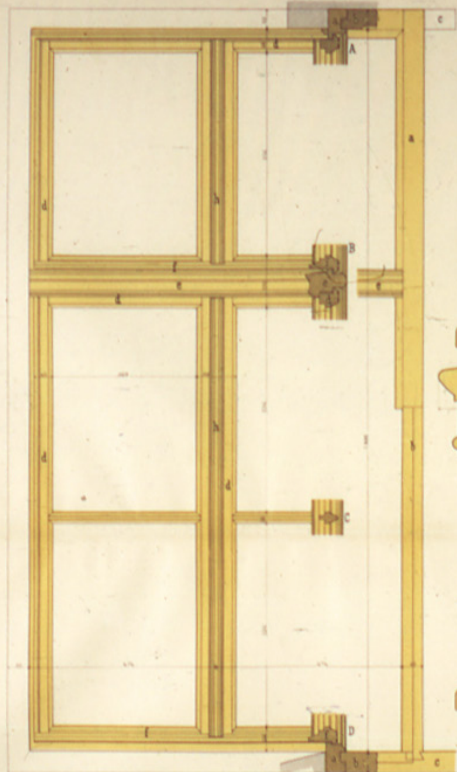
Autres aspects

Les questions de matérialité et de mise en œuvre sont traitées selon la spécificité du cas et développées dans le texte.

AUSSERES FENSTER

(nach innen aufgehend. Zu den Räumern 20, 24 u. 27 gehörend.)

Detail des äußeren Fensters in Naturgröße.



Grundriß



Mittelanachlag der ... auf die Osterflügel.



- a. Draußenbleibung
- b. Draußenbleibung
- c. Nach Oben nach Unten
- d. Fenster-Schloß
- e. Außen-Ringel
- f. Fensterstube mit dem ...
- g. Pappeinlage
- h. In der Fensterstube geb.
- i. In der Fensterstube geb.
- k. In der Fensterstube geb.
- l. In der Fensterstube geb.
- m. In der Fensterstube geb.
- n. In der Fensterstube geb.
- o. In der Fensterstube geb.
- p. In der Fensterstube geb.
- q. In der Fensterstube geb.
- r. In der Fensterstube geb.
- s. In der Fensterstube geb.
- t. In der Fensterstube geb.
- u. In der Fensterstube geb.
- v. In der Fensterstube geb.
- w. In der Fensterstube geb.
- x. In der Fensterstube geb.
- y. In der Fensterstube geb.
- z. In der Fensterstube geb.

III. FENÊTRES ANCIENNES

Avant de présenter les différentes variantes d'intervention pour assainir les fenêtres, il nous semble indispensable de proposer une analyse des fenêtres originales. Ceci afin de mettre en évidence leurs caractéristiques spécifiques ainsi que leur relation avec les autres parties de la construction.

Cette analyse est aussi l'occasion de redécouvrir l'ingéniosité des menuisiers de l'époque pour traiter de la problématique de la "fermeture" d'une ouverture vers l'extérieure. Pour pallier aux questions de condensation et de courants d'air froid descendants de la fenêtre à simple vitrage, ils ont élaboré, depuis le tournant du XIX^e siècle, plusieurs solutions qui permettent de dédoubler la couche de verre et ainsi augmenter l'isolation thermique du vitrage. Parmi ces *doubles fenêtres* nous pouvons citer le système *fenêtre simple et contre-fenêtre*, la *fenêtre à caisson*, la *fenêtre couplée* ou la *fenêtre à double vitrage*¹. Ces fenêtres ont principalement été utilisées dans les pièces à vivre c'est-à-dire les salons, les salles à manger ou les chambres. Les pièces secondaires telles que les cages d'escalier, les caves, les cuisines ou les salles de bain étaient équipées de *fenêtres simples*.

1. En Allemagne une fenêtre à double vitrage est apparue vers 1900 sous le nom *Panzerfenster*. Voir "Panzerfenster: Eine fast vergessene innovative Fensterkonstruktion" par Klos (2008).

2. Ce type d'assemblage par chevilles permet aujourd'hui, dans des cas de restauration de monuments, de démonter la fenêtre, réparer ou remplacer les parties défectueuses et de l'assembler à nouveau.

Malgré les spécificités des divers types de fenêtres anciennes présentées par la suite, nous leur reconnaissons beaucoup de points en commun, notamment au sujet de leur matérialité mais aussi sur la façon dont ils ont vieilli.

Matériaux

Jusqu'à la deuxième guerre mondiale, les matériaux utilisés pour les fenêtres des immeubles d'habitation étaient relativement restreints. Pour les menuiseries plusieurs essences de bois comme le sapin, l'épicéa ou le chêne étaient employées. L'assemblage du bois se faisant à l'aide de chevilles en bois². Les ferrures étaient constituées de pièces en fonte d'acier ou en laiton. Pour le vitrage on disposait de verre soufflé ou étiré de 1 à 2 mm d'épaisseur

Ausseres Fenster [Fenêtre extérieure d'une fenêtre à caisson] (Riewel, Schmidt, 1893: Bl. 26)

et de dimensions restreintes d'environ 50 x 60 cm. Le verre est posé à feuillure ouverte, c'est-à-dire qu'il est inséré dans la battue et tenu en place par des clous. Le mastic de vitrier, posé à l'extérieur sur le pourtour de la vitre et lissé en biseau assure l'étanchéité et empêche les vibrations du verre. Pour protéger le bois contre les intempéries, le sapin et l'épicéa était systématiquement peint avec une peinture couvrante. Parmi les fenêtres en chêne, on trouve des cadres peints mais aussi des exemples de cadres vernis, laissant apparaître la couleur et la texture du chêne.



Poignée d'une espagnolette en laiton.
Avenue d'Echallens 83, Lausanne

Pathologies

Les bâtiments, qui nous intéressent ici, sont aujourd'hui âgés de 80 à 150 ans. Ce parc immobilier a, de manière globale, très bien vieilli et on trouve fréquemment encore des fenêtres en bois de qui datent de la construction originelle et qui, malgré leur âge, sont dans un état convenable.

Concernant les fenêtres anciennes, ce sont surtout la fréquence d'entretien ainsi que l'exposition aux intempéries qui sont déterminantes pour leur état de conservation aujourd'hui. Dans le bassin lémanique par exemple, on peut observer que les fenêtres des façades sud et ouest sont généralement plus dégradées du fait que ces orientations sont davantage soumises au vent, à la pluie et au rayonnement solaire direct que les façades opposées. Dans la même logique on constate aussi un moindre taux d'altération sur des parties protégées par des éléments saillants tels que les avant-toits ou les balcons. La position des fenêtres, souvent en

retrait d'environ 10 à 20 cm par rapport au nu du mur protège aussi naturellement les parties supérieures des châssis.

Constructivement, la première barrière contre les actions climatiques est constituée par la couche de peinture ou de lasure appliquée sur le bois, le métal ou le mastic à vitre. Une fois le film protecteur disparu, les matériaux se trouvant en dessous se détériorent inévitablement à leur tour.

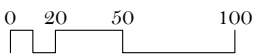
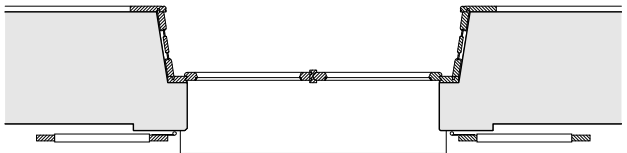
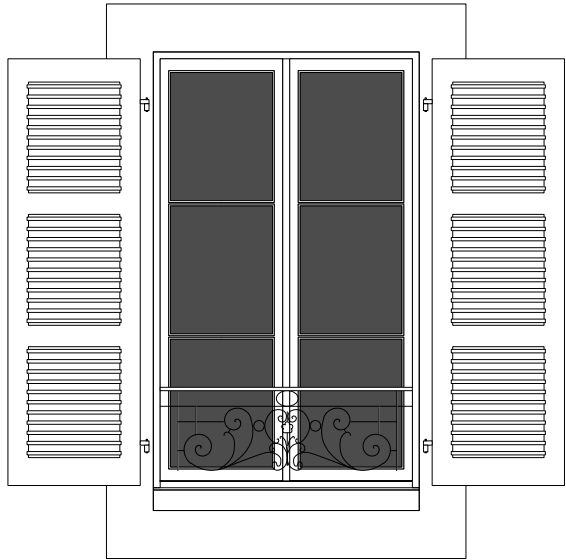
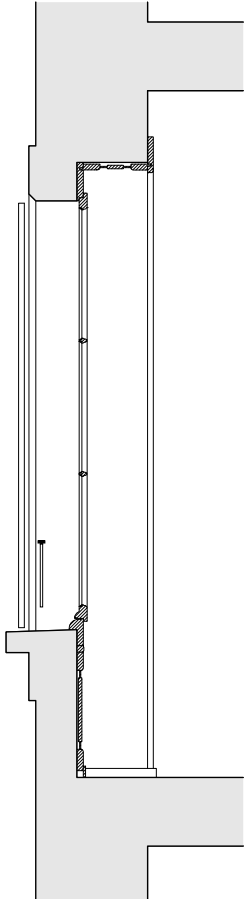
Les parties les plus atteintes de dégradations sont les renvois d'eau, les parties inférieures et latérales des cadres dormants et les mastiques à vitres horizontaux.

C'est entre autre l'état physique de ces éléments, et en premier lieu celui des parties en bois, qui va être déterminant, lors d'une évaluation concernant la faisabilité de l'assainissement de fenêtres existantes. Bien que ces éléments fortement dégradés puissent, en principe, être réparés ou remplacés, le coût de restauration devient malheureusement économiquement injustifiable compte tenu de l'importance patrimoniale moyenne des bâtiments traités dans cette étude.



Etat de la peinture après plusieurs années d'exposition aux intempéries sans entretien.
Avenue d'Echallens 83, Lausanne

III. FENÊTRES ANCIENNES



FENÊTRE SIMPLE

3. En Allemand *Einfachfenster*

La fenêtre est dite "simple"³ lorsqu'elle est composée d'un seul cadre fixe, le dormant. Ce type de fenêtre n'est pas seulement le plus répandu en Suisse mais il est aussi celui qui est le plus proche de l'archétype de la fenêtre. Au cours des siècles, il s'est développé et adapté en fonction des possibilités de fabrication du verre, de la menuiserie et des ferrures.

Les autres types de fenêtres présentés plus loin, tels que la *fenêtre à caisson*, la *fenêtre couplée* ou la fenêtre avec *contre-fenêtre* sont aussi tous des évolutions dans lesquelles deux fenêtres simples ont été combinées pour créer un élément plus performant. Néanmoins, dans tous ces cas, la fenêtre simple originelle est encore clairement reconnaissable.

Grâce au développement des vitrages isolants, la fenêtre simple continue aujourd'hui encore à évoluer et à s'adapter aux progrès techniques et aux nouvelles exigences en matière d'économie d'énergie, d'acoustique et de sécurité.

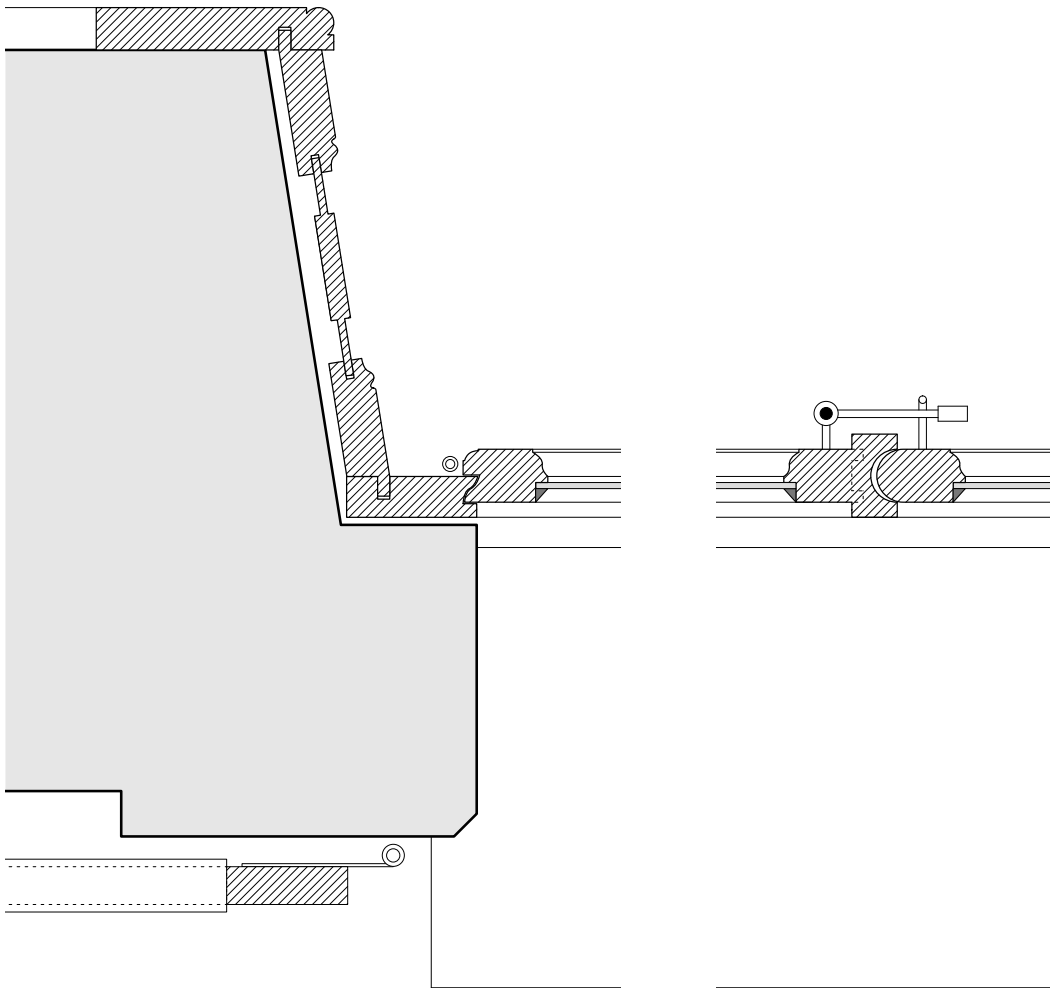
Dans ce chapitre sont présentées les fenêtres à simple vitrage couramment fabriquées au tournant du XX^e siècle. Les divers types de fenêtres actuelles seront décrits au chapitre V.

Construction

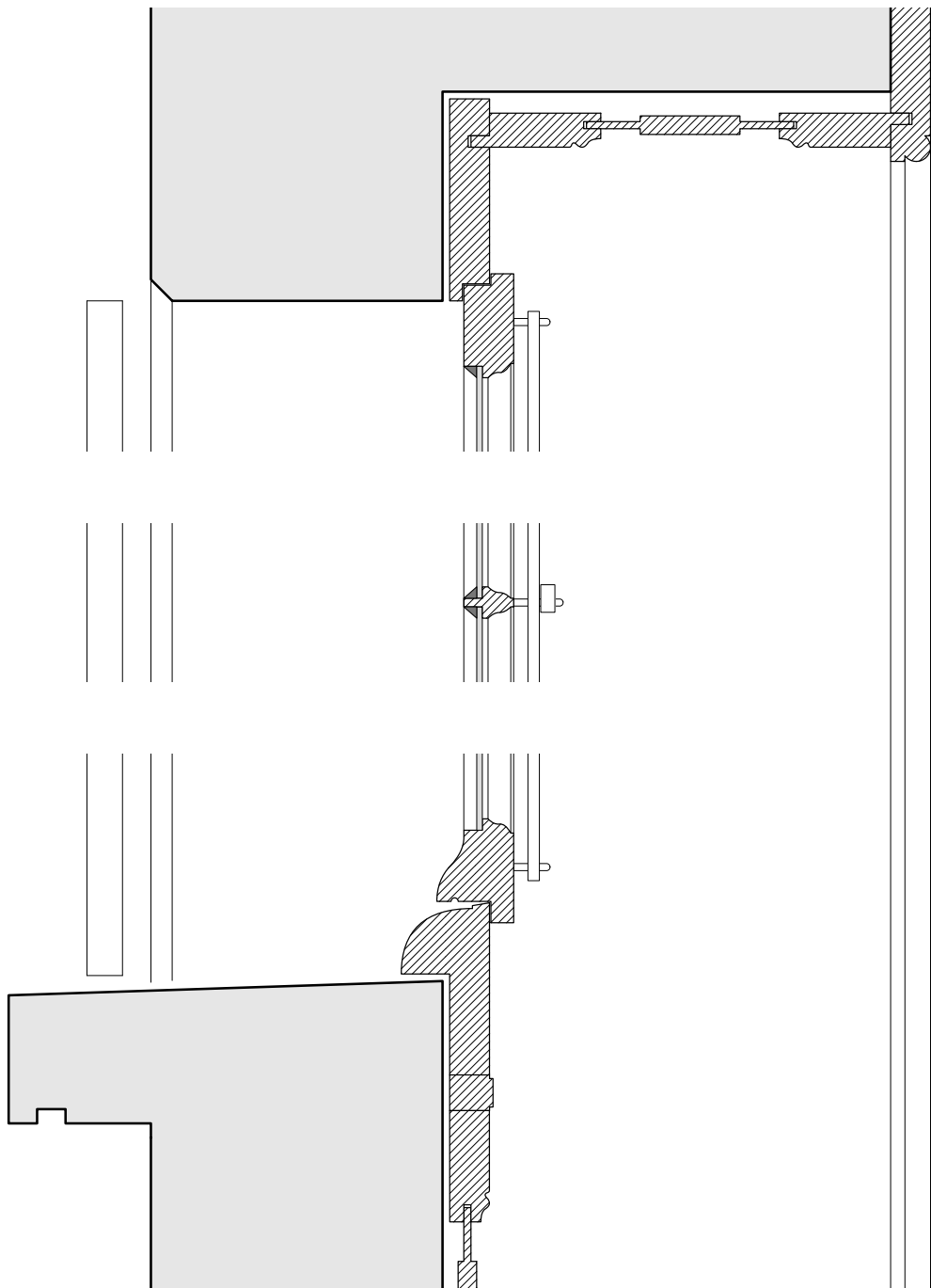
Les menuiseries des fenêtres simples des immeubles de logement de la période située entre 1850 et 1920 sont généralement constituées de cadres dormants d'une épaisseur de 35 à 45 mm et d'une largeur de 60 à 70 mm. Les cadres des vantaux ont des dimensions similaires. Le dormant est posé en applique contre la "face" intérieure de l'encadrement et ses dimensions intérieures sont légèrement inférieures au vide de maçonnerie. Ainsi le cadre dormant n'est que très peu visible depuis l'extérieur.

Sur les battants montants (ou cadres montants), l'étanchéité est souvent assurée par une *feuillure à pince*, c'est-à-dire une moulure,

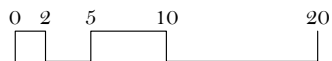
DÉTAIL
FENÊTRE SIMPLE



Coupe horizontale. Echelle 1:5



Coupe verticale. Echelle 1:5



appelée noix, qui s'insère dans une gorge du dormant. Les parties horizontales en haut et en bas sont munies de *feuillures droites*. Pour la fermeture entre les deux vantaux, les livres d'époque mentionnent plusieurs variantes: par exemple, à noix et gueule-de-loup, à doucines ou à chanfrein⁴. Dans les immeubles courants d'habitation observés en Suisse romande, c'est le système à gueule-de-loup qui est observé le plus fréquemment. Cette prédominance est expliquée par sa plus grande étanchéité à l'air: "il faut observer seulement qu'on préfère les ouvertures à gueule-de-loup pour les croisées ordinaires, attendu qu'elles tiennent les croisées plus closes [fermées]"⁵.

4. Par exemple, Rondelet, 1802-1817: 420; Barberot, [1895] 1912: 525; Cloquet, [1898] 1930: 303

5. Blondel, 1771-1777: 26

Les renvois d'eau en bois sur les traverses inférieures du cadre et sur les vantaux rejettent l'eau ruisselante vers l'extérieur. Toutefois, la *feuillure droite* du bas constitue l'une des faiblesses de cette construction car, par pluie battante, l'eau entrant dans les interstices n'est pas toujours conduite vers l'extérieur mais peut parfois s'infiltrer à l'intérieur. C'est pourquoi on trouve dans les manuels l'indication d'un percement dans la traverse inférieure du cadre qui a pour rôle d'évacuer ces infiltrations d'eau vers l'extérieur.

Le vitrage est constitué d'une couche de carreaux de verre étiré ou soufflé d'une épaisseur de 2 mm (dimension 50 x 100 cm) qui sont montés à feuillure ouverte (voir paragraphe *Matériaux*, page 30). Entre deux verres, des mini-traverses avec deux battues permettent le scellement du verre sur tout le pourtour, elles sont appelées petit-bois ou croisillons.

La menuiserie est complétée par des ferrures en acier. Le pivotement des vantaux est assuré par des paumelles et la fermeture par une crémone ou une espagnolette fixée sur le battant mouton. Pour éviter leur oxydation, les ferrures sont recouvertes d'une couche de peinture. Sur des fenêtres plus nobles la poignée est parfois aussi exécutée en laiton.

Malgré des ébrasements intérieurs d'environ 40 cm de profondeur l'utilisation de la fenêtre est aisée car l'accès est facilité par l'évidement du contrecœur. L'ouverture de la fenêtre se fait de manière symétrique et les vantaux ouverts ne dépassent la niche de la fenêtre que de très peu.

Expression architecturale

Le caractère principal des fenêtres anciennes est donné par la répartition du vitrage en plusieurs carreaux qui subdivisent la dimension de l'ouverture. On trouve des fenêtres s'ouvrant à la française sur toute la hauteur ou des fenêtres avec une répartition en T, c'est-à-dire une partie en imposte fixe. La division des ouvrants se fait généralement en trois parties égales dans la hauteur (rue du Midi 5, Lausanne). Sur des fenêtres plus luxueuses, les deux parties inférieures sont parfois aussi regroupées en un seul carreau (route de Berne 7, Lausanne) ce qui correspond à une répartition au rapport d'environ 1/2.

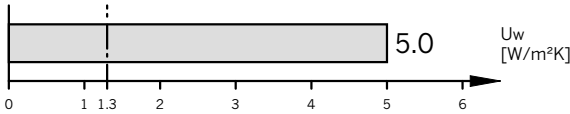


Détail de fenêtre simple.
C'est surtout le cadre des ouvrants
qui est perceptible de l'extérieur.
Avenue d'Echallens 83, Lausanne

En façade, l'expression du trou dans le mur est souligné par le fait que le plan de la fenêtre est en retrait d'environ 20 cm par rapport aux encadrements de maçonnerie. De la menuiserie, seul le renvoi d'eau ainsi que le bois des vantaux ou des traverses intermédiaires sont perceptibles tandis que le dormant est caché derrière l'encadrement. La peinture a presque toujours été refaite dans des coloris clairs ce qui correspond plus ou moins aux teintes originales. A l'époque, l'importance était mise sur l'harmonie entre la couleur de la fenêtre et celle des matériaux de l'encadrement telle que le jaune du calcaire du Jura, le gris vert de la molasse, le gris foncé du calcaire des Alpes, etc. C'est pourquoi on peut aussi rencontrer des exemples dont la couleur initiale était foncée.

A l'intérieur, le cadre dormant, les ouvrants et les ferrures sont bien présents. Ils définissent le caractère de la fenêtre et, intrinsèquement aussi, l'ambiance de la pièce. Ceci surtout

lorsqu'il s'agit de fenêtres en chêne dont la structure et les veines du bois ont été laissées apparentes. Sur des fenêtres de standing, le champ des menuiseries est muni de moulures décoratives qui affinent l'apparence intérieure tout en soulignant le rôle de la fenêtre comme cadre du paysage extérieur.

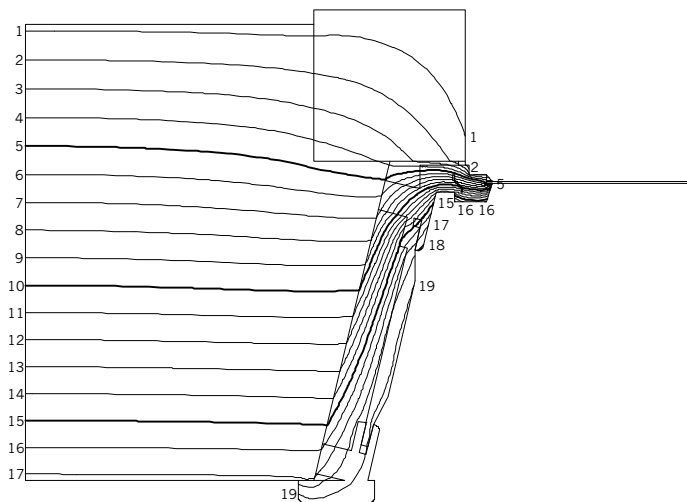


Valeur U_w

Energie

La valeur U_w théorique d'une fenêtre simple avec simple vitrage selon la norme 10077-1 est d'environ $5.0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Les calculs montrent que l'élément faible est clairement le verre simple avec une valeur U_g de $5.9 \text{ W/m}^2\text{K}$. Il est responsable de 90% des pertes thermiques, les 10% restantes passent par les parties en bois.

Les températures les plus froides sur la surface intérieure de la fenêtre apparaissent vers le raccord entre la menuiserie et le vitrage. S'il n'y a pas de radiateurs sous les fenêtres, il y a un risque de condensation à ces endroits à partir de températures extérieures inférieures à 8°C . Autant dire que dans cette configuration, la formation de condensation est inévitable.



Détail d'embrasure avec courbes isothermes.
Echelle 1:10

Perspectives

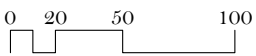
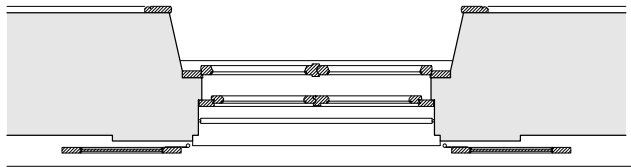
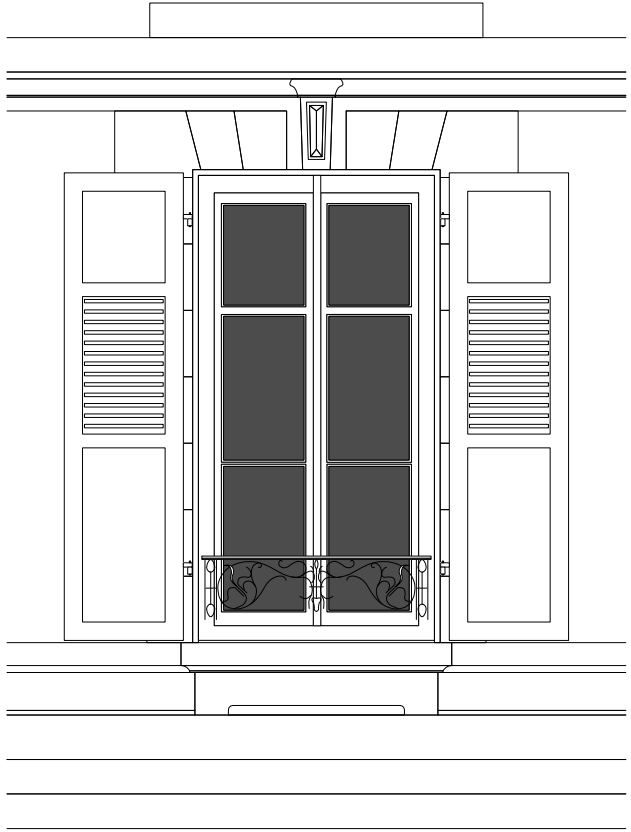
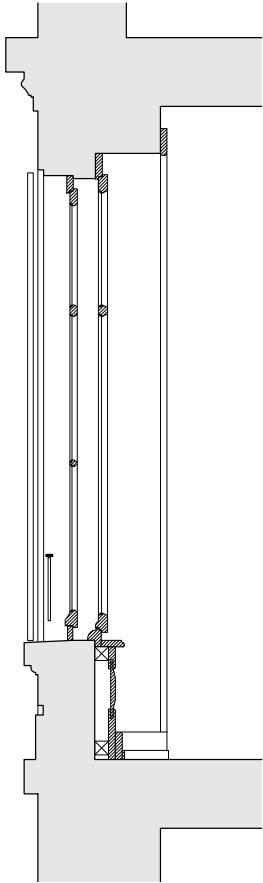
Le fait qu'une grande partie de ces fenêtres soit encore en place aujourd'hui dénote de leur qualité. Généralement, on les trouve dans des bâtiments construits pour une population aisée. Dans ce cas, les autres éléments de construction tels que la façade, les parquets, les moulures au plafond, etc. sont également de qualité et confèrent aux logements un certain raffinement qu'il serait judicieux de conserver.

Malheureusement, malgré leur bon état de conservation, ces fenêtres, telles qu'elles ont été construites à l'époque, deviennent aujourd'hui obsolètes du fait que les critères d'économie d'énergie deviennent de plus en plus prépondérants et dictent principalement les stratégies de remise en état des bâtiments. Alors que, dans la plupart des cas, pour atteindre les exigences énergétiques, les maîtres d'ouvrages et maîtres d'oeuvres optent pour le remplacement des fenêtres d'origine, il y a aussi d'autres exemples qui montrent que les fenêtres originelles peuvent être maintenues moyennant, soit une transformation de la fenêtre, soit la mise en place d'éléments complémentaires qui assurent l'isolation thermique. Dans le domaine des bâtiments protégés, diverses techniques sont utilisées pour améliorer le bilan énergétique des fenêtres tout en préservant la substance matérielle ainsi que les aspects expressifs et patrimoniaux⁶. Ces mesures permettent d'atteindre des valeurs U_w de 2.5 à 2 W/m²K ce qui semble être un compromis acceptable entre les objectifs d'économie d'énergie et de sauvegarde du patrimoine. Pour le parc de bâtiments d'habitations courants de 1850 à 1920, qui a certes des valeurs patrimoniales mais qui ne bénéficie souvent pas de protection du patrimoine, les exigences énergétiques sont plus sévères. Ceci nécessite des solutions différentes ayant souvent comme conséquence une perte de la matérialité et/ou de la qualité originelle.

Toutefois, pour les fenêtres qui possèdent, avant assainissement, une valeur U_w de 5.0 W/m²K, le potentiel d'amélioration du bilan énergétique et du confort intérieur est le plus important. Ceci rend malheureusement un assainissement inévitable.

6. Voir les recommandations de l'état de Vaud (SMHA, 1998) et de Genève (OPS, 2008)

III. FENÊTRES ANCIENNES



CONTRE-FENÊTRE

Pour doubler la fenêtre, une première solution facile à mettre en œuvre consiste à la compléter par une deuxième fenêtre, dite *contre-fenêtre*⁷, placée à l'extérieure, dans l'embrasure de l'encadrement. Le cadre de cette dernière est, la plupart du temps, amovible, ce qui offre la possibilité de démonter toute la fenêtre pendant les mois d'été. On parle alors aussi de *fenêtre d'hiver*⁸.

7. Allemand: *Vorfenster*

8. Allemand: *Wintervorfenster*

Construction

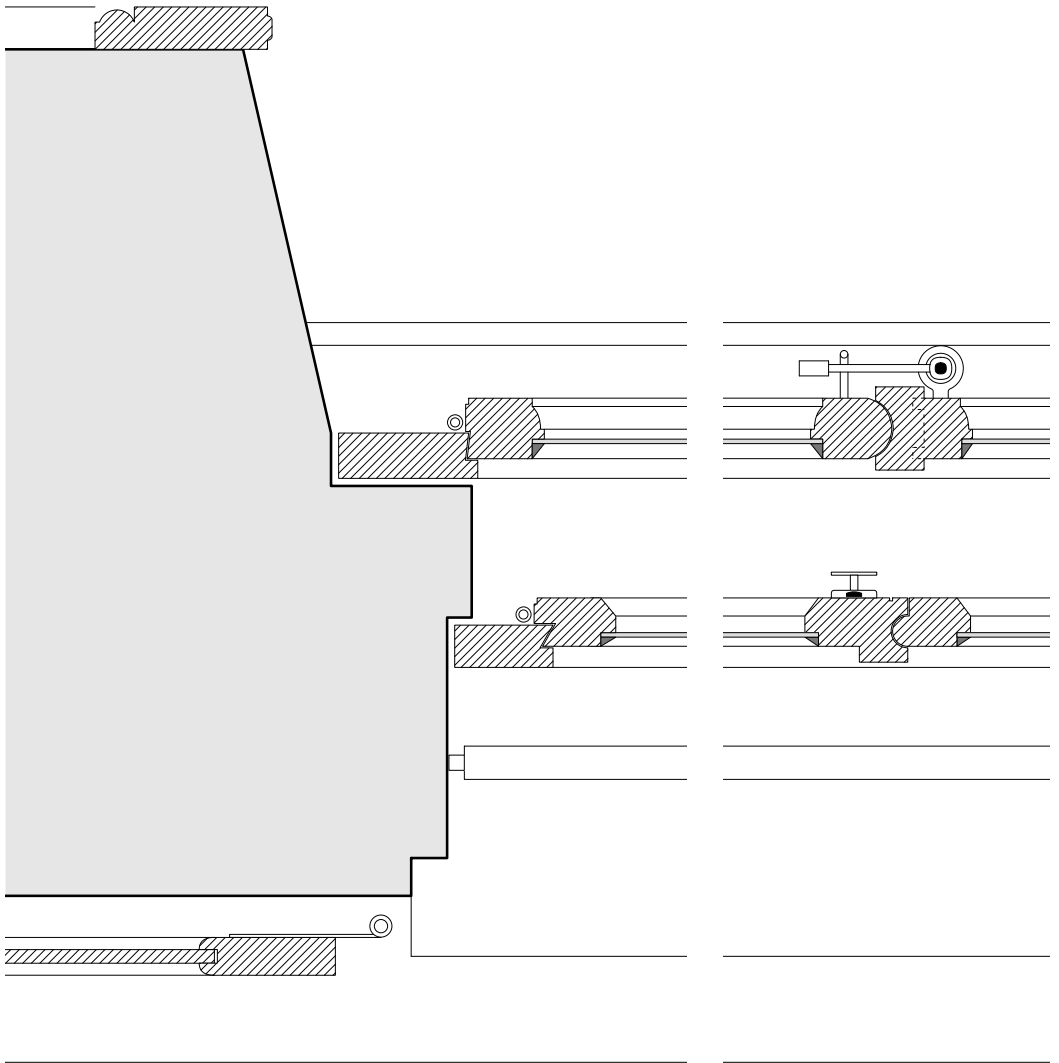
Dans sa conception, la contre-fenêtre est identique à la fenêtre simple décrite au chapitre précédent. On retrouve les mêmes profilés tels que la feuillure à pince et les meneaux à gueule de loup. Ceci permettait aux menuisiers d'employer les mêmes ferrures et les mêmes outils dans la fabrication comme, par exemple, les toupies utilisées pour usiner les divers profilés de bois. La seule différence se trouve dans la traverse inférieure du cadre dormant qui n'est pas équipée d'un renvoi d'eau dans le cas de la contre-fenêtre car la partie basse est posée sur la pièce d'appui de l'encadrement qui est elle-même étanche et possède une pente vers l'extérieur.

Etant considérée comme une fenêtre d'appoint, la contre-fenêtre est généralement moins "noble", c'est-à-dire qu'elle est souvent fabriquée en bois d'épicéa peint, sans moulures de cadre et équipée d'une crémone comme ferrure de fermeture.

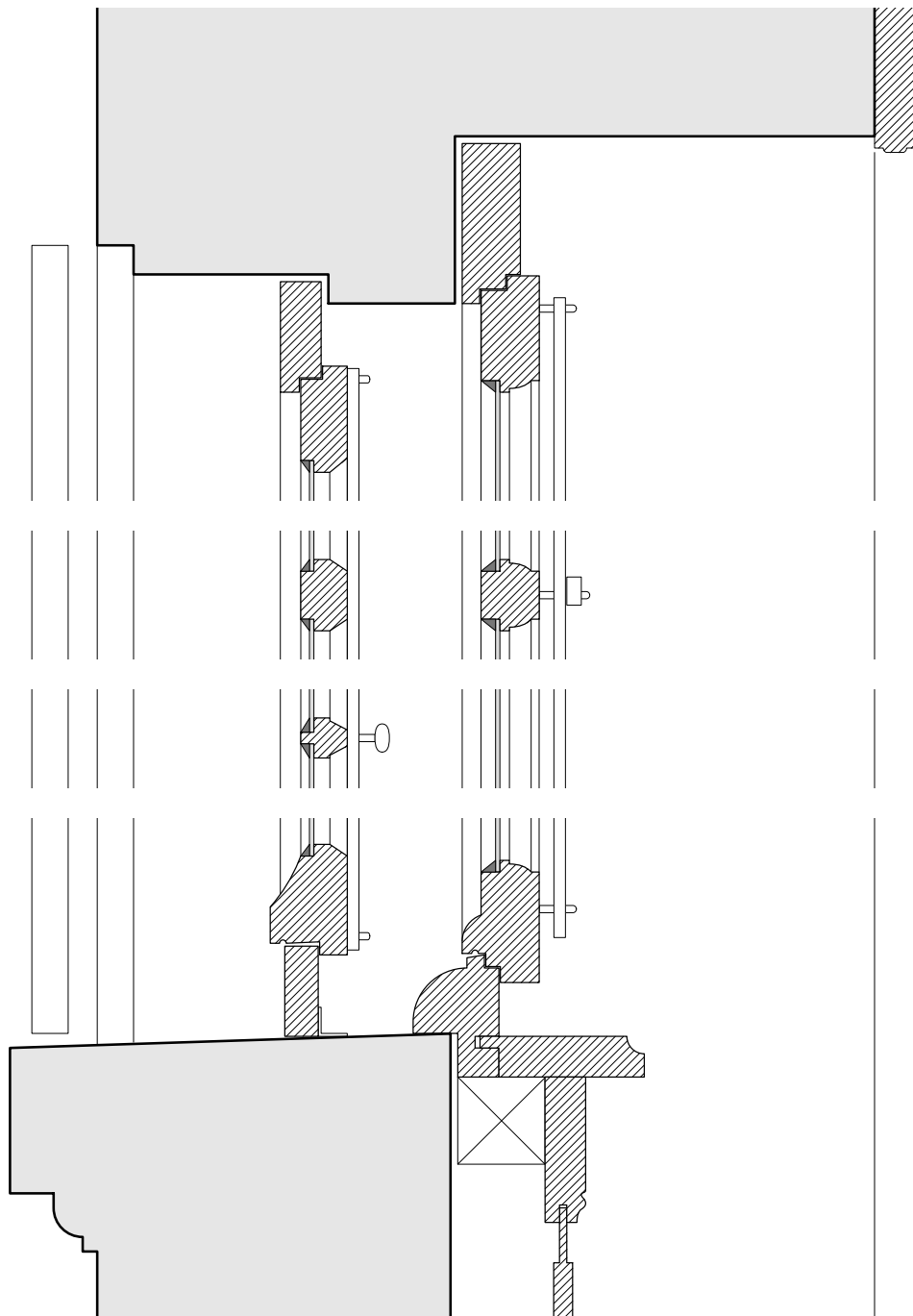
Une autre différence constructive par rapport à la fenêtre fixe est la façon dont elle est installée. Pour être amovible, sans gêner le bon fonctionnement des volets, elle est habituellement posée dans l'embrasure de l'ouverture. Si cette dernière est munie d'une petite battue, la pose du cadre se fait en applique contre cette dernière, sinon en tableau. La fixation se fait par crochets au cadre de la fenêtre fixe. Lorsque les fenêtres sont équipées de stores qui occupent l'épaisseur de l'embrasure, la contre-fenêtre trouve sa place au nu extérieur de la façade.

DÉTAIL

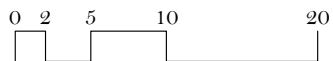
FENÊTRE AVEC CONTRE-FENÊTRE



Coupe horizontale. Echelle 1:5



Coupe verticale. Echelle 1:5



Utilisation

La *contre-fenêtre* installée à environ 5 à 15 cm devant la fenêtre fixe, s'ouvre aussi à la française. La manipulation des deux fenêtres se fait de manière indépendante. Pour une ouverture complète, il faut ouvrir la fenêtre fixe d'abord, la contre-fenêtre ensuite.

Afin de permettre le pivotement correct des vantaux de la contre-fenêtre, ces derniers doivent être moins hauts que le vide de cadre de la fenêtre fixe. Ceci est obtenu par un élargissement des traverses du cadre dormant.

Si la contre-fenêtre est démontable, elle présente en général des fentes entre le cadre de menuiserie et l'encadrement en maçonnerie avec pour conséquence une faible étanchéité à l'air et un espace entre les deux fenêtres passablement ventilé. D'un côté, ceci a l'avantage de minimiser les risques de condensation dans cet espace pendant la période froide, de l'autre côté, cela l'empêche de jouer le rôle d'un véritable espace tampon thermique car trop refroidi par l'air extérieur.



Fenêtres avec contre-fenêtre vue de l'intérieur.
La contre-fenêtre démontable, posée dans l'embrasure est fixée au cadre de la fenêtre permanente au moyen de crochets.
Avenue d'Echallens 83, Lausanne

Pathologies

La dénomination anglaise *storm window* pour la contre-fenêtre met en évidence son rôle de protection de la fenêtre intérieure contre les intempéries. Placée devant la fenêtre fixe, la contre-fenêtre était d'avantage exposée à la pluie, au vent et aux rayons solaires et protégeait de ce fait la fenêtre intérieure des contraintes du milieu extérieur.

On doit aussi constater qu'aujourd'hui, bien que démontable, les contre-fenêtres sont systématiquement laissées en place toute

l'année car un "déménagement de fenêtres" deux fois par année n'est de nos jours plus dans les habitudes des utilisateurs. D'autre part, la conservation de la couche extérieure en été permet aussi de mieux se protéger contre les courants d'air et le mauvais temps lorsque les fenêtres sont moins étanches.

C'est en partie pour cette raison que l'on peut constater que les contre-fenêtres sont souvent en mauvais état ou ne sont plus d'origine car elles ont déjà dû être changées. En contrepartie, leur fonction protectrice a en général permis de conserver les fenêtres fixes dans un bon état malgré un manque d'entretien.



Fenêtres avec et sans contre-fenêtre.
Chemin de Boston 5, Lausanne

Expression architecturale

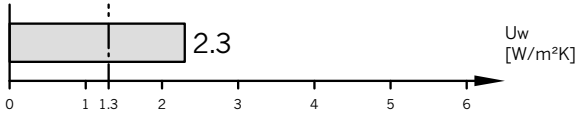
L'installation de la contre-fenêtre devant la fenêtre principale modifie plusieurs aspects d'expression de l'ouverture en façade. D'abord, on doit remarquer que la menuiserie est plus présente parce que le cadre dormant est entièrement visible par la pose en tableau ou en applique à l'extérieur. Ensuite, le plan de la fenêtre est beaucoup plus avancé ce qui réduit fortement le marquage de "trou" dans le mur. Lorsque la fenêtre est au nu de la façade ce dernier disparaît complètement. Comme mentionné plus haut, la contre-fenêtre est systématiquement peinte, ce qui crée parfois un contraste avec la fenêtre fixe en chêne naturel.

La hauteur des petits bois est normalement alignée aux petits bois de la fenêtre intérieure, mais on trouve aussi des cas où la contre-fenêtre est composée de 2 x 3 carreaux alors que la fenêtre principale en comporte seulement 2 x 2.

De l'extérieur comme de l'intérieur on perçoit les deux couches de fenêtres au premier et au deuxième plan.

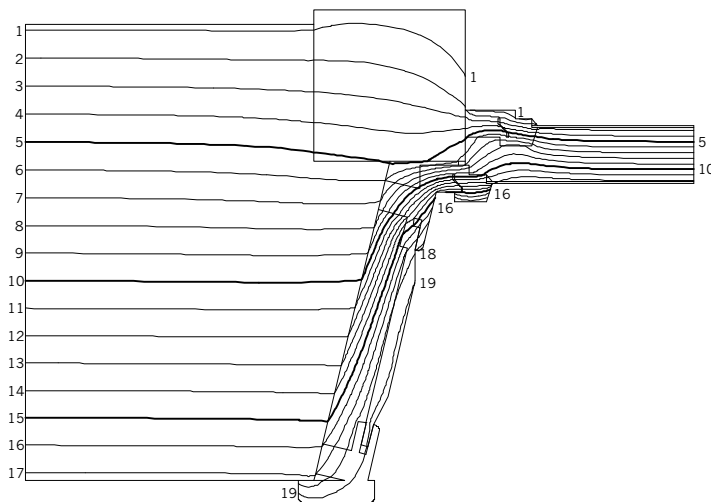
Energie

Du point de vue énergétique, l'installation d'une deuxième fenêtre permet de diminuer les pertes par conduction d'environ 40%, par rapport à la fenêtre simple, et d'atteindre une valeur U_w d'environ $2.3 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Valeur U_w

Toutefois, par calcul, il est difficile d'apprécier correctement l'influence de l'espace entre les deux vitres sur la thermique de la fenêtre car les échanges d'air entre les trois zones (intérieur, entre-vitre et extérieur) dépendent de divers facteurs, tels que le joint entre le cadre de la contre-fenêtre et la maçonnerie, l'exposition au vent ainsi que l'étanchéité à l'air des deux fenêtres. Dans tous les cas, un échange entre l'espace entre-fenêtre et l'extérieur, est nécessaire pour limiter le risque de condensation pendant la période hivernale.



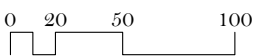
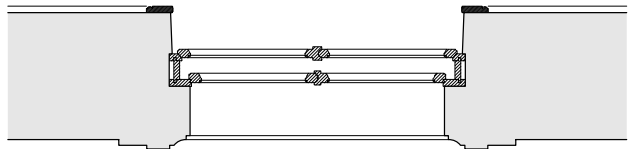
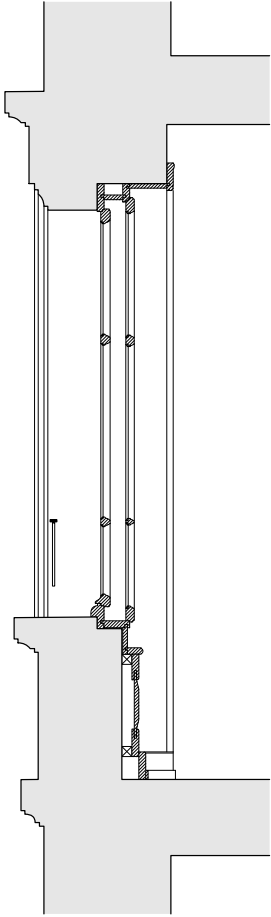
Détail d'embrasure avec courbes isothermes.
Echelle 1:10

Perspectives

La principale problématique de ce type de double fenêtre est la qualité et l'état de dégradation de la contre-fenêtre. Dans certains cas, elle est plus récente que la fenêtre fixe. Ceci parce qu'elle a été ajoutée ultérieurement ou parce que la fenêtre originale a été remplacée par une nouvelle. Comme mentionné plus haut, la fenêtre fixe a aussi été protégée par la contre-fenêtre et se trouve généralement dans un bon état. Dans tous les cas, la contre-fenêtre est moins noble. C'est pourquoi des solutions qui visent à la remplacer par une fenêtre "moderne" tout en conservant la fenêtre intérieure dans son intégralité semblent une bonne opportunité pour la sauvegarde de cette dernière.

Une autre approche possible consiste en un assainissement énergétique de la fenêtre fixe tout en maintenant la contre-fenêtre en place. Cette dernière aura alors le rôle d'améliorer le bilan énergétique par rapport à une solution sans contre-fenêtre. Malheureusement, on doit constater que ces types d'intervention sont assez rares car le plus souvent, les deux fenêtres sont démontées et remplacées par une fenêtre neuve standard posée en applique à la place de la fenêtre intérieure.

III. FENÊTRES ANCIENNES



FENÊTRE À CAISSON

9. Allemand: *Kastenfenster*

10. L'exemple présenté à été relevé dans l'immeuble de l'avenue Louis-Ruchonnet 5 à Lausanne

La *fenêtre à caisson*⁹ ou *fenêtre emboîtée* est un deuxième type de double fenêtre qui, par l'ajout d'une embrasure en bois sur la face intérieure de la fenêtre, permet d'installer une deuxième fenêtre, reliée de manière fixe avec la première, pour former un seul élément. Ce type de fenêtres a surtout été utilisé en Allemagne, en Autriche et en Suisse alémanique. En Suisse romande, les fenêtres à caisson sont moins répandues mais on trouve néanmoins encore quelques exemples originaux en bon état de conservation¹⁰.

Construction

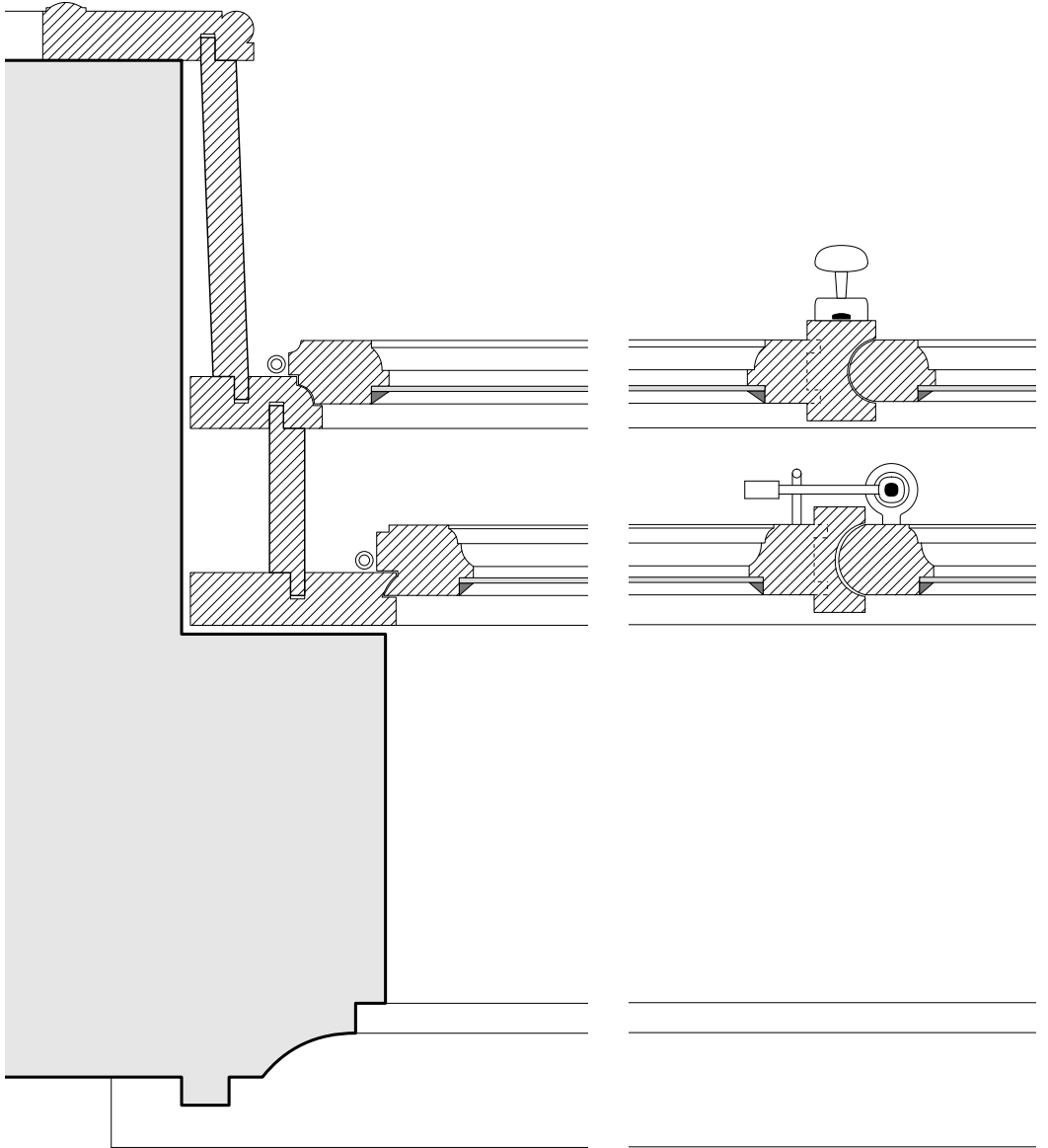
Du point de vue constructif, la fenêtre à caisson est composée de deux fenêtres simples reliées par un cadre faisant office d'embrasure. Ainsi, les deux châssis dormants et l'embrasure forment un caisson sur lequel sont crochés les battants qui s'ouvrent à la française dans les deux cas. La première fenêtre côté froid est, dans sa conception, identique aux fenêtres simples avec des battants à noix. Des renvois d'eau assurent l'étanchéité à l'air et à l'eau. Protégée des intempéries par la fenêtre extérieure, la fenêtre intérieure est plus simple. Elle n'est pas équipée de renvois d'eau et les feuillures latérales sont travaillées de manière différente. Ces dernières sont façonnées à l'image d'une moulure conventionnelle afin que le dormant de cette fenêtre présente un aspect "convenable", également lorsque les vantaux intérieurs sont démontés. On peut en déduire que la fenêtre intérieure est conçue pour fonctionner comme une fenêtre d'hiver c'est-à-dire de pouvoir être enlevée pendant la période estivale.

Afin de permettre l'ouverture complète de la fenêtre extérieure, le vide de cadre de la fenêtre intérieure est élargi en hauteur et en largeur pour laisser passer les vantaux extérieurs.

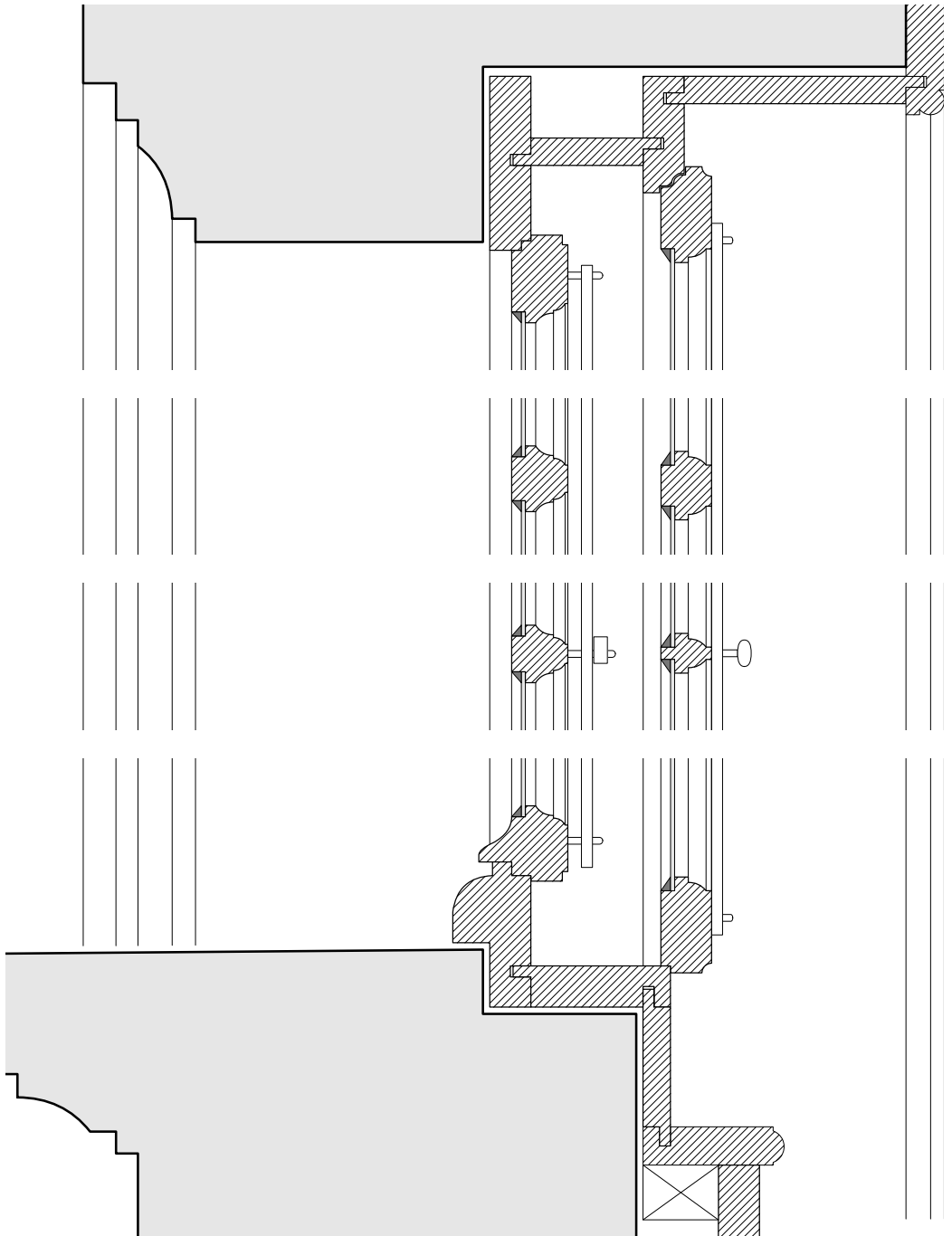
La manipulation de la fenêtre est similaire à celle des fenêtres avec contre-fenêtres et offre plusieurs modes d'ouvertures.

Fenêtre à caisson.
Avenue Louis-Ruchonnet 5,
Lausanne

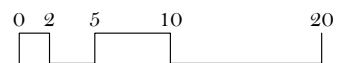
DÉTAIL
FENÊTRE À CAISSON



Coupe horizontale. Echelle 1:5



Coupe verticale. Echelle 1:5

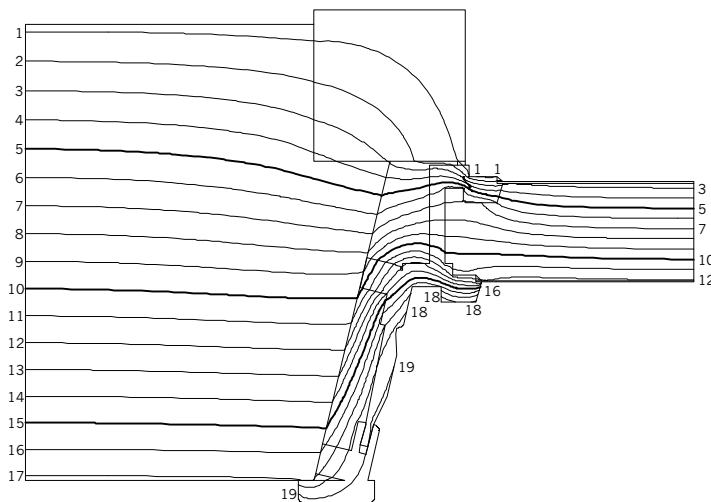




Détail de fenêtre à caisson ouverte.
Les dormants de la fenêtre intérieure sont façonnés de manière à être "présentables" lorsque les ouvrants sont décrochés en été.
Avenue Louis-Ruchonnet 5,
Lausanne

Expression architecturale

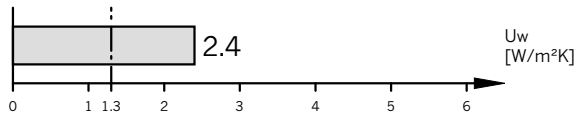
La fenêtre à caisson est, sur plusieurs points, similaire au système avec contre-fenêtre. Ainsi, les deux couches de vitrages caractérisent aussi son expression architecturale. De l'extérieur, les deux fenêtres sont bien visibles. De l'intérieur, l'espace entre les deux fenêtres est, de par sa nature et sa finition, à assimiler à un espace intérieur qui permet aussi d'entreposer des objets. En été, lorsque les vantaux de la fenêtre intérieure sont démontés, la niche de la fenêtre, entièrement revêtue de bois peint ou laissé naturel, est encore plus présente dans la pièce et forme un espace de transition entre le dedans et le dehors.



Détail d'embrasure avec courbes isothermes.
Echelle 1:10

Energie

Les analogies avec l'analyse précédente concernent aussi les déperditions thermiques ainsi que la problématique du risque de condensation. Ceci dit, pour la fenêtre à caisson la valeur U_w théorique est d'environ $2.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ et un échange d'air suffisant à travers la fenêtre extérieure est indispensable pour éviter des moisissures.



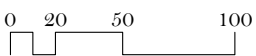
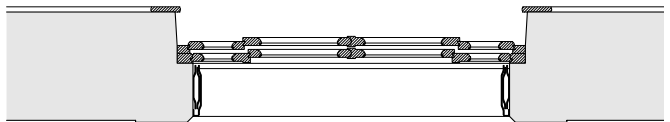
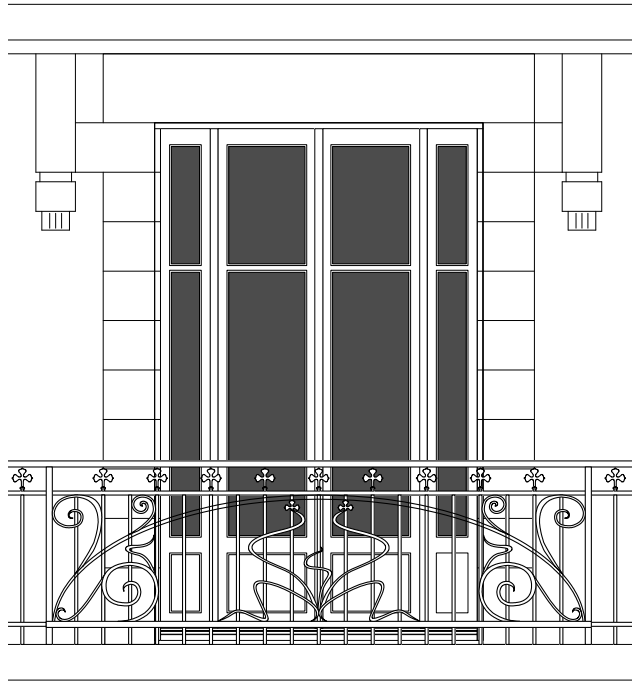
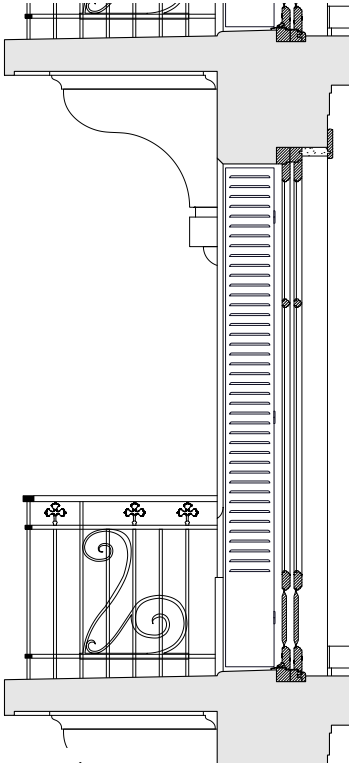
Valeur U_w

Perspectives

Aujourd'hui, la principale problématique de ce type de fenêtres vient du fait que la fenêtre permanente extérieure est soumise aux contraintes des conditions extérieures. Ainsi les parties les plus abîmées se situent généralement sur le dormant et les vantaux extérieurs. Une réfection de ces parties est en principe possible mais nécessite un travail artisanal conséquent¹¹.

11. L'étude VFF Leitfaden HO.09 (2003), *Runderneuerung von Kastenfenstern aus Holz* présente les différents aspects à considérer lors d'une rénovation de fenêtres à caissons.

III. FENÊTRES ANCIENNES



4. FENÊTRE COUPLÉE

Le dernier type de fenêtre ancienne analysé dans le cadre de cette étude, est une variante de *double fenêtre* dans laquelle les vantaux des deux fenêtres sont liés par un système de crochet afin que leur ouverture se fasse simultanément, c'est pourquoi nous l'avons appelé *fenêtre couplée*. Bien qu'utilisée de manière marginale, on trouve quelques bâtiments à Lausanne qui sont encore équipés de cette fenêtre.



Détail de fenêtre couplée. Les deux fenêtres sont très proches et équipées de battants à gueule de loup.

Route de Berne 7, Lausanne

Construction

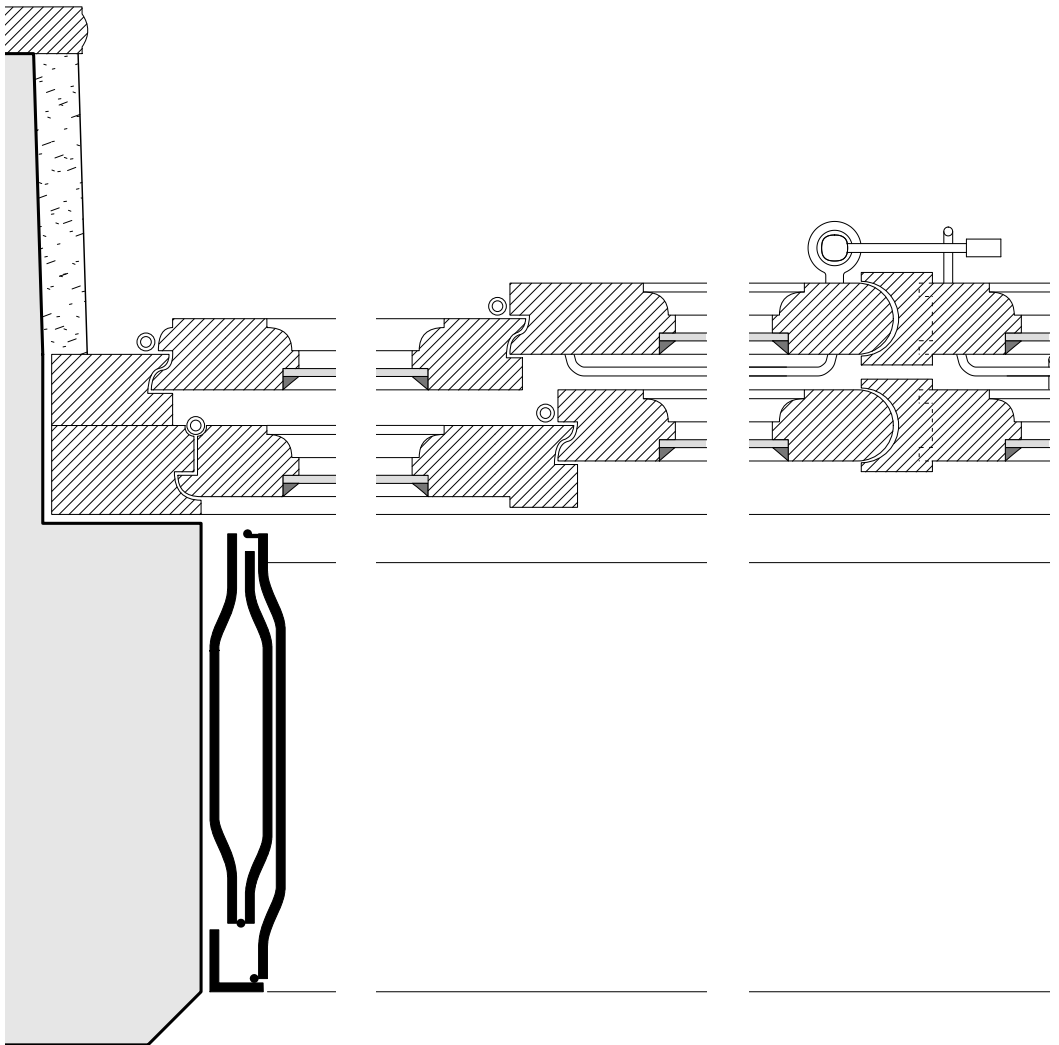
Du point de vue constructif, on peut considérer la *fenêtre couplée* comme une évolution de la *fenêtre à caisson* mais aussi comme le précurseur de la *fenêtre à double vitrage* apparue vers 1930.

Cette construction amène plusieurs éléments nouveaux qui sont nécessaires pour faire pivoter les vantaux des deux fenêtres ensemble. D'abord, les deux fenêtres sont rapprochées au maximum c'est-à-dire que la deuxième fenêtre est appliquée à l'intérieur, directement sur le cadre de la première fenêtre. Ensuite, pour limiter l'emprise latérale des vantaux lorsque ces derniers sont ouverts, la fenêtre extérieure est d'une nouvelle

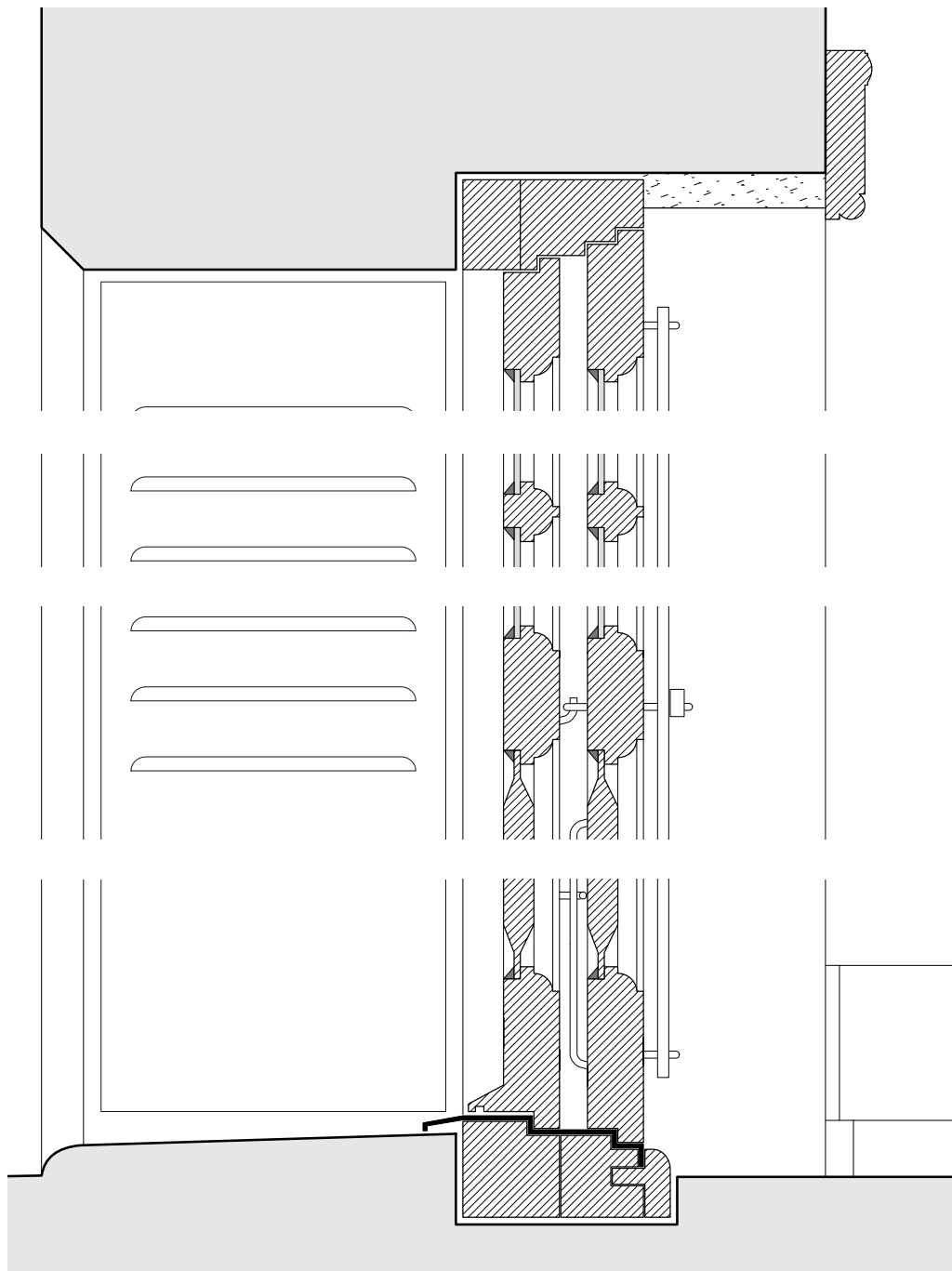
Fenêtre couplée.

Route de Berne 7, Lausanne

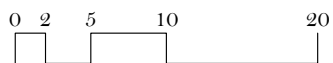
DÉTAIL
FENÊTRE COUPLÉE



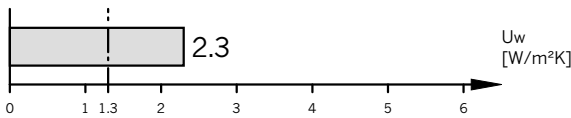
Coupe horizontale. Echelle 1:5



Coupe verticale. Echelle 1:5



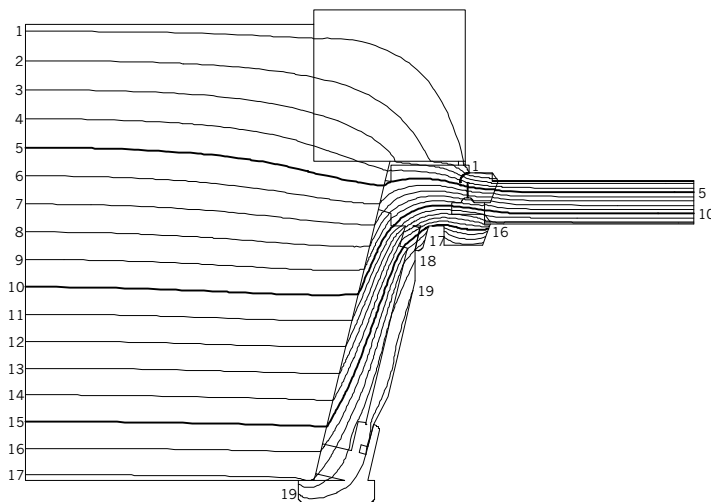
conception, c'est-à-dire que les bords intérieurs du dormant et des vantaux sont alignés sur l'axe de la paumelle. Ceci a aussi nécessité d'opter pour un autre type de feuillure à pince. Tout cela permet un décalage minimal entre les deux cadres dormants, en l'occurrence 2 cm. L'ouverture simultanée est assurée par un crochet, placé sur les champs inférieurs des vantaux et reliant les deux fenêtres. Ainsi, seule la fenêtre intérieure est munie d'une espagnolette pour actionner et verrouiller la fenêtre. De par sa conception complexe et son utilisation facile, cette fenêtre composite est prévue pour convenir à un usage en été comme en hiver et ne nécessite plus de montage-démontage annuel.



Valeur U_w

Expression architecturale

L'expression architecturale de la fenêtre couplée est proche de celle de la fenêtre simple. Du fait que la distance entre les deux fenêtres est réduite à 1 ou 2 cm elle ne peut plus être considérée comme un espace à proprement parlé. Toutefois, en vue oblique, l'épaisseur de la fenêtre devient perceptible sans pour autant être prédominante.



Détail d'embrasure avec courbes isothermes.
Echelle 1:10

Energie

Le comportement thermique et physique de la fenêtre couplée est aussi similaire aux deux analyses précédentes. Ainsi, les calculs selon la norme ISO 10077-1 donnent un coefficient U_w de $2.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ et les considérations concernant les risques de condensation s'appliquent par analogie.



Détail de fenêtre couplée.
L'espace entre les deux fenêtres
est réduit au minimum.
Route de Berne 7, Lausanne

Perspectives

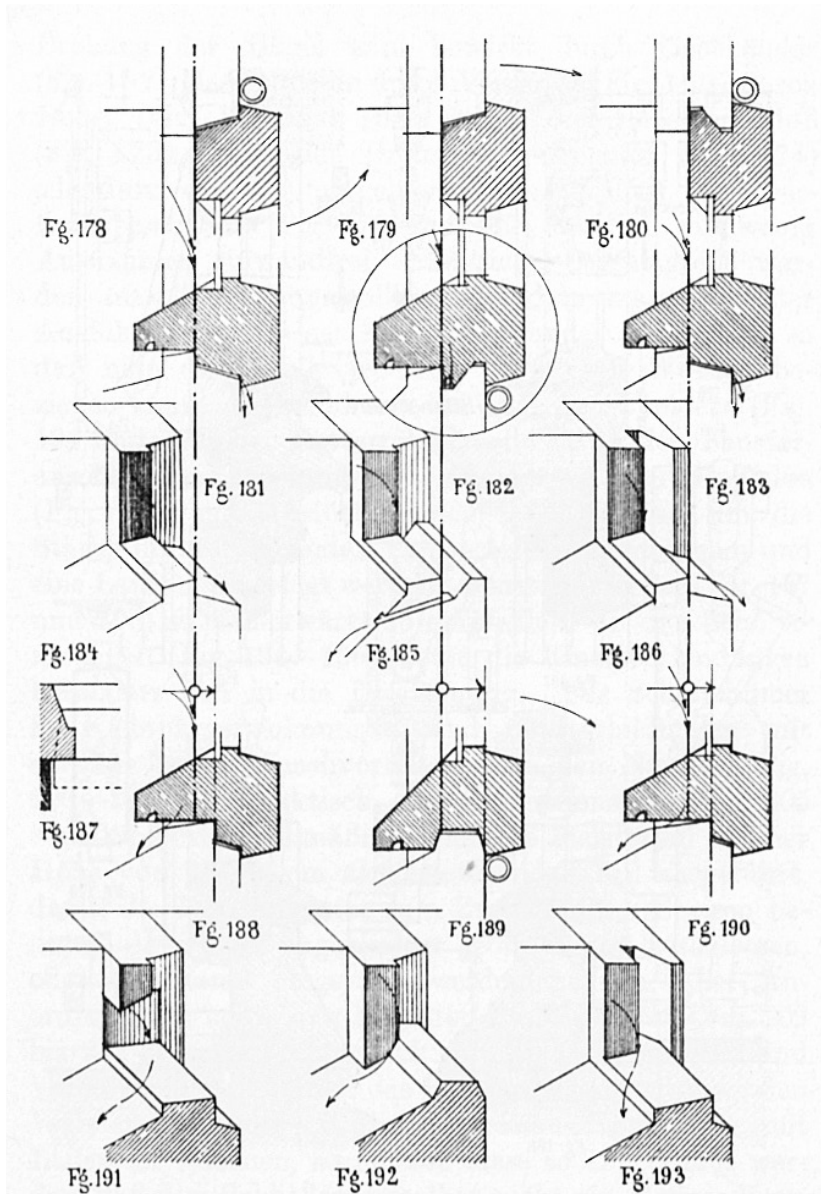
Mis à l'épreuve du temps, l'état des menuiseries est aujourd'hui très variable. Des dégradations se font aussi ressentir sous forme d'une mauvaise étanchéité à l'air et à l'eau, ceci car la fenêtre extérieure n'a pas son propre système de fermeture.

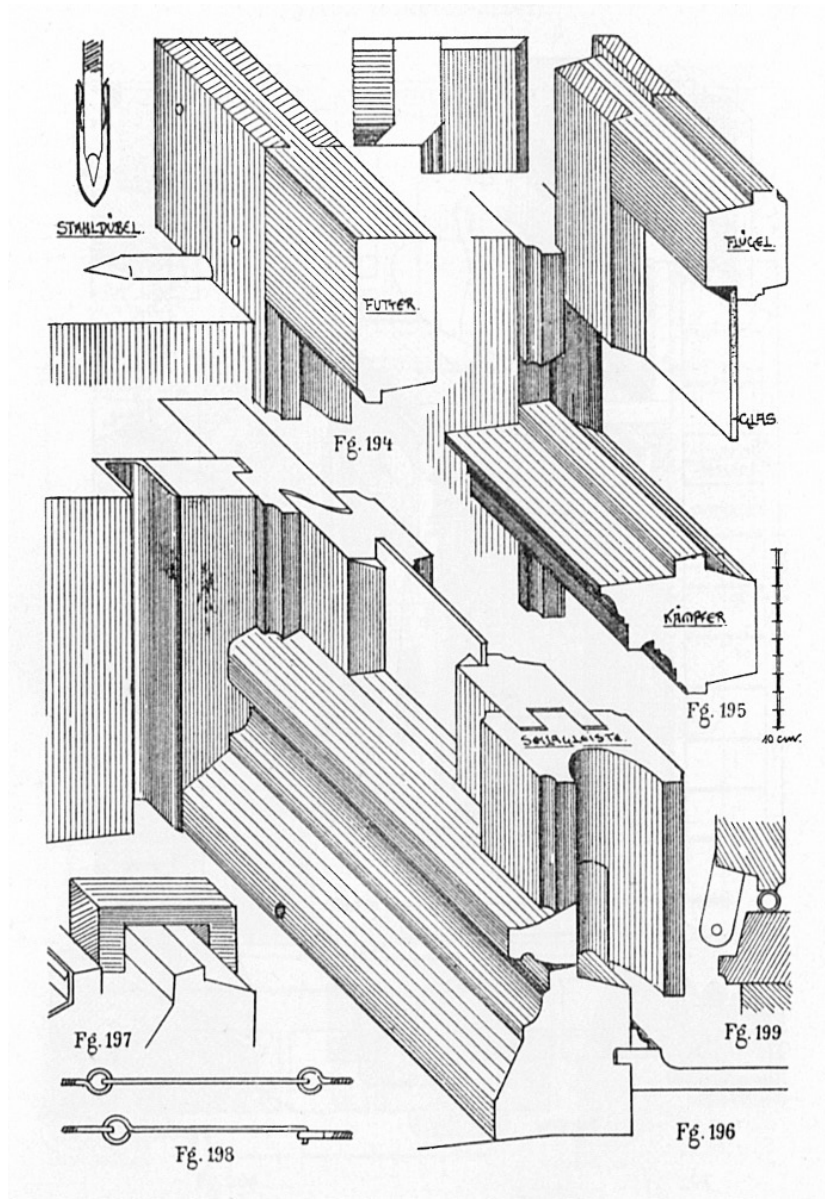
Malgré la complexité de leur construction, on peut imaginer de transformer des fenêtres encore en bon état selon la méthode décrite au chapitre IV. Dans ce cas, on équipera la fenêtre extérieure d'un vitrage isolant et la fenêtre intérieure de joints d'étanchéité. Appliquer une telle solution pour sauvegarder les fenêtres couplées permettrait de conserver un élément constructif, certes peu répandu, mais néanmoins un témoin de l'ingéniosité et l'inventivité des menuisiers de l'époque.

STRATÉGIES D'ASSAINISSEMENT

Dans ce chapitre, il a été mis en évidence que l'état de conservation des fenêtres anciennes à simple vitrage est dans bien des cas assez bon. Malgré cela, elles sont aujourd'hui obsolètes du fait que leur performance ne répond plus aux exigences en matière d'économie d'énergie. Avant de décider le remplacement pur et simple par des nouvelles fenêtres, il semble utile de mener une réflexion quant à leur valeur patrimoniale et à la possibilité de les transformer afin qu'elles puissent remplir les attentes actuelles. On peut classer les différentes possibilités d'assainissement énergétique des fenêtres en trois catégories. Dans une démarche de *rénovation de fenêtres*, la substance de la fenêtre ancienne est conservée, du moins partiellement. Dans une stratégie de *remplacement*, la fenêtre existante est démontée et une nouvelle fenêtre est posée en lieu et place. La troisième alternative consiste à conserver l'ancienne fenêtre et de la *doubler* d'une fenêtre neuve.

Dans les trois chapitres suivants, sont présentées les analyses menées sur les diverses méthodes d'assainissement.





IV. RÉNOVATION DE FENÊTRES

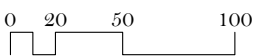
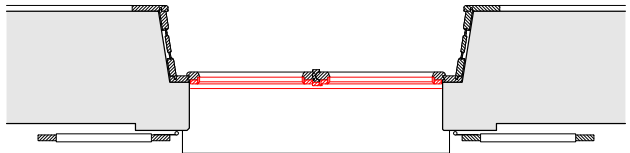
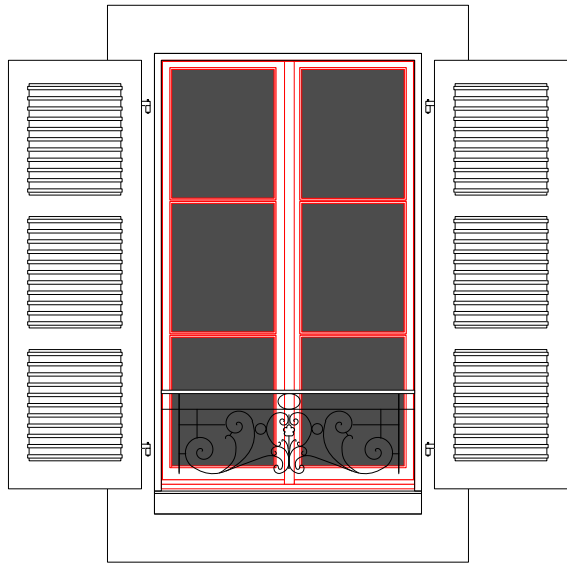
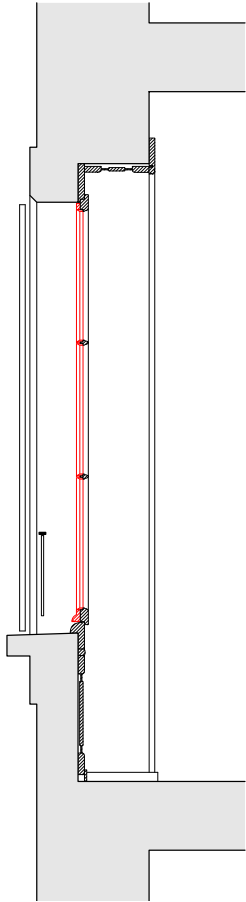
Une condition impérative pour envisager une *rénovation* de la fenêtre existante concerne le bon état matériel de la menuiserie et des ferrures. Ceci, car dans le cas de bâtiments qui ne sont pas sous protection patrimoniale, une restauration de la menuiserie des fenêtres est difficilement justifiable économiquement.

On peut toutefois observer sur une partie des bâtiments du parc immobilier construit entre 1850 et 1920 que les fenêtres sont souvent dans un état qui permet d'opter pour une réutilisation et une transformation de la fenêtre d'origine.

Du point de vue patrimonial, ces solutions sont à préférer aux stratégies de remplacement car elles sont, d'une part, plus proches de l'expression et de la matérialité d'origine et, d'autre part, elles assurent la conservation d'une partie de la substance matérielle de la fenêtre. Ce deuxième aspect permet d'imaginer une future rénovation d'ici 20 à 50 ans en ayant recours à des solutions qui seraient plus proches de la fenêtre d'origine grâce à des technologies de verre avancées ou dans un contexte énergétique différent.

Pour améliorer les performances énergétiques, la rénovation des anciennes fenêtres comprend généralement deux mesures, le remplacement des verres simples par des verres isolants modernes ainsi que la mise en place de joints d'étanchéité. Des solutions qui proposent uniquement l'ajout d'un deuxième verre sur le même cadre ne sont, dans la politique énergétique actuelle, plus envisageables, car l'amélioration thermique ainsi obtenue n'est de loin pas suffisante au vue des exigences d'aujourd'hui.

IV. RÉNOVATION DE FENÊTRES



REPLACEMENT DU VITRAGE

L'assainissement énergétique de fenêtres consistant en un remplacement du verre simple par un double vitrage isolant est un procédé qui a été mis au point pour la rénovation de bâtiments patrimoniaux. En Suisse romande et particulièrement dans la région genevoise, il est aujourd'hui proposé par plusieurs entreprises qui ont acquis des expériences au fil des années et qui ont affiné leur technique de rénovation.

Il s'agit essentiellement de remplacer les vitrages simples par des doubles vitrages isolants. Dans le cadre d'un assainissement complet de la fenêtre, l'étanchéité à l'air est également améliorée par l'ajout de joints creux en silicone sur le pourtour des parties ouvrantes.



Partie basse de la fenêtre rénovée.
Avant l'application de la lasure,
les parties en bois ajoutées sont
clairement visibles.
Rue de la Gabelle 20, Genève

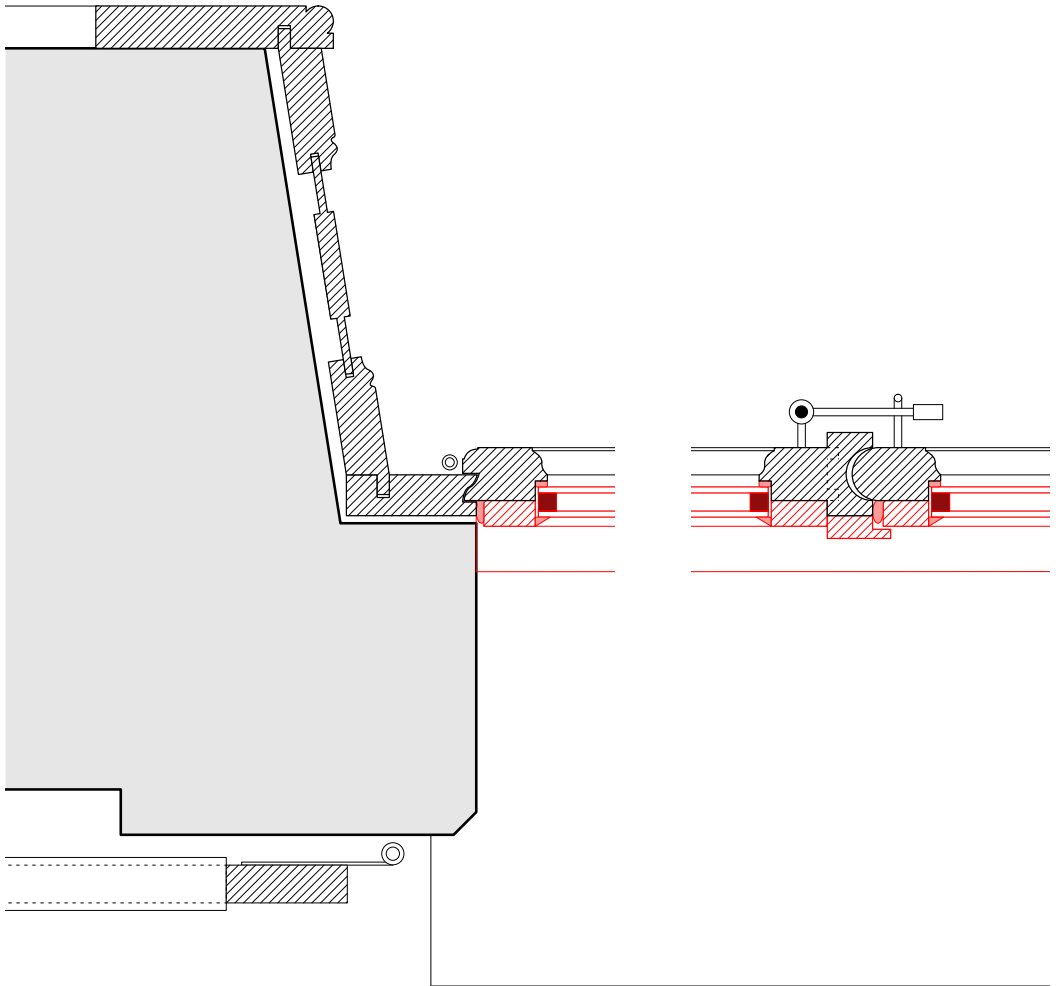
Détail inspiré de la solution
appliquée à la rénovation de
ce bâtiment par l'entreprise
Fracheboud et développée
initialement par l'entreprise
Léman Rénovation sur la base
d'une étude diagnostique de
l'entreprise ESTIA SA. Projet de
rénovation du bureau d'architectes
Lopes & Perinet-Marquet.
Rue de la Gabelle 20, Genève.
Echelle 1:33

Construction

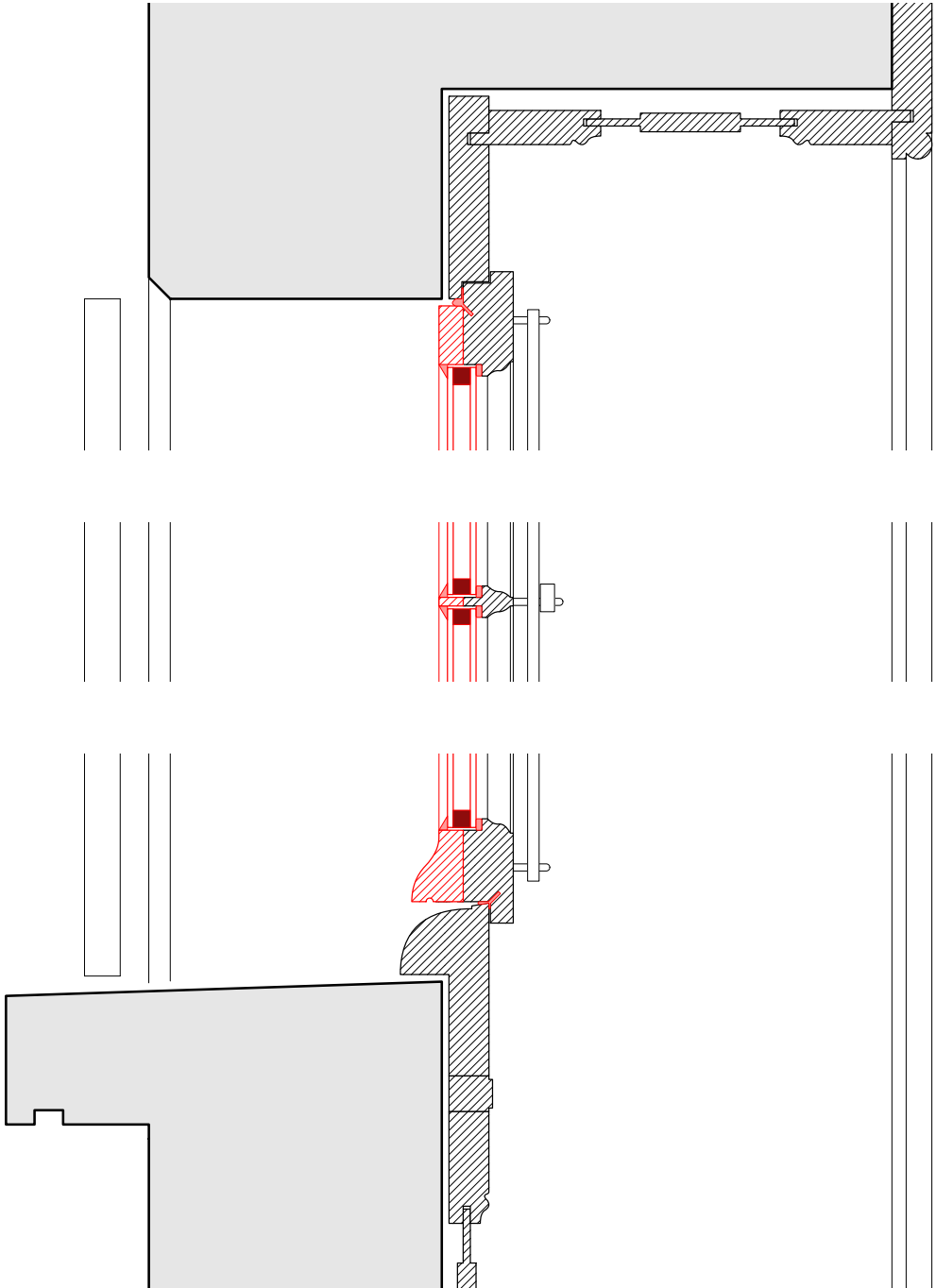
Avant d'envisager d'assainir une ancienne fenêtre, il est indispensable de s'assurer du bon état de conservation et de fonctionnement des parties à maintenir c'est-à-dire la menuiserie en bois et les ferrures. Les gonds doivent aussi être suffisamment résistants pour pouvoir supporter le poids supplémentaire induit

DÉTAIL

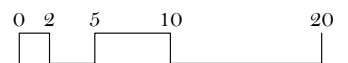
REMPACEMENT DU VITRAGE D'UNE FENÊTRE ANCIENNE



Type: Entreprises Fracheboud, Léman Rénovation et ESTIA SA; bureau d'architectes Lopes & Perinet-Marquet
Coupe horizontale. Echelle 1:5



Coupe verticale. Echelle 1:5





Rénovation d'une ancienne
fenêtre: le double vitrage isolant
est scellé avec du mastic à vitrier.
Rue de la Gabelle 20, Genève

par le changement du verre soit, environ 25 kg par ouvrant à la place d'environ 8 kg.

Les différentes opérations d'assainissement s'effectuent principalement sur les ouvrants car ces derniers peuvent être décrochés et ainsi aisément manipulés. Selon les conditions du chantier et les habitudes des entreprises, ces travaux se font soit à l'atelier soit directement sur le chantier, à l'horizontale sur une table ou des chevalets. La première phase consiste à démonter l'ancien verre simple et nettoyer la feuillure à verre. Ensuite la feuillure doit être retravaillée pour pouvoir recevoir le nouveau verre isolant d'une épaisseur d'environ 20 mm. Si la géométrie du cadre en bois le permet, la feuillure existante est approfondie de 2 à 5 mm. Ensuite, la surface extérieure du bois est nettoyée et des profilés en bois de chêne sont encollés pour épaissir les cadres et ainsi créer une profondeur de feuillure suffisante. Selon la méthode, la feuillure des petits bois est complètement rabotée pour permettre la pose d'un seul verre sur tout l'ouvrant. Pour la pose des joints d'étanchéité les travaux préparatoires comprennent aussi la façon de rainures sur le pourtour des ouvrants.

Idéalement, l'application du film de protection (peinture, lasure ou vernis) se fait avant la pose du vitrage et des profilés d'étanchéité. Ceci pour assurer une protection de toutes les parties de bois, même celles qui sont par la suite recouvertes de mastic. Cette opération nécessite un travail main dans la main entre le menuisier et le peintre. Si cela n'est pas possible, on peut aussi envisager que le menuisier exécute lui-même les travaux

de peinture. Pour respecter le temps de séchage de la peinture, il est nécessaire d'organiser les travaux en cascade et d'avoir plusieurs fenêtres "en travaux" en même temps et à des stades de rénovation différents.

Concernant la pose du verre on trouve deux techniques. La première reprend la pose traditionnelle à *feuillure ouverte*. La fixation du verre se fait à l'aide de pointes ou de losanges métalliques et l'étanchéité est assurée par un mastic de vitrier ou un mastic au silicone. La deuxième technique consiste à "pincer" le verre entre le cadre et le bois encollé à l'extérieur. L'application d'une dernière couche de peinture ou de vernis, généralement sur les ouvrants reposés, termine les opérations d'assainissement.



Détail de la partie inférieure d'un ouvrant: le renvoi d'eau à été changé et un joint creux en silicone ajouté.
Rue de la Gabelle 20, Genève

Expression architecturale

Dans cette méthode d'assainissement, une grande partie de la substance matérielle de la fenêtre est conservée et, par conséquent, aussi les principales caractéristiques de son aspect. Toutefois, la modification induite par l'installation d'un vitrage isolant, forcément différent du verre simple original, opère un changement. Cet épaissement, qui rend la fenêtre transformée plus "lourde", n'est pas seulement ressenti physiquement lors de la manipulation des ouvrants mais aussi visuellement, car il donne un aspect plus massif qu'auparavant. Dans certaines conditions, le changement de verre produit également une modification importante de la perception extérieure que l'on a des fenêtres. Comme les verres *float* modernes sont parfaitement plats et n'ont plus les mêmes irrégularités que les anciens verres

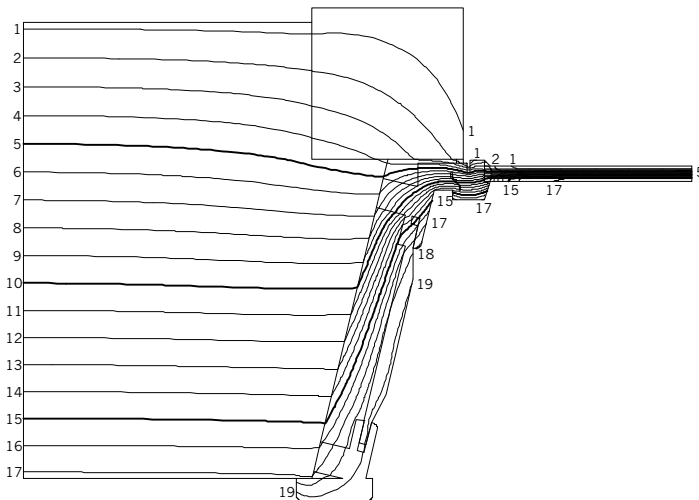
soufflés, la façade rénouvée reflète son environnement presque trop parfaitement sans ces vibrations qui donnaient avant un certain "charme" à l'ensemble.



Fenêtre ancienne rénouvée vue de l'extérieur.
Rue de la Gabelle 20, Genève

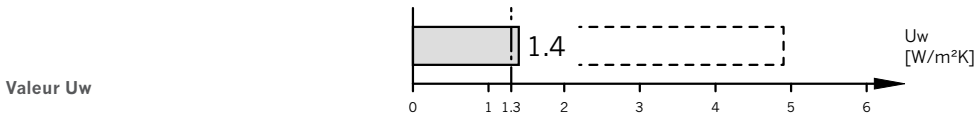
Energie

La valeur U_f du cadre modifié est légèrement inférieure que celle du cadre original du fait que les ouvrants ont été épaissis. Les vitrages utilisés dans ces opérations sont des doubles verres isolants avec des intercalaires de 12 mm et deux verres de



Détail d'embrasure avec courbes isothermes.
Echelle 1:10

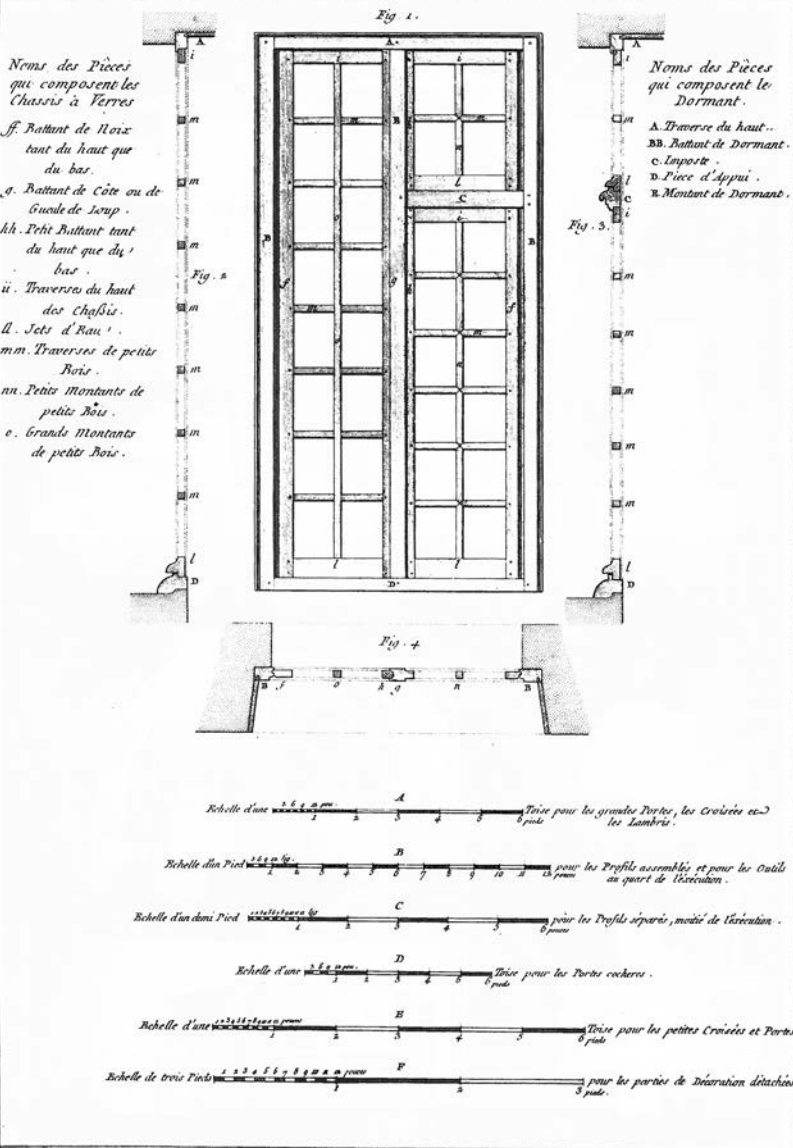
4 mm. Aujourd'hui on peut trouver ce type de verres avec des valeurs U_g de $1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$ ce qui permet d'obtenir une valeur U_w moyenne pour la fenêtre assainie de $1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$. Le maintien de la séparation physique des verres par des petits bois ajoute environ $0.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ par traverse à la valeur U_w .



Problématique / perspectives

Ce type d'intervention, qui est surtout utilisé dans le cadre d'assainissement énergétique de bâtiments protégés, mais qui commence de plus en plus à être utilisé pour des bâtiments courants notamment à Genève, permet de garder la substance de la menuiserie et, dans une grande mesure, l'aspect de la fenêtre. Toutefois les travaux de modification ne peuvent être automatisés et doivent être effectués à la main, ce qui se traduit par un prix équivalent ou supérieur à celui d'un remplacement par une fenêtre standard neuve.

La perspective que des verres sous vide avec des valeurs U_g de $0.6 \text{ W/m}^2\text{K}$ soient bientôt disponibles sur le marché permet d'espérer que ce type d'assainissement devienne encore plus courant et économiquement intéressant. Cela permettrait également d'obtenir une valeur U_w d'environ $1.2 \text{ W/m}^2\text{K}$ et ainsi de respecter aisément les exigences normatives actuelles.



V. REMPLACEMENT DE FENÊTRES

Dans le cadre de travaux d'assainissement de bâtiments anciens, la question de la fenêtre est le plus souvent solutionnée en optant pour un remplacement complet des fenêtres. Comme fenêtre de remplacement on utilise généralement une fenêtre standard industrielle en bois, en bois-métal ou en PVC, c'est-à-dire les mêmes types que l'on trouve dans des bâtiments neufs ou des rénovations de bâtiments d'après-guerre. Malgré cette prédominance, il y a également des cas où l'on opte pour une fenêtre à l'ancienne, c'est-à-dire pour une fenêtre neuve, conçue comme une réinterprétation de la fenêtre ancienne, qui tente de s'approcher le plus possible de cette dernière, de par sa matérialité et son esthétique. Il s'agit de fenêtres qui ont été développées par des entreprises de menuiserie pour répondre à un besoin de fenêtres adaptées aux bâtiments historiques. Étant donné que le marché pour ce type de fenêtres n'est pas très étendu, elles sont fabriquées de manière artisanale ou semi-industrielle.

Avant de présenter les spécificités du remplacement par des fenêtres à l'ancienne, des fenêtres standards en bois, en bois-métal ou en PVC, dans les pages suivantes, nous tenons à présenter quelques réflexions communes à toutes les solutions de remplacement notamment celles utilisant des fenêtres standards.

Concernant la mise en œuvre du remplacement, on peut constater qu'elle est similaire pour tous les types de fenêtres. Les anciens battants sont systématiquement décrochés et éliminés tandis que le travail sur le cadre dormant dépend des modalités du chantier. Idéalement démonté complètement pour laisser place au nouveau dormant, on procède parfois aussi au découpage de la partie visible du dormant sans abimer la boiserie ou le revêtement de l'embrasure du mur. La nouvelle fenêtre est alors posée en applique dans l'emplacement laissé par le cadre démonté et les raccords aux embrasures sont traités avec des couvre-joints. Dans la famille des fenêtres en PVC ou en bois-métal il existe

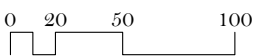
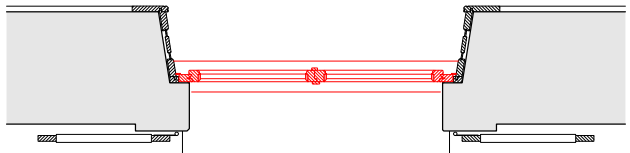
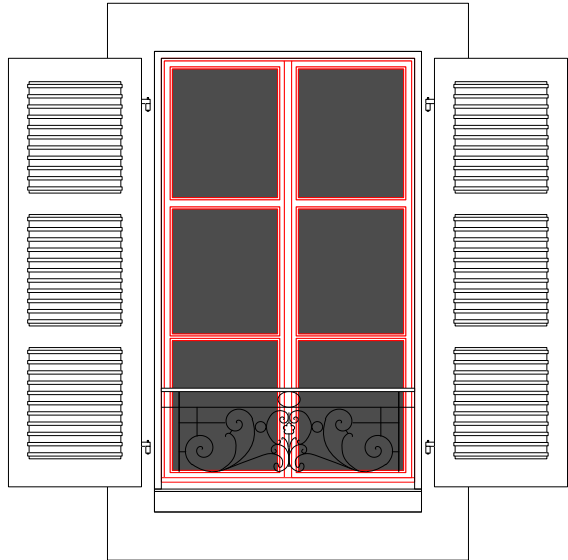
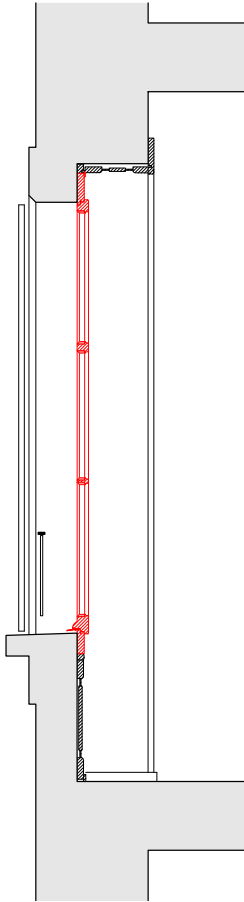
aussi la solution des cadres-rénovation. Cette technique consiste à laisser en place l'ancien cadre dormant et à utiliser un cadre dormant nouveau en forme de L. Ce dernier vient alors entourer le dormant ancien pour recevoir les nouveaux ouvrants.

L'installation de nouvelles fenêtres a aussi des conséquences sur les échanges d'air entre le logement et l'extérieur. Avant rénovation, l'aération naturelle minimale et l'échange d'humidité sont assurés par les feuillures des anciennes fenêtres qui ne sont pas complètement étanches et laissent passer l'air. Les fenêtres industrielles, équipées aujourd'hui de deux lèvres d'étanchéité pour répondre aux exigences Minergie, empêchent normalement tout échange d'air avec l'extérieur. Dans le cas de rénovations qui ne prévoient pas l'installation d'une aération douce mécanique, cela peut provoquer des problèmes de condensation ou de moisissure du fait que la vapeur d'eau produite par l'activité humaine ne peut être évacuée correctement. Il est alors important d'interrompre intentionnellement les joints d'étanchéité des nouvelles fenêtres afin d'assurer un renouvellement d'air minimal.

La fabrication des fenêtres modernes se fait, la plupart du temps, dans des centres d'usinages fortement automatisés et leurs profilés standardisés sont conçus pour convenir à une large gamme de dimensions et d'applications, en particulier pour des fenêtres de bâtiments contemporains qui peuvent avoir des dimensions pouvant aller jusqu'à 6 mètres carrés. Aujourd'hui, avec la généralisation de l'emploi du triple verre isolant, les profils et les ferrures sont prévus pour supporter des poids de plus de 100 kg et pour recevoir des verres d'une épaisseur allant jusqu'à 45 mm. Ceci se traduit par une épaisseur de profils conséquente, jusqu'à 3 fois plus grande que celle des cadres anciens. Le fait que les ferrures soient intégrées dans les cadres des battants et que l'étanchéité à l'air et à l'eau soit résolue par un système complexe de chambres et de joints a aussi pour conséquence que les largeurs des cadres sont généralement plus importantes que celles des fenêtres anciennes. Ainsi la nouvelle fenêtre induit, par son aspect plus massif, un changement de la perception de la façade et de l'espace intérieur. Ceci pose des questions liées à l'intégration d'éléments neufs dans une architecture existante ainsi qu'au maintien de la qualité architecturale des bâtiments de la deuxième moitié du XIX^e et du début du XX^e.

En plus de la présentation des aspects constructifs et énergétiques, l'analyse des pages suivantes tente de mettre en évidence l'impact architectural et matériel des différents types de nouvelles fenêtres dans ces bâtiments à caractère spécifique.

V. REMPLACEMENT DE FENÊTRES



FENÊTRE A L'ANCIENNE

Désireux de pouvoir offrir une fenêtre moderne qui s'intègre dans un environnement à caractère ancien, certaines entreprises de menuiserie ont mis au point des fenêtres dont l'apparence et parfois aussi la conception est inspirée des fenêtres du XIX^e siècle. L'enjeu est alors de maintenir les proportions et les finitions des anciennes menuiseries de fenêtres tout en proposant une fenêtre de qualité qui réponde aux critères d'aujourd'hui. Bien qu'à première vue, ces fenêtres soient destinées à remplacer des fenêtres obsolètes dans les bâtiments anciens, elles sont souvent aussi installées dans des bâtiments neufs d'aspect traditionnel.

Construction

Les principales essences de bois utilisées pour ces fenêtres sont l'épicéa et le chêne. Pour retrouver l'aspect et les caractéristiques des fenêtres anciennes, certains détails d'exécution ont été repris de ces dernières. Ainsi les verres sont posés à feuillure ouverte et mastiqués au silicone, les vantaux sont crochés sur des paumelles, la fermeture se fait à l'aide d'une espagnolette, les renvois d'eau des vantaux sont en bois, l'étanchéité des battants montants est assurée par des feuillures à noix et les cadres comportent des moulures. Néanmoins, pour répondre aux exigences d'aujourd'hui, certains détails ont dû être adaptés. Ainsi le battant-meneaux qui ferme les deux vantaux est exécuté avec une feuillure à pince au lieu d'une fermeture à gueule de loup. L'épaisseur des cadres battants a été augmentée pour obtenir une feuillure à verre plus profonde, adaptée aux doubles vitrages isolants. Le renvoi d'eau du dormant est en bois ou composé d'un profil en aluminium. L'étanchéité à l'air est renforcée sur le pourtour à l'aide de joints creux en silicone.

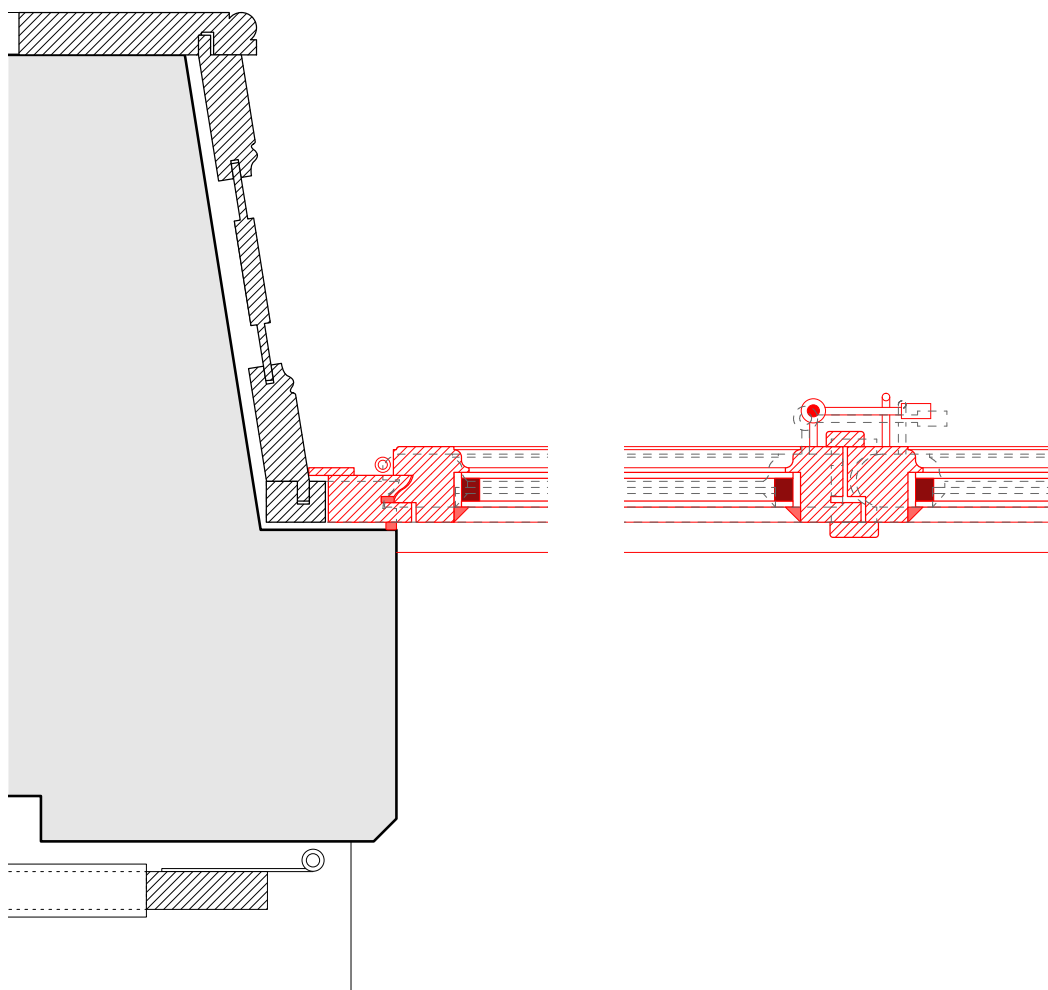
Détail inspiré par les fenêtres développées par l'entreprise Dessaux à St-Prex.
Appliqué ici à la fenêtre de la rue de la Gabelle 20 pour l'étude.
Echelle 1:33

Expression architecturale

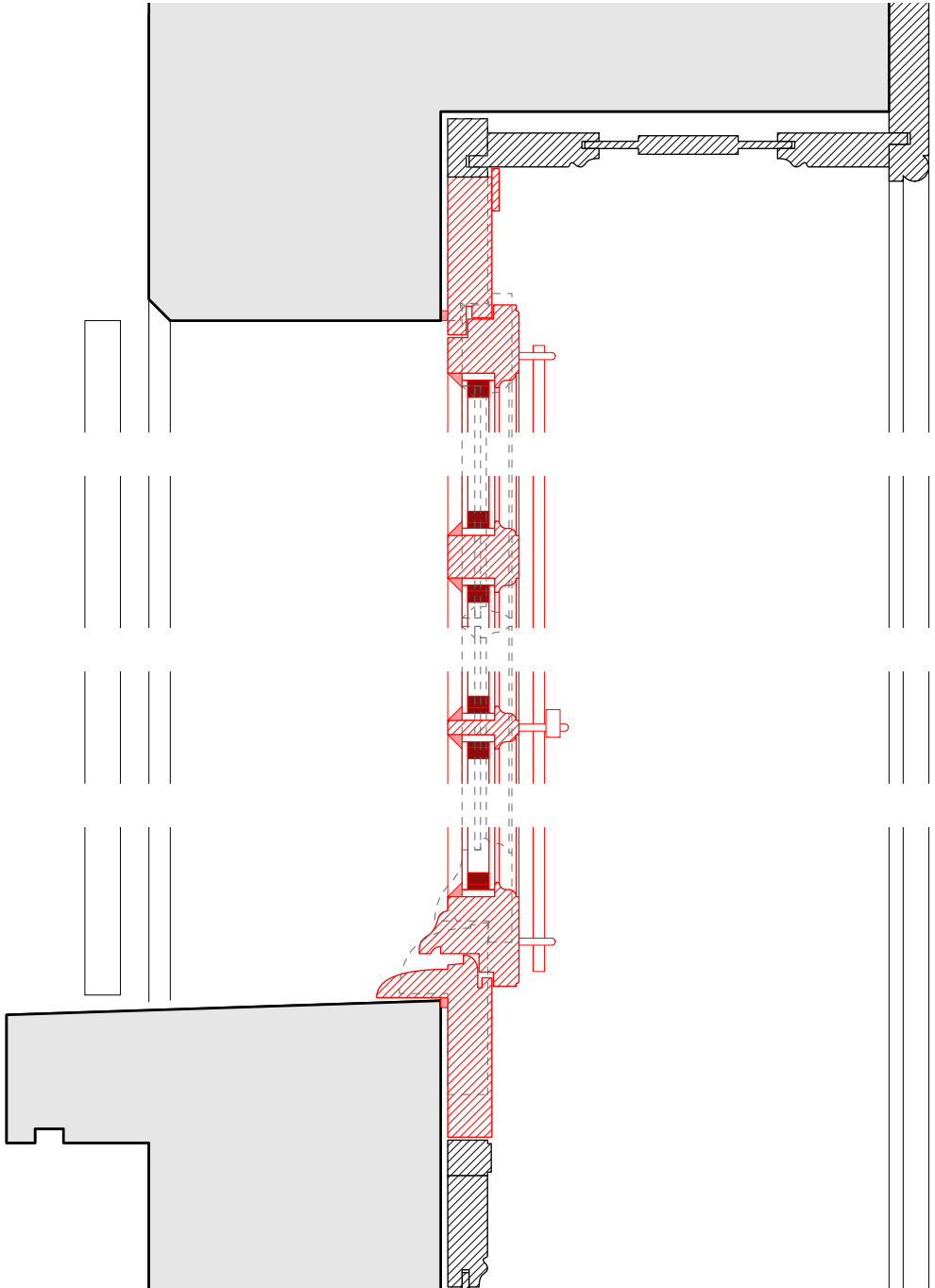
L'utilisation de techniques et de détails proches des méthodes de fabrication traditionnelles permet d'obtenir un aspect qui

DÉTAIL

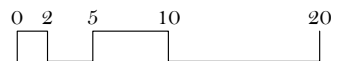
REMPLEMENT PAR UNE FENÊTRE À L'ANCIENNE



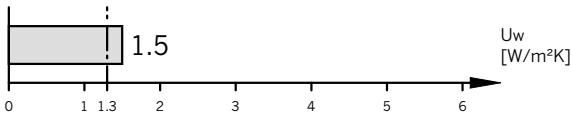
Type: Dessaux & Cie, St-Prex - Reno & Antik
Coupe horizontale. Echelle 1:5



Coupe verticale. Echelle 1:5



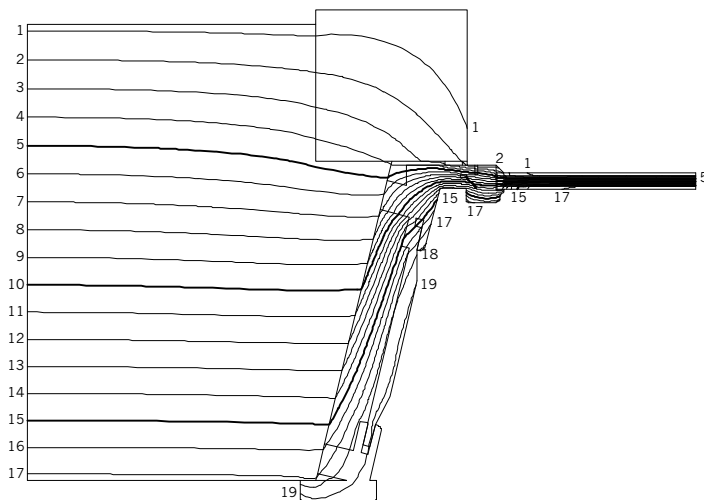
se rapproche de celui des fenêtres anciennes. Ceci n'est pas seulement dû à l'aspect des ferrures et moulures mais aussi aux rapports entre cadres et verre qui sont similaires. La seule différence perceptible concerne les épaisseurs des ouvrants qui ont été augmentées pour permettre la pose de doubles vitrages isolants comme cela se fait aussi dans le cas d'assainissement de fenêtres anciennes. C'est pourquoi, au premier regard, on a de la peine à faire la différence entre ces deux types de fenêtres.



Valeur U_w

Énergie

La similitude de la fenêtre à l'ancienne avec la fenêtre assainie a aussi pour conséquence des performances énergétiques presque identiques. Ainsi la valeur U_f théorique du cadre est de $2.2 \text{ W/m}^2\text{K}$ et celle de la fenêtre entière de $U_w 1.5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ces valeurs sont relativement hautes car les cadres de menuiserie sont assez peu épais et de ce fait, pas beaucoup plus isolants que les cadres des fenêtres anciennes. Les déperditions thermiques pourraient toutefois être réduites si le cadre n'était pas directement appliqué sur le mur, mais isolé de ce dernier par 5 à 10 mm de mousse PUR ou d'un autre type d'isolant. Par cet ajout on pourrait réduire la valeur U_w à environ $1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Détail d'embrasure avec courbes isothermes.
Echelle 1:10

On doit admettre que, même si cette valeur ne remplit pas les performances ponctuelles exigées par la norme SIA 380/1 (2009), dans le cadre de l'assainissement global d'un bâtiment, ces fenêtres présentent une isolation thermique suffisante pour atteindre les performances globales requises.

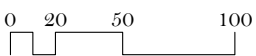
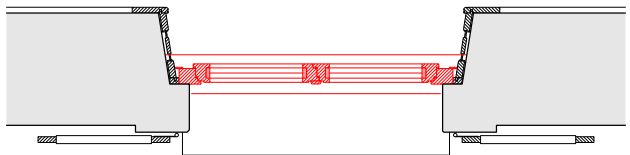
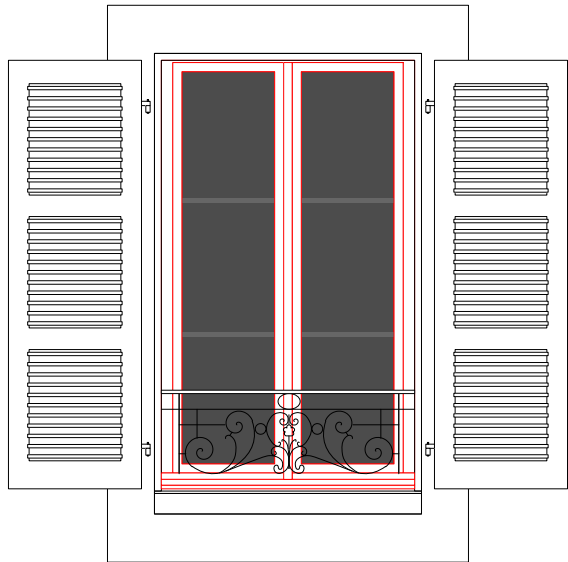
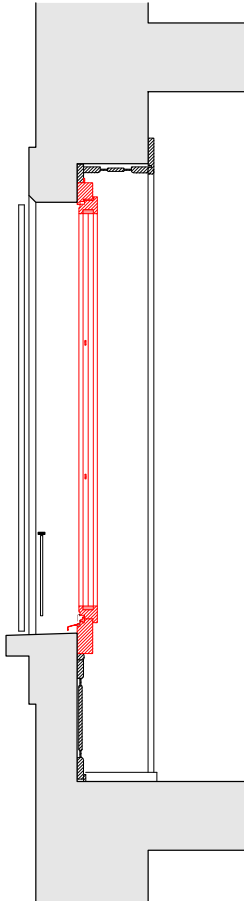
De par sa conception, ce type de fenêtres offre aussi la possibilité, sans grandes modifications, d'être monté avec des verres sous vide, le jour où ces derniers seront commercialisés. Ceci devrait considérablement améliorer les valeurs thermiques.

Perspectives

La fenêtre "à l'ancienne" présente une approche intéressante pour résoudre la question du remplacement d'anciennes fenêtres. De par la matérialité et la dimension de sa menuiserie, elle permet de retrouver un aspect similaire à l'existant dans les cas où l'assainissement de la fenêtre existante n'est pas envisageable. Etant donné que ce type de fenêtres est produit en petites séries avec des procédés peu automatisés, leur prix reste malheureusement supérieur aux prix des fenêtres standard fabriquées en grande quantité et de manière automatisée. Alors que ces surcoûts sont souvent acceptés dans le cadre d'assainissements de bâtiments protégés, ils le sont moins dans les cas de rénovation d'immeubles d'habitation courants, ce qui oblige les planificateurs à s'orienter vers d'autres solutions.

Pourtant, on voit dans cette démarche, comment on peut tenir compte des exigences patrimoniales et architecturales tout en proposant un produit qui répond aux exigences actuelles de qualité et de performance énergétique.

V. REMPLACEMENT DE FENÊTRES



FENÊTRE EN BOIS

La fenêtre en bois tient, aujourd'hui encore et malgré la concurrence exercée par les fenêtres en PVC, une place importante sur le marché des fenêtres. Par rapport à son ancêtre la fenêtre simple du XIX^e siècle, la fenêtre en bois a passablement évolué pour répondre aux exigences actuelles. Comme toutes les fenêtres d'aujourd'hui, elle est devenue un élément technologique complexe, optimisé par rapport à des critères de fabrication, d'usage et d'économie d'énergie.

Construction

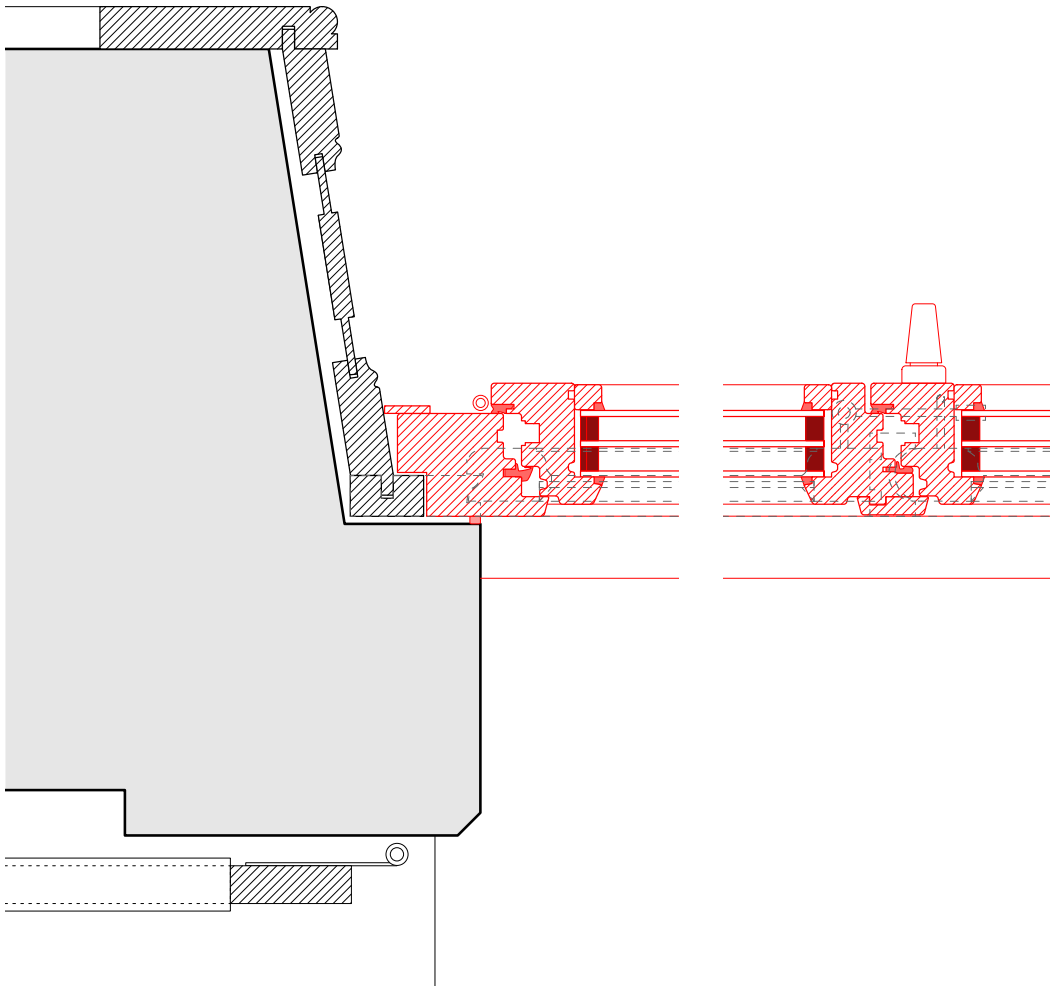
Les cadres sont fabriqués en bois lamellé collé en épicéa, en mélèze ou en chêne. Le dormant a une épaisseur d'environ 70 mm pour une largeur d'environ 100 mm; celui des vantaux une épaisseur de 80 mm pour une largeur de 75 mm. Ces épaisseurs sont grandement supérieures à celles des fenêtres anciennes et adaptées pour recevoir des triples vitrages isolants (voir détail page suivante). Les traverses basses sont complétées par des profilés en aluminium qui ont comme rôle de récolter l'eau qui s'est infiltrée dans la première "chambre" de la feuillure et de la conduire vers l'extérieur, sur la tablette.

La durabilité des fenêtres en bois dépend essentiellement de l'adhérence et de l'épaisseur de la couche protectrice appliquée sur la menuiserie. Pour éviter les aléas du chantier et garantir un recouvrement uniforme de qualité, les cadres sont généralement peints en usine avant le montage des verres, des joints et des ferrures. Ceci se fait par trempage dans un bain de peinture ou au pistolet et assure que toutes les parties de bois soient recouvertes. Toutefois, une dernière couche peut être appliquée après le montage des fenêtres sur le chantier.

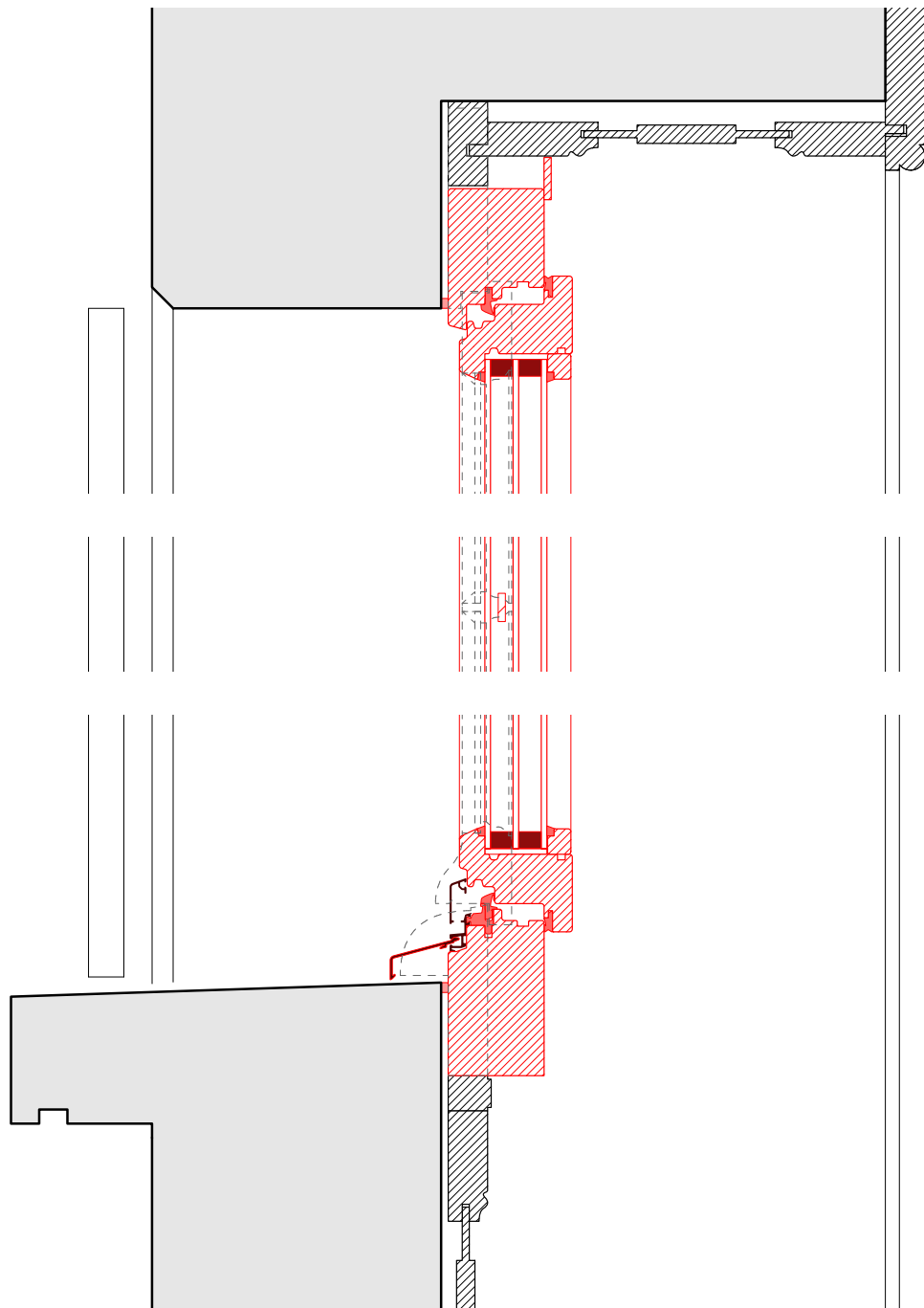
Le verre isolant se pose dans la feuillure depuis l'intérieur. Pour transmettre les charges statiques dues à son poids et pour absorber les mouvements de dilatation, il est posé sur des cales.

DÉTAIL

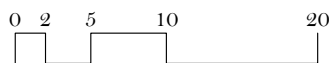
REMPACEMENT PAR UNE FENÊTRE EN BOIS



Type: EgoKiefer - boisWS1
Coupe horizontale. Echelle 1:5



Coupe verticale. Echelle 1:5



La fixation mécanique est assurée par des parcloses en bois peints qui sont clouées sur le cadre. La largeur de ces parcloses varie pour s'adapter aux différentes épaisseurs de verre. L'étanchéité entre le verre et le bois est assurée par des joints en silicone.

L'étanchéité à l'air et à l'eau est obtenue grâce à un système de deux joints en caoutchouc EPDM et de deux chambres formées par le profil des feuillures. Le joint extérieur en retrait, fixé sur le dormant après la première chambre, permet d'assurer que l'eau infiltrée entre les cadres soit évacuée correctement vers l'extérieur. Le deuxième joint, fixé sur les ouvrants, a été introduit récemment pour renforcer l'étanchéité à l'air et ainsi répondre aux exigences accrues lorsque les fenêtres sont installées dans des bâtiments équipés d'une aération douce.

Les ferrures de fermeture sont des mécanismes en acier galvanisé qui sont placés dans une noue, sur la face invisible du cadre battant. Ainsi, il est possible d'offrir des ouvertures à la française, en imposte ou oscillo-battant. Cette technique permet aussi de renforcer l'aspect sécuritaire en équipant la fenêtre de plusieurs points de fermeture.



Fenêtre en bois vernie

Expression architecturale

Nous avons vu plus haut que les cadres des fenêtres en bois sont généralement peints en usine pour assurer une meilleure durabilité. S'il n'y a pas de couche de finition appliquée au pinceau sur le chantier, la surface de cette couche de peinture

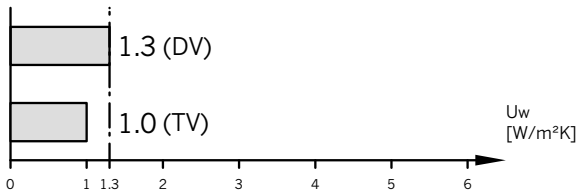
est très lisse et donne un caractère immatériel à la fenêtre. La couleur choisie est la plupart du temps un blanc pur de la palette de couleurs RAL, en l'occurrence le RAL9010. Cette uniformité découle aussi d'une logique industrielle qui demande à réduire les choix pour simplifier la fabrication.

Par rapport aux fenêtres anciennes, la fenêtre en bois moderne paraît aussi plus lourde. Ceci n'est pas seulement dû aux dimensions de cadre plus grandes et au poids plus important des verres mais surtout aux angles des profils qui sont arrondis pour permettre une meilleure adhérence de la peinture.

Bien que les qualités de la fenêtre en bois industrielle soient éprouvées, on doit constater que, employée dans le contexte du logement du tournant du XIX^e siècle, elle perd en qualité contrastant, de par sa forme et sa texture, avec les autres matériaux nobles présents à l'intérieur du logement, tels que les parquets anciens, les menuiseries travaillées et peintes au pinceau ou les moulures des plafonds.



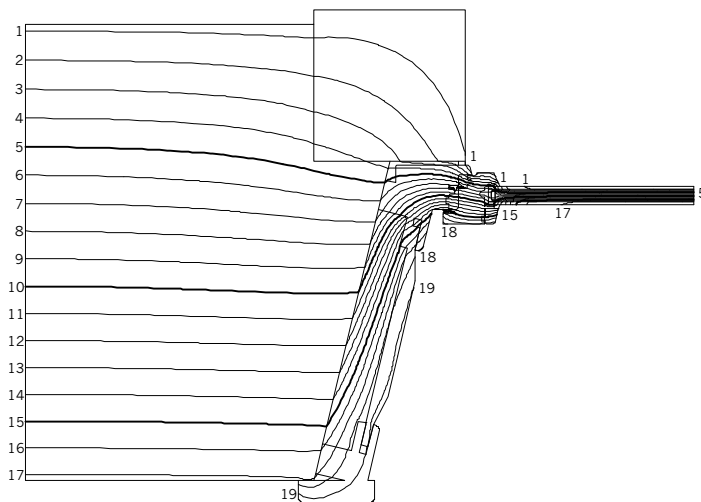
Vue de détail d'une fenêtre en bois peinte. La couleur noire des intercalaires contraste avec le blanc du cadre.



Valeur U_w calculée
 DV: double vitrage
 TV: triple vitrage

Energie

Bien que les valeurs thermiques des cadres soient données dans les catalogues, il a été décidé de faire la comparaison avec des valeurs recalculées par nous-mêmes selon la même procédure que les cadres anciens. Ces valeurs théoriques pour les cadres sont légèrement supérieures aux valeurs mesurées par les fabricants, soit U_f de 1.33 W/m²K pour le double verre isolant ainsi que U_f de 1.18 W/m²K pour le verre triple. Pour l'ensemble des fenêtres, nous obtenons un U_w double de 1.3 W/m²K et un U_w triple de 1.0 W/m²K. Ceci montre que, dans sa version *double verre isolant*, même cette fenêtre de conception "moderne", remplit tout juste les exigences de performances ponctuelles de la norme SIA 380/1 (2009).

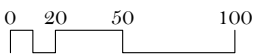
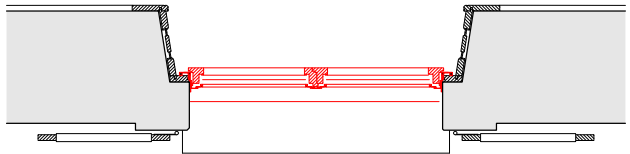
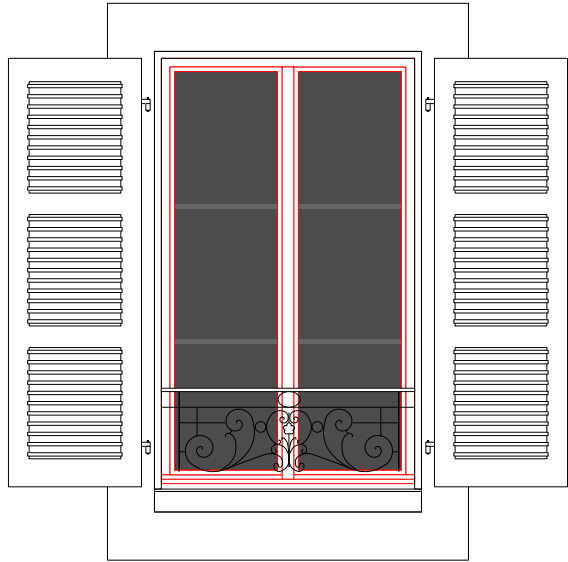
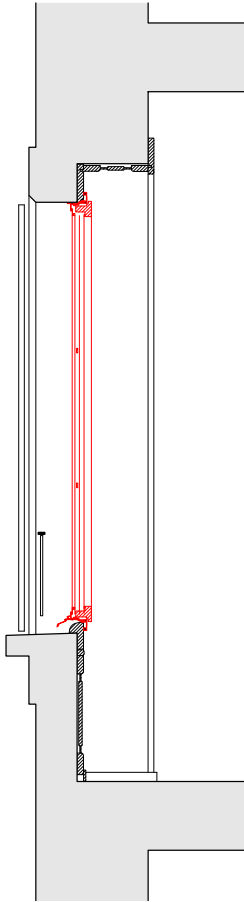


Détail d'embrasure avec courbes isothermes.
 Echelle 1:10

Perspectives

Souvent, lors de remplacement de fenêtres, le recours à la fenêtre en bois est préconisé par les services de protection du patrimoine. Ceci sans doute pour assurer une continuité de la matérialité avec les anciennes fenêtres. On peut alors espérer qu'elles durent aussi longtemps que leurs "veilles sœurs" et que le temps leur applique une patine qui leur donne un peu plus de caractère.

V. REMPLACEMENT DE FENÊTRES



FENÊTRE EN BOIS-MÉTAL

Exposée au milieu extérieur, la face externe des fenêtres subit de fortes contraintes (rayonnement solaire, vent, pluie, poussière etc.). Le verre, matériau dur et inerte, résiste très bien à ces sollicitations. Il en est autrement pour les cadres en bois. Ils doivent être entretenus et repeints régulièrement si l'on veut limiter leur vieillissement. Pour éviter ces travaux d'entretien, l'industrie des fenêtres a développé des cadres combinés bois-métal qui tirent profit des avantages de chaque matériau. Ainsi le métal, en général de l'aluminium anodisé, est placé sur la face externe soumise aux intempéries. La face interne est exécutée en bois peint pour assurer l'isolation thermique du cadre.

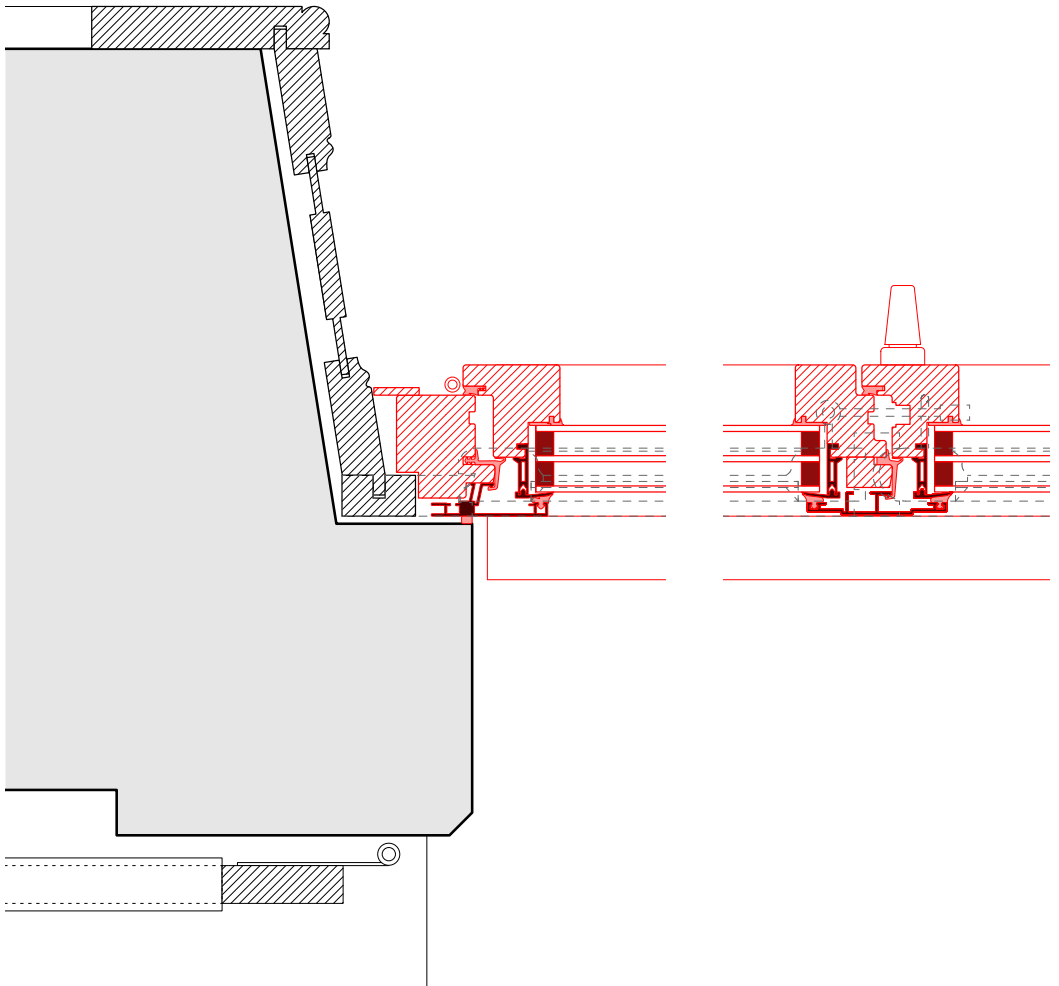
Construction

Dans sa conception, la fenêtre bois-métal est une fenêtre en bois qui est munie d'un "revêtement" en aluminium. En effet, la base structurelle étant assurée par les cadres en bois, les profilés en aluminium sont simplement fixés sur la face extérieure du bois et n'ont qu'un rôle de protection. Comme pour la fenêtre en bois, les cadres, uniquement visibles de l'intérieur, sont peints ou vernis. Les parties en aluminium sont anodisées ou thermo-laquées dans une couleur à choix.

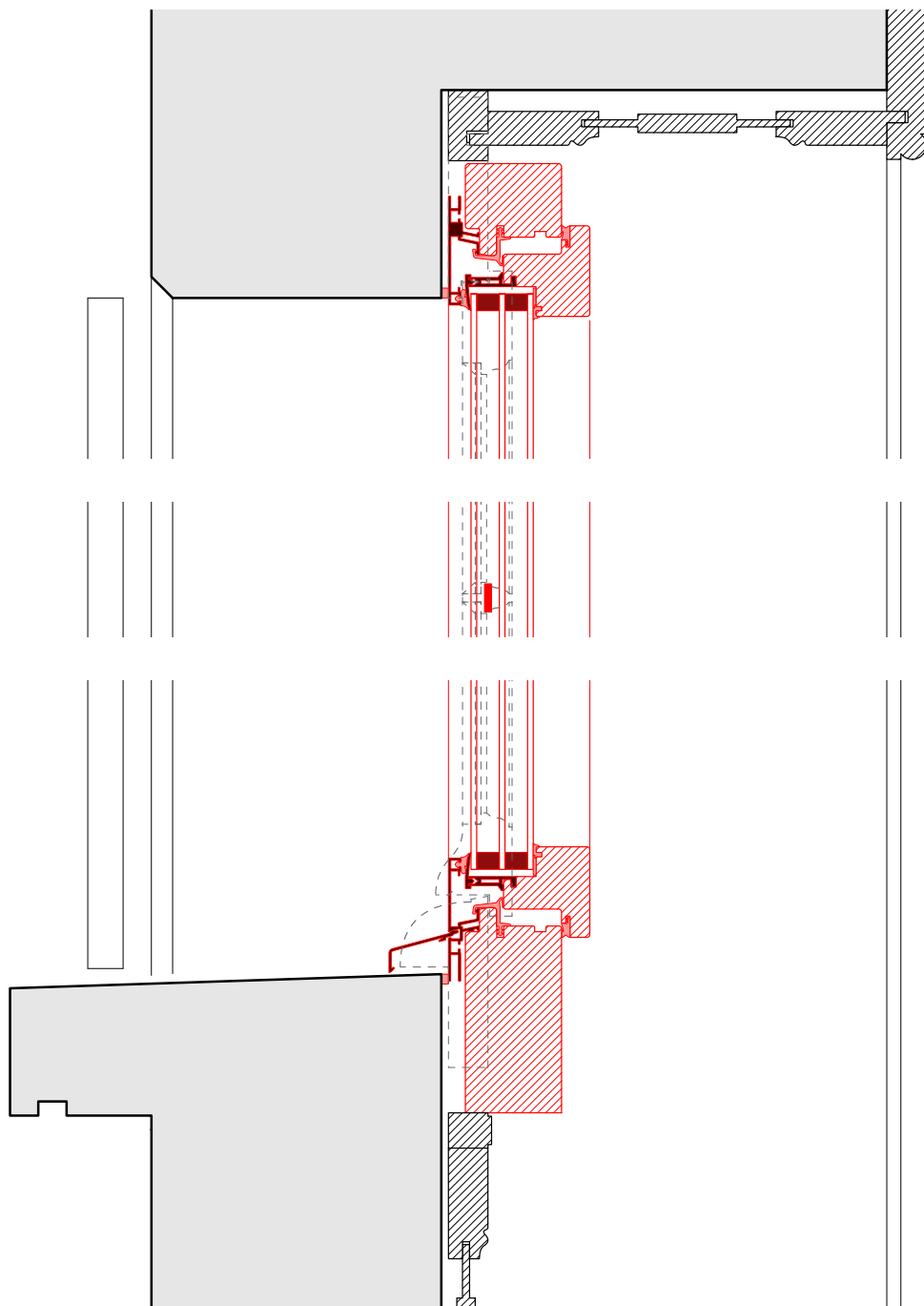
L'exemple ci-contre représenté une fenêtre bois-aluminium de l'entreprise Ego Kiefer. Sa menuiserie est conçue de façon à ce que le cadre de l'ouvrant ne soit que très peu visible de l'extérieur. Ceci permet de limiter la largeur des cadres et de maximiser la surface vitrée. Ce dispositif se traduit à la fois par un gain de lumière et par une amélioration des performances énergétiques. Pour arriver à cet assemblage, le verre est directement collé au cadre au lieu d'être pincé entre une battue et une parclose.

DÉTAIL

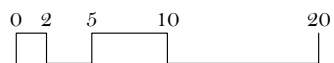
REEMPLACEMENT PAR FENÊTRE EN BOIS-MÉTAL



Type: EgoKiefer - Bois/alu XL
Coupe horizontale. Echelle 1:5



Coupe verticale. Echelle 1:5



Expression architecturale

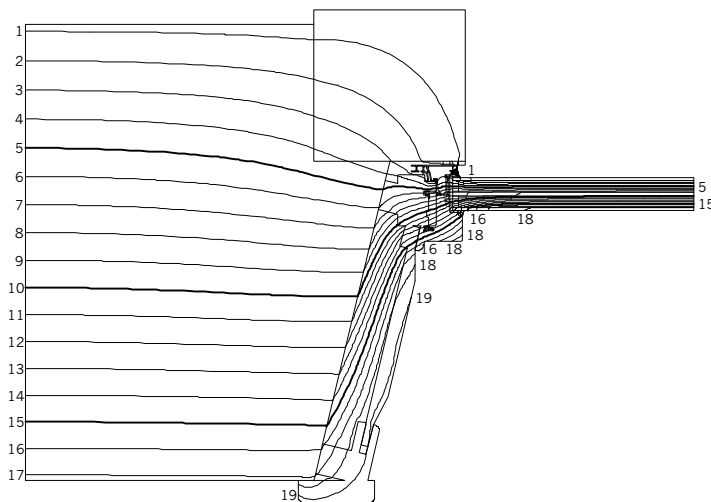
De l'extérieur, c'est le traitement de surface de l'aluminium qui va déterminer la matérialité et le coloris de la fenêtre. Exécutée en aluminium anodisé naturel, la fenêtre va paraître claire et prendre les teintes de la lumière qui la touche. Traité ainsi, l'aluminium n'a pas de propre couleur mais reflète plutôt celle des objets voisins. Les profilés thermo-laqués, par contre, permettent d'accorder la couleur des fenêtres au matériau de l'encadrement et à la teinte des volets.

Comme mentionné plus haut, l'exemple de fenêtre étudié a aussi la particularité de faire disparaître le cadre ouvrant derrière le cadre dormant. Ceci réduit la largeur du cadre visible sur la partie haute et les parties latérales à seulement 2 cm. Ainsi, la présence du vitrage devient prédominante de l'extérieur, car il est seulement entrecoupé du meneau central et de la traverse inférieure en aluminium.

Concernant la présence de la fenêtre à l'intérieur, les remarques sont identiques à celles concernant la fenêtre en bois du chapitre précédent.

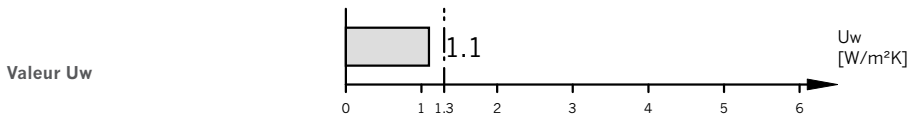
Energie

Malgré le fait que les cadres en soi ne soient pas plus performants que les cadres en bois, les valeurs énergétiques sont, pour les fenêtres bois-métal étudiées, parmi les meilleures ($U_{w \text{ triple}}=0.9 \text{ W/m}^2\text{K}$). Ceci est essentiellement dû au fait que



Détail d'embrasure avec courbes isothermes.
Echelle 1:10

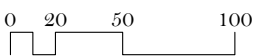
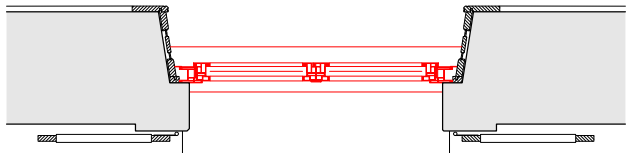
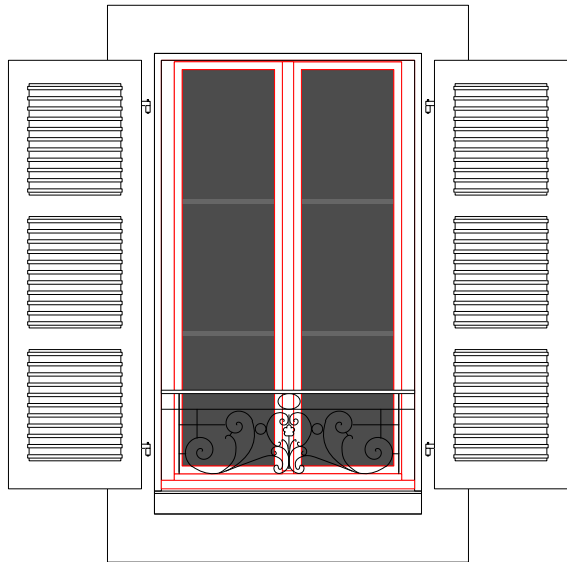
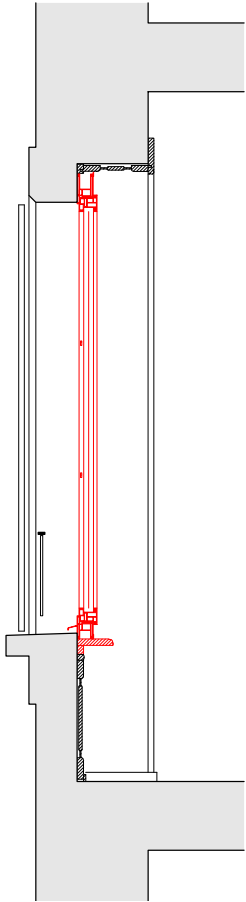
cette construction minimise la surface du cadre apparent et élimine ainsi l'élément faible de la fenêtre, c'est-à-dire le cadre, du calcul selon la norme ISO 10077-1 (2006).



Perspectives

La fenêtre en bois-métal peut être considérée comme une fenêtre de standing du fait qu'elle allie la durabilité de l'aluminium aux qualités du bois. Employées dans les bâtiments construits entre 1850 et 1920, ce sont avant tout les choix d'exécution qui vont être déterminants pour une bonne intégration dans les anciens logements. Protégés par le métal à l'extérieur, ces cadres permettent par exemple de laisser le bois apparent à l'intérieur sans véritable perte de durabilité. Ainsi on pourrait retrouver, si nécessaire, les mêmes textures que les fenêtres en chênes démontées.

V. REMPLACEMENT DE FENÊTRES



FENÊTRE EN PVC

Depuis son introduction au début des années 1970, la fenêtre en PVC a réussi à s'imposer pour atteindre aujourd'hui entre 60 et 70% de parts du marché. Ce succès est d'une part dû au faible coût de la matière première et à la rationalisation de la fabrication, d'autre part, à son faible besoin d'entretien. En effet, comparé à la fenêtre en bois, le PVC ne doit pas être recouvert d'une peinture pour résister aux intempéries ce qui réduit l'entretien au simple nettoyage ainsi qu'au graissage et ré-ajustage éventuel des ferrures.

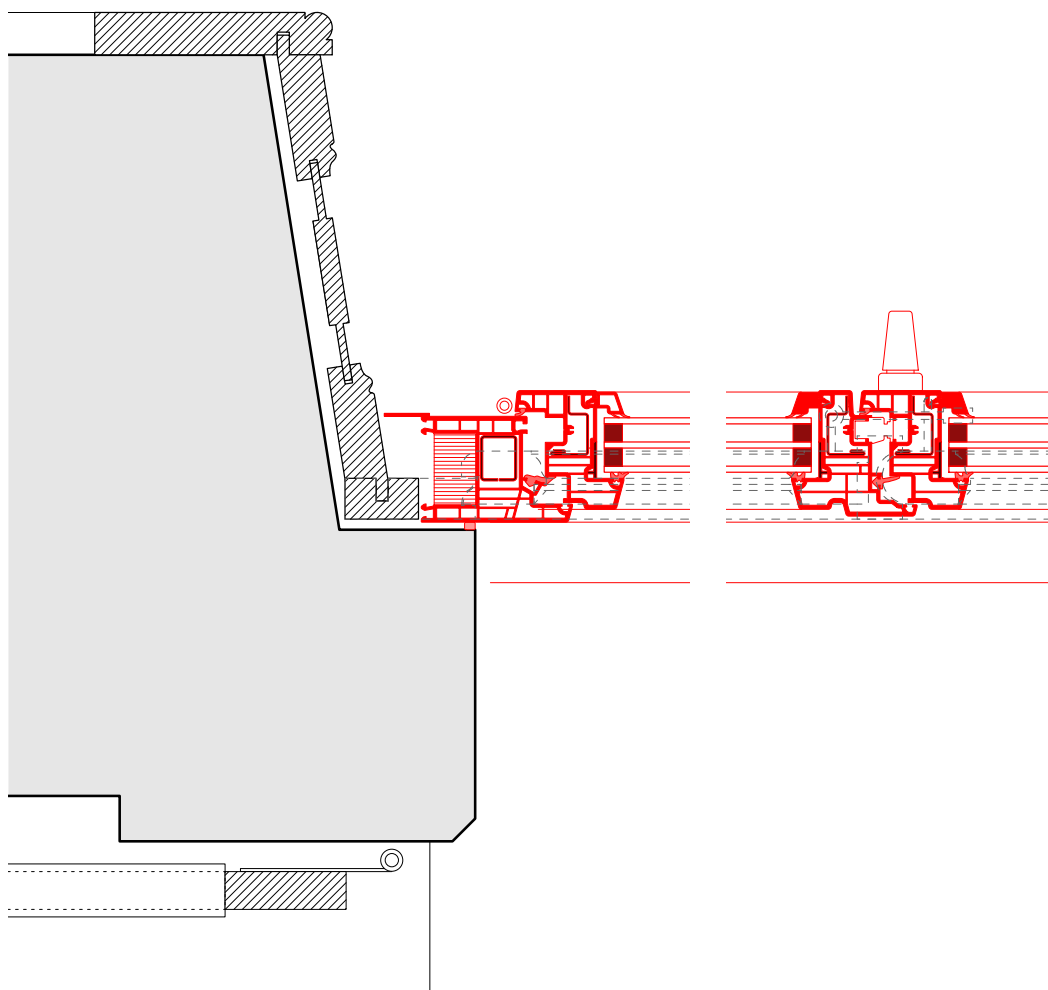
Construction

Les cadres de la menuiserie sont construits à partir de profilés extrudés en PVC dans lesquels sont insérés des profilés en acier pour assurer la stabilité structurelle. Les profilés sont coupés à l'onglet et soudés ensemble. La fixation des ferrures structurelles (gonds, etc.) traverse les cadres en PVC pour s'ancrer dans des tubes en acier. Dès leur apparition dans les années 1970, les cadres étaient conçus pour recevoir un double vitrage. Aujourd'hui, avec la généralisation des triples vitrages, les cadres ont été adaptés pour recevoir tous types de vitrages avec des épaisseurs de 20 à 44 mm. Le vitrage est pincé entre la battue du cadre et la parclose. Cette dernière est elle-même clipée dans la feuillure du cadre (voir détail) et l'étanchéité est assurée par des joints en caoutchouc noir. L'isolation thermique du cadre est obtenue par une construction des cadres à chambres multiples. Avec l'augmentation des exigences énergétiques, le nombre de ces chambres a été augmenté ces dernières années pour optimiser le système par rapport aux pertes thermique par le cadre.

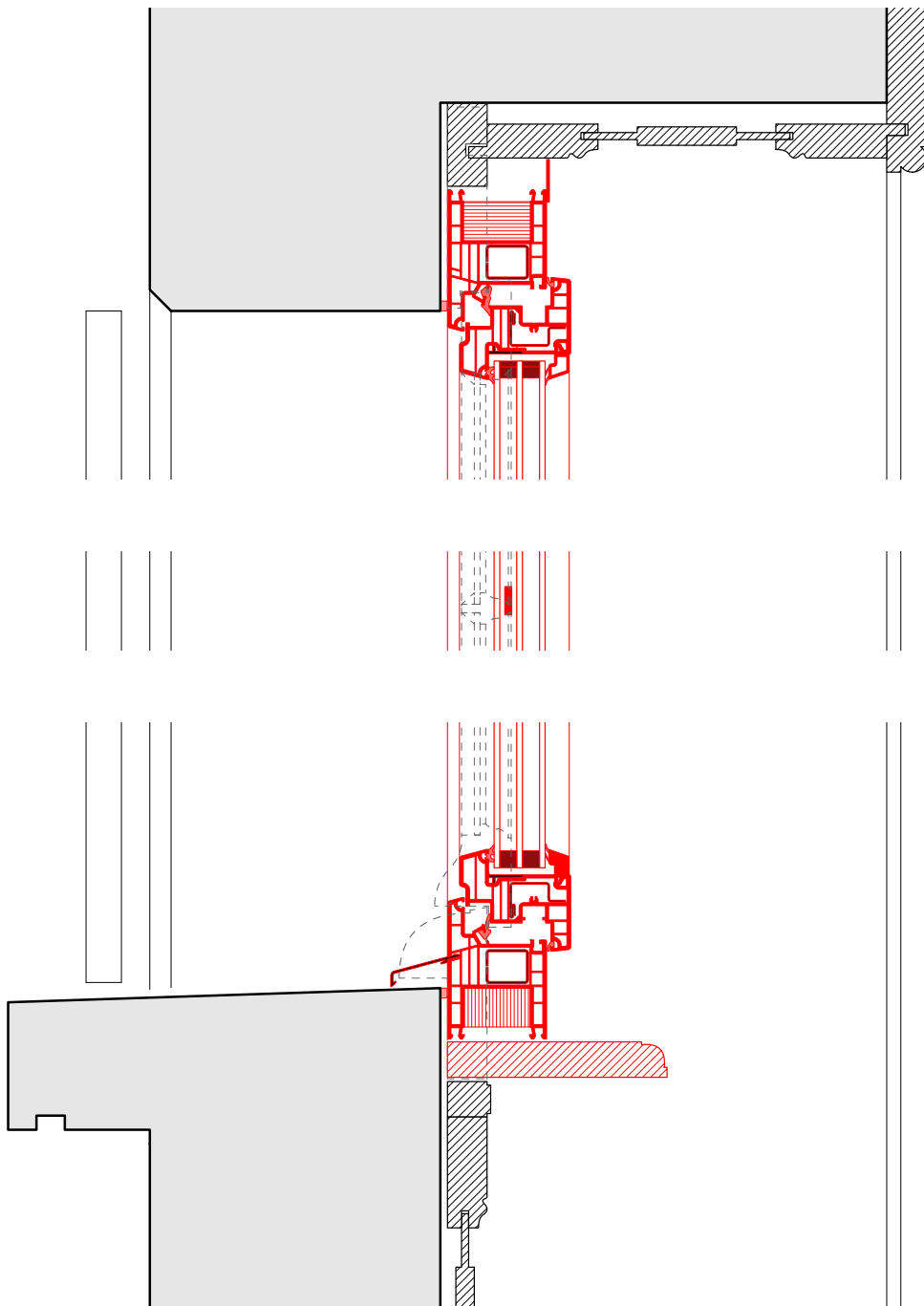
Dans le cas de remplacement de fenêtres, deux principes se trouvent actuellement couramment appliqués. Dans le premier cas, le cadre fixe de l'ancienne fenêtre est découpé ou entièrement démonté. La nouvelle fenêtre en PVC, constituée d'un *cadre*

DÉTAIL

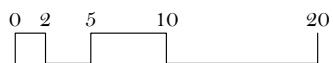
REMPLEMENT PAR UNE FENÊTRE EN PVC



Type: EgoKiefer - PVC AS1
Coupe horizontale. Echelle 1:5



Coupe verticale. Echelle 1:5

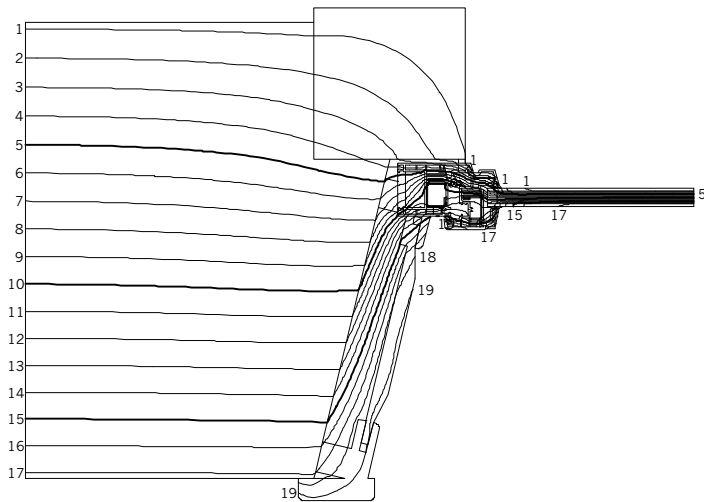


standard va être montée à l'emplacement de l'ancienne fenêtre. Dans la deuxième solution, l'ancien cadre fixe est laissé en place et un nouveau dormant en forme de L dit *cadre de rénovation*, vient se placer autour de l'ancien dormant. Cette solution a été mise au point pour réduire l'impact sur les parties existantes des embrasures et pour minimiser la durée d'intervention (2 à 3 heures par fenêtre). Cela permet de changer les fenêtres dans des locaux habités sans générer d'autres travaux annexes.

Bien que les fabricants proposent, pour les cadres en PVC, des couleurs variés et même des motifs imitations bois, la majeure partie des fenêtres en PVC est exécutée en blanc. La raison de cette dominance est à chercher dans le fait que, par rapport aux PVC colorés, le PVC blanc limite certains phénomènes de dégradation. Par exemple, la couleur claire évite l'échauffement excessif sous l'action du rayonnement solaire et minimise les risques de dégradations dus à la dilatation thermique ou autres déformations. Aussi, le phénomène de décoloration, que l'on peut parfois observer dans le cas d'une exposition régulière au rayonnement UV, ne pose pas de problèmes avec les cadres blancs.

Expression architecturale

Les cadres en PVC blanc se caractérisent par une absence de texture. Leur surface a, au début, une légère brillance qui s'estompe au fil des années sous l'influence du rayonnement solaire. De couleur blanche avec des joints noirs, leur accord



Détail d'embrasure avec courbes isothermes.
Echelle 1:10

avec les coloris et textures des parties minérales de la façade est parfois difficile.

La plupart des profilés en PVC sur le marché ont des angles passablement arrondis ce qui peut leur conférer, indépendamment de leur dimension, un aspect plutôt massif et peu élégant.



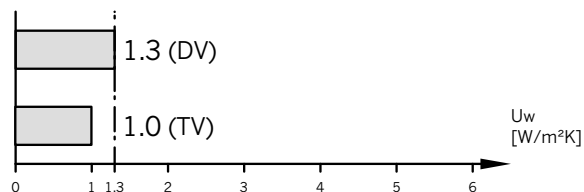
Détail latéral. Le petit bois est clipsé sur le cadre devant la vitre. Le joint de verre noir fait la transition entre le vitrage et le cadre blanc.

Rue Beau Séjour 14, Lausanne

Energie

Les cadres en PVC obtiennent leurs performances énergétiques par une conception en "chambres" (actuellement entre 5 et 6). Le grossissement induit par l'épaississement des verres, améliore aussi l'isolation thermique du cadre. La valeur U_f théorique est de $1.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ pour des verres doubles et des verres triples. Les valeurs pour une fenêtre entière sont de U_w double = $1.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ respectivement U_w triple = $1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Valeur U_w calculée
DV: double vitrage
TV: triple vitrage



Perspectives

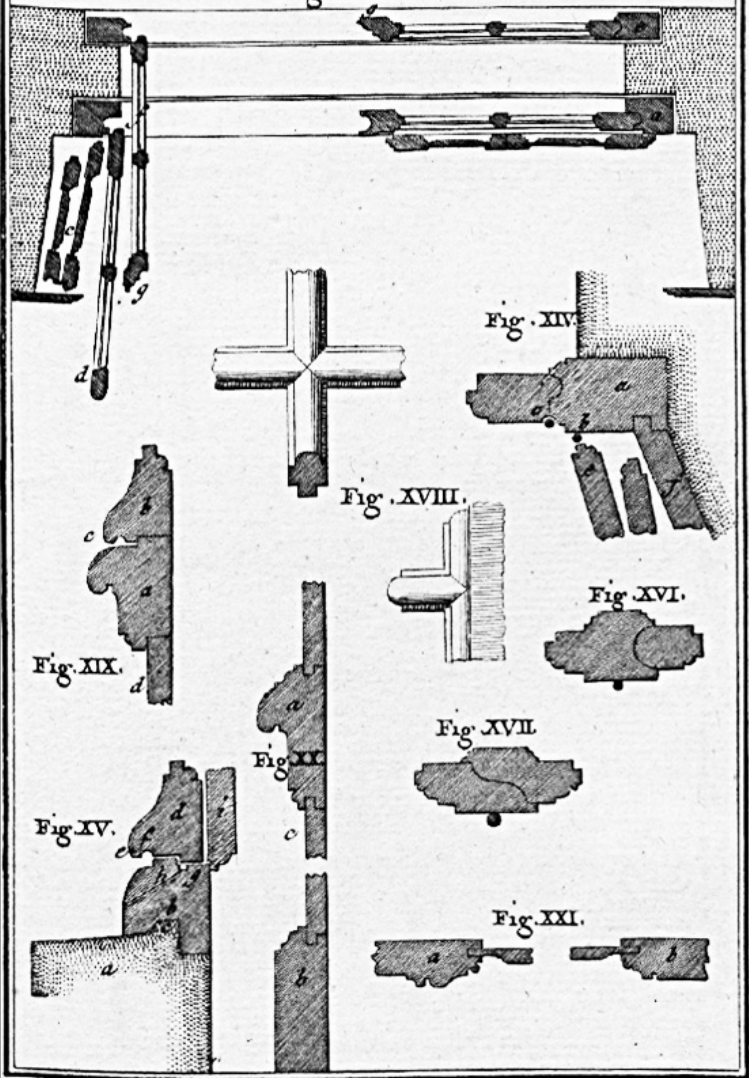
La fenêtre en PVC est une fenêtre dont la durabilité semble être reconnue et qui présente des avantages économiques à l'acquisition aussi bien qu'à l'utilisation. Malgré cela, son emploi dans des bâtiments anciens est controversé. Ceci est sûrement dû en partie à une sorte d'aversion envers le plastique, considéré comme un matériau bon marché et éphémère. Même si l'on fait abstraction de ces aprioris, d'autres arguments parlent en faveur d'une certaine réticence envers les PVC ou plutôt envers les fenêtres en PVC telles qu'elles sont proposées aujourd'hui. Ainsi, l'aspect mis en évidence plus haut, concernant l'absence d'élégance aussi bien que la sensation d'un manque de solidité lors de la manipulation des fenêtres, donnent l'impression d'un élément de moindre qualité. Ceci contraste avec les matériaux existants dans ces bâtiments qui étaient, et le sont aujourd'hui encore, des matériaux qui dégagent une certaine noblesse et qui définissent le caractère de l'ouvrage à travers leurs dessins et leur textures. Dans un tel contexte, la fenêtre en PVC apparaît comme une intruse qui bouleverse un équilibre établi il y a plus de 100 ans et conservé jusqu'à nos jours.



Fenêtres neuves en PVC
G: Rue Beau Séjour 12, Lausanne
D: Avenue d'Echallens 78,
Lausanne

DETAILS DE MENUISERIE.

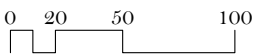
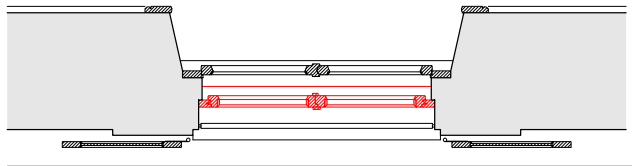
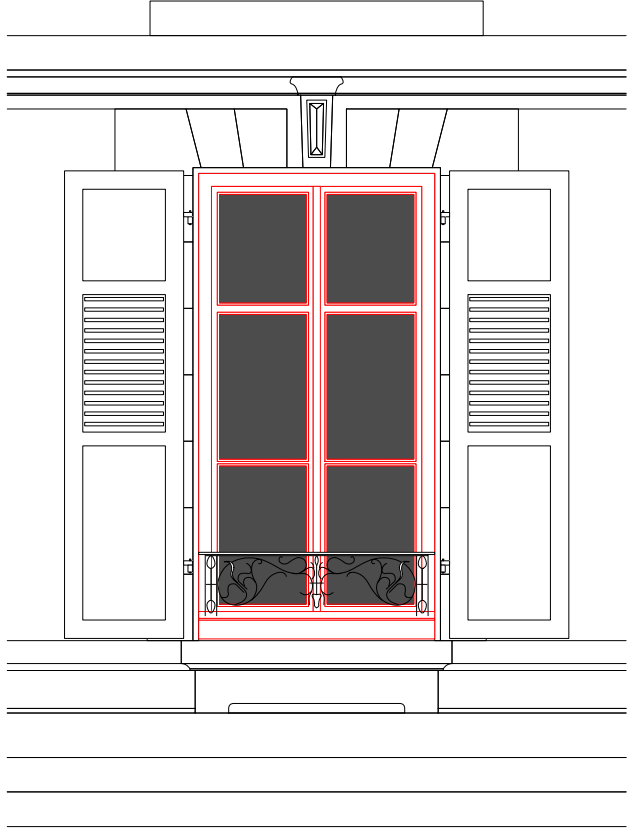
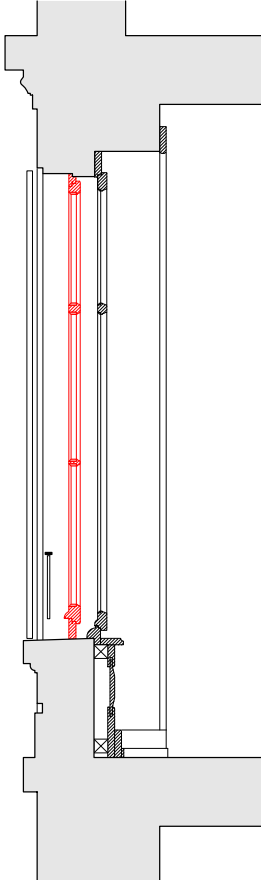
Fig. XIII.



VI. DOUBLAGE DE FENÊTRES

Une troisième façon d'améliorer les déperditions thermiques des fenêtres anciennes consiste à reprendre le concept de la *double fenêtre* en ajoutant une fenêtre neuve d'un côté ou de l'autre de la fenêtre existante. Ceci offre l'avantage de la conservation intégrale de la fenêtre ancienne combiné avec les performances énergétiques des fenêtres "modernes". Certains pourraient voir cette approche comme un pas en arrière car gérer deux fenêtres par ouverture semble aujourd'hui être trop contraignant pour les utilisateurs. Toutefois, comme déjà exposé dans l'introduction, cette option peut aussi générer des nouvelles spatialités et des qualités qui compensent largement les inconvénients d'ordre purement fonctionnel. Pour ouvrir le débat et montrer que de telles solutions sont aussi envisageables, nous avons décidé de présenter les cas d'étude qui suivent. Il s'agit de trois options: le doublement à l'extérieur par une nouvelle *contre-fenêtre*, le doublement à l'intérieur ou encore la transformation en *fenêtre à caisson*.

VI. DOUBLAGE DE FENÊTRES



NOUVELLE CONTRE-FENÊTRE

La première façon de doubler une fenêtre existante consiste à ajouter une deuxième fenêtre du côté extérieur tout en conservant l'ancienne fenêtre fixe. Cette nouvelle *contre-fenêtre* assumera alors le rôle de barrière thermique tout en protégeant la fenêtre ancienne des intempéries.

Construction

Contrairement aux anciennes *contre-fenêtres* qui étaient démontables pour être rangées en été, ces nouvelles fenêtres sont montées et jointoyées de manière fixe. Ceci car on ne peut plus, aujourd'hui, attendre des usagers de décrocher et raccrocher les fenêtres chaque année, ceci sans parler du fait que leur poids rendrait cette opération assez difficile. Techniquement, tous les types de fenêtres peuvent être utilisés comme nouvelles *contre-fenêtres*, même si, d'un point de vue architectural, le choix de certains types est plus heureux que d'autres. Elle est posée en applique contre la battue formée par le décrochement de l'embrasure. S'il n'y a pas de décrochement, la pose se fait en tableau. Dans les deux cas à une distance de 5 à 15 cm de la fenêtre intérieure. A l'instar de la fenêtre d'hiver ancienne (voir chapitre III), la différence principale avec une fenêtre posée en applique à l'intérieur est le fait que la traverse inférieure du dormant n'est pas équipée d'un renvoi d'eau.

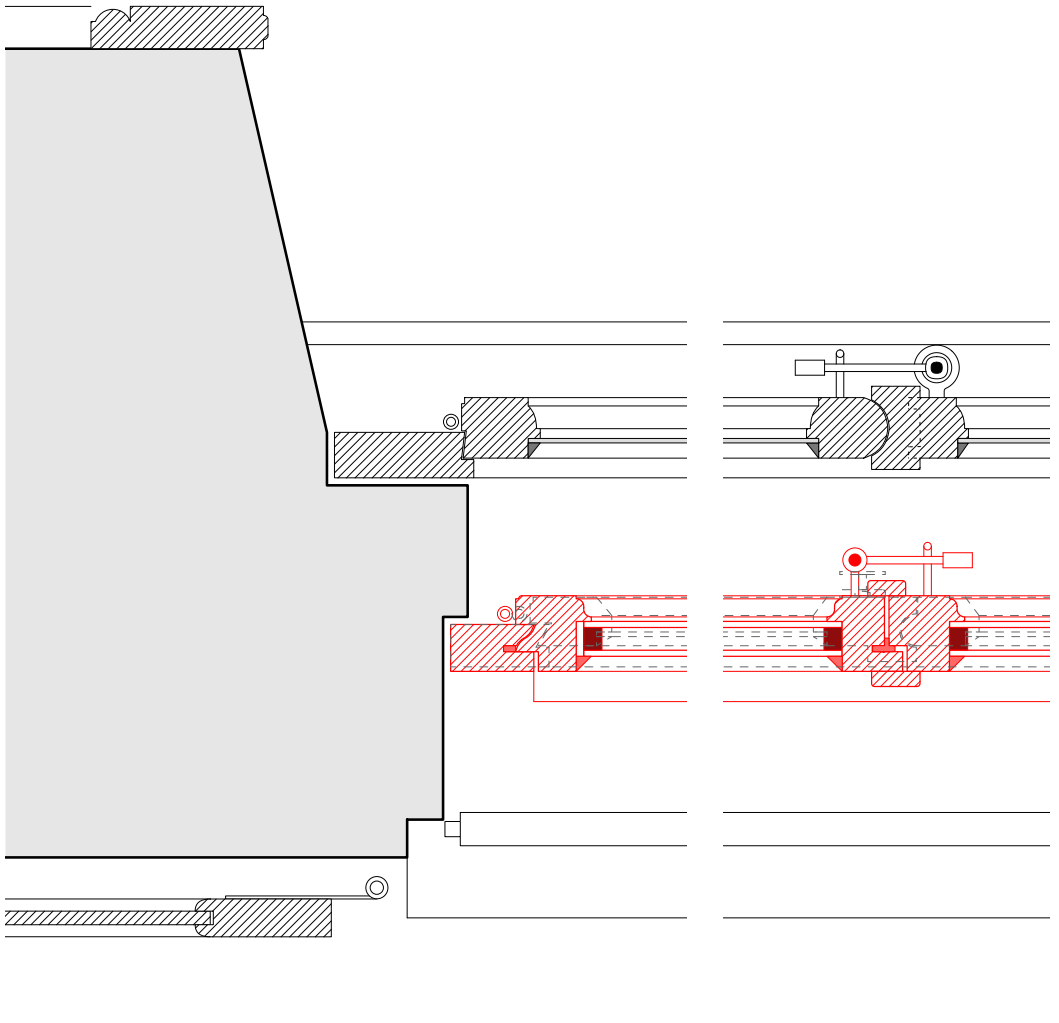
Expression architecturale

Le principal argument qui parle en faveur de l'installation d'une nouvelle *contre-fenêtre* est le fait que l'ancienne fenêtre fixe puisse être maintenue, même si son état de conservation n'est pas très bon. De l'intérieur, cela permet, sans grands frais, de conserver la cohérence des matériaux et des finitions, très caractéristique des logements bourgeois du tournant du XIX^e siècle. De l'extérieur, c'est la nouvelle fenêtre qui déterminera l'aspect de la façade. Les cadres dormants seront systématiquement visibles et le rapport

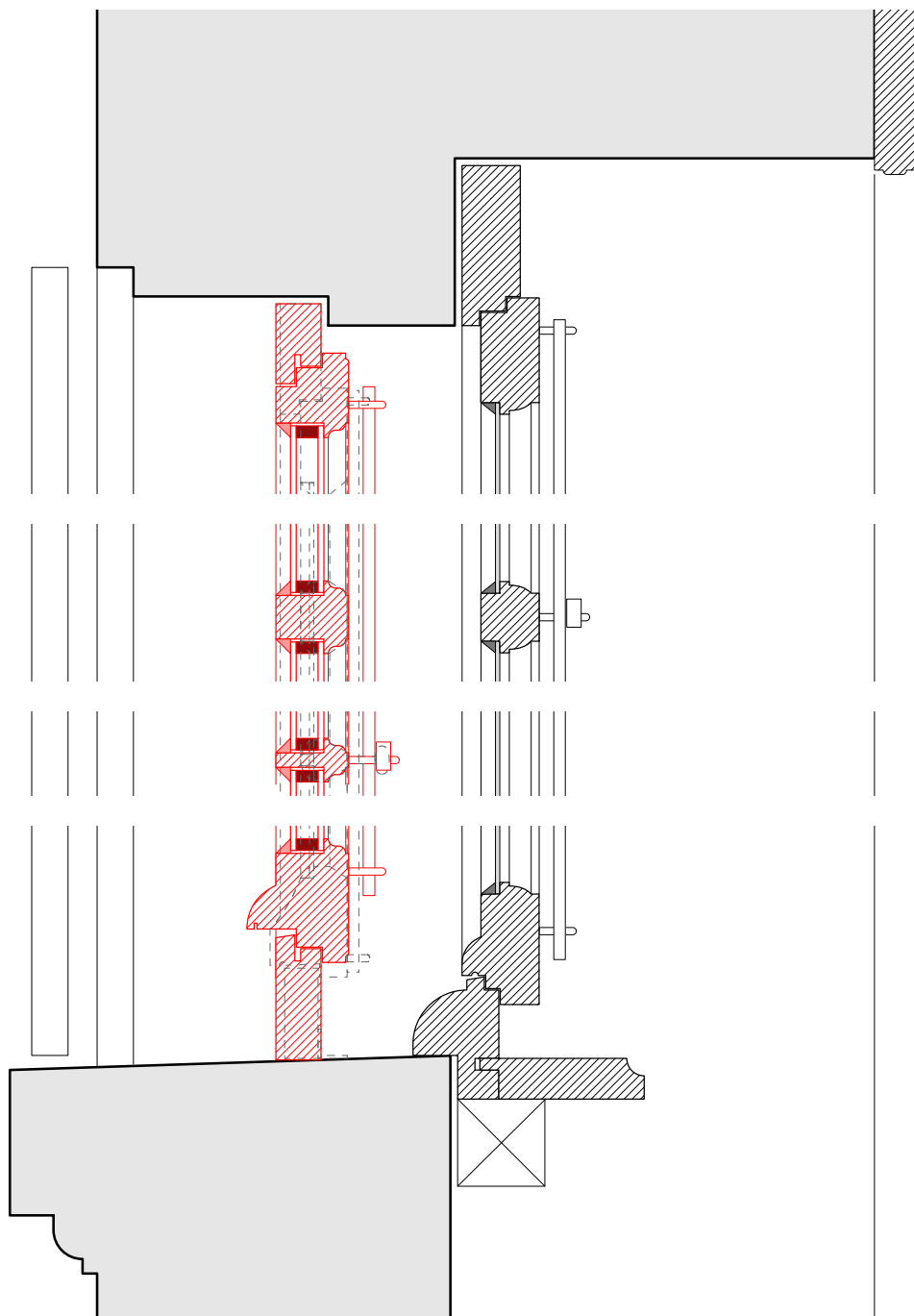
Détail de la nouvelle fenêtre
extérieure inspiré par les fenêtres
développées par l'entreprise
Dessaux à St-Prex.
Hypothèse d'intervention
appliquée à la fenêtre de l'avenue
d'Echallens 83 à Lausanne.
Echelle 1:33

DÉTAIL

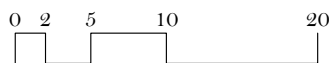
DOUBLAGE PAR UNE NOUVELLE CONTRE-FENÊTRE A L'ANCIENNE



Type: Dessaux & Cie, St-Prex - Reno & Antik
Coupe horizontale. Echelle 1:5.

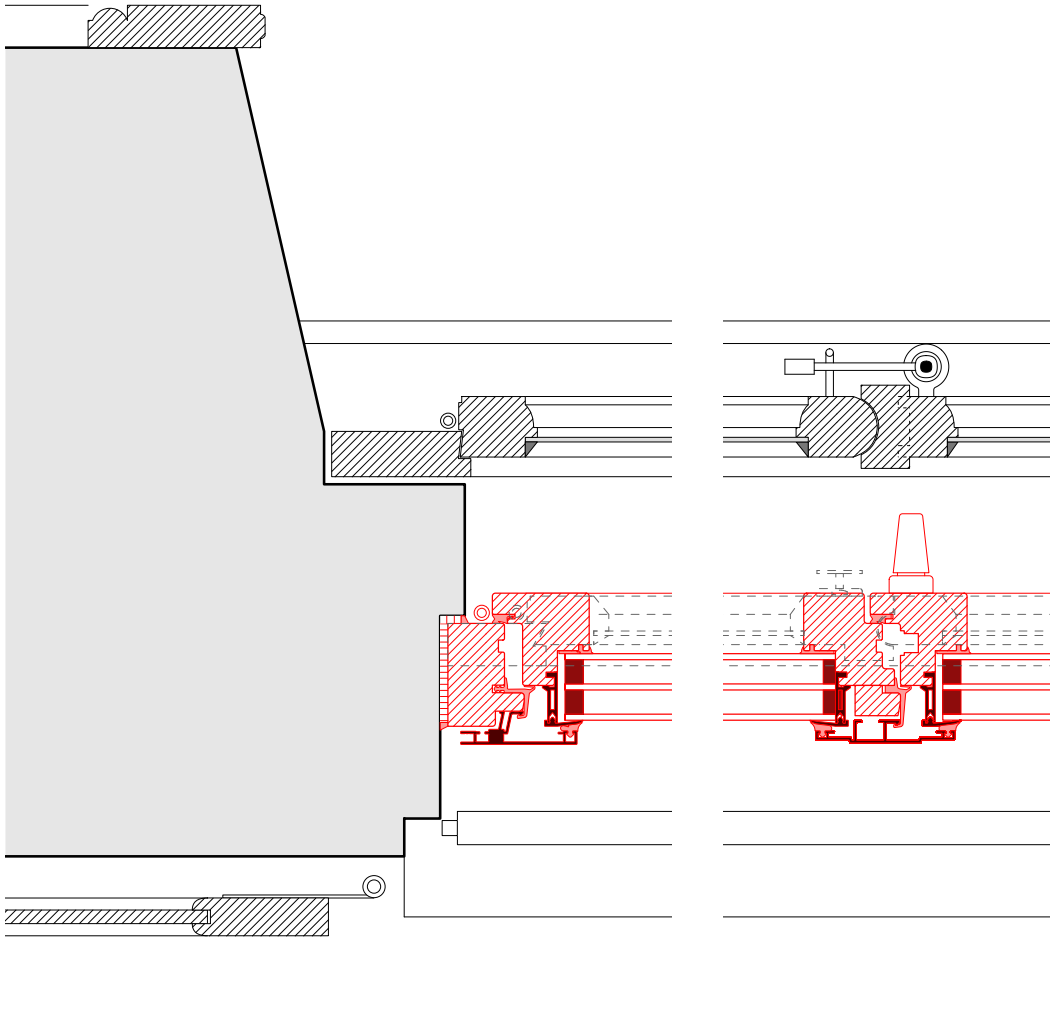


Coupe verticale. Echelle 1:5.

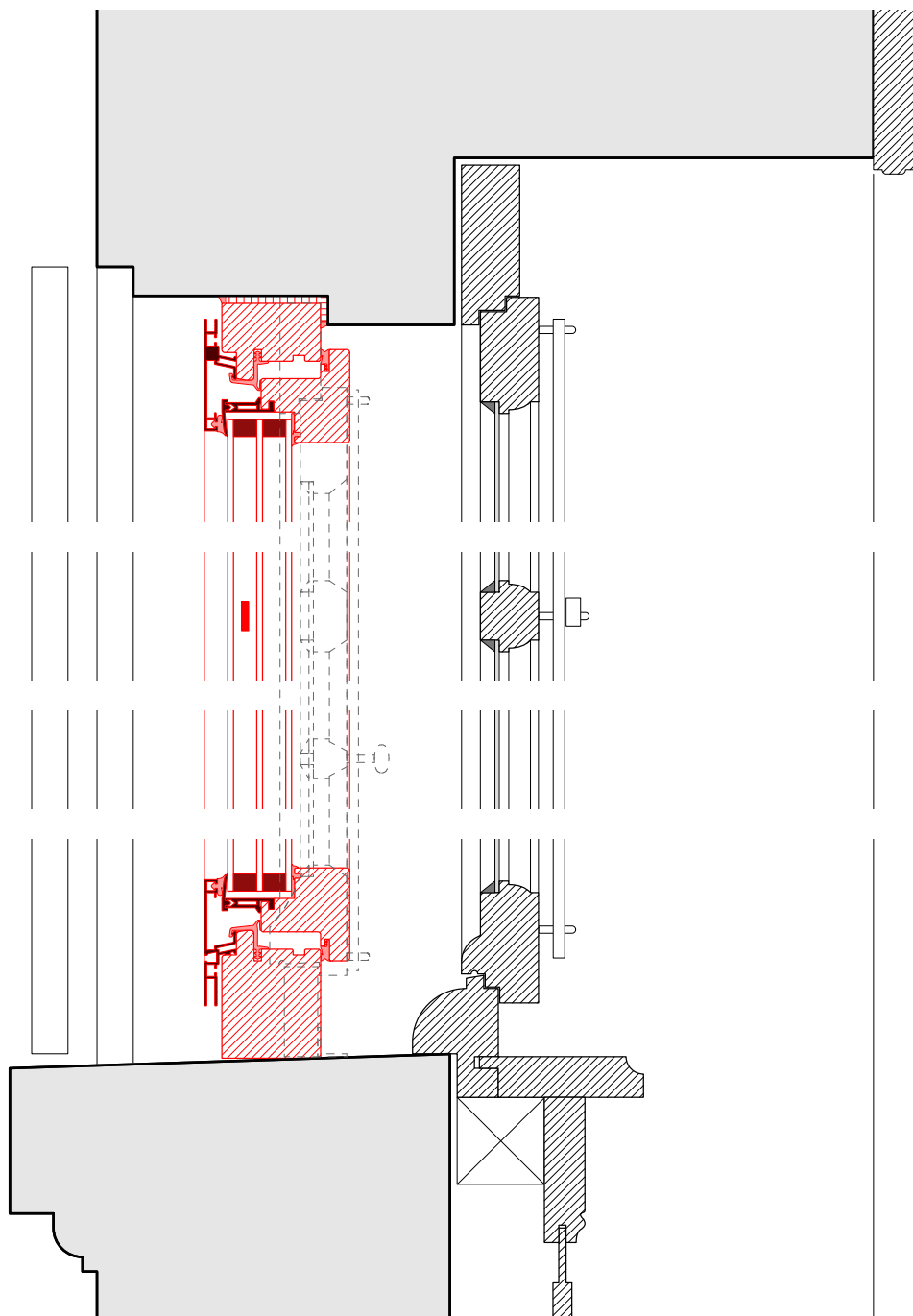


DÉTAIL

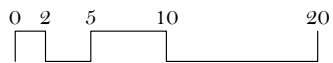
DOUBLAGE PAR UNE NOUVELLE CONTRE-FENÊTRE EN BOIS-MÉTAL



Type: EgoKiefer - Bois/alu XL
Coupe horizontale. Echelle 1:5



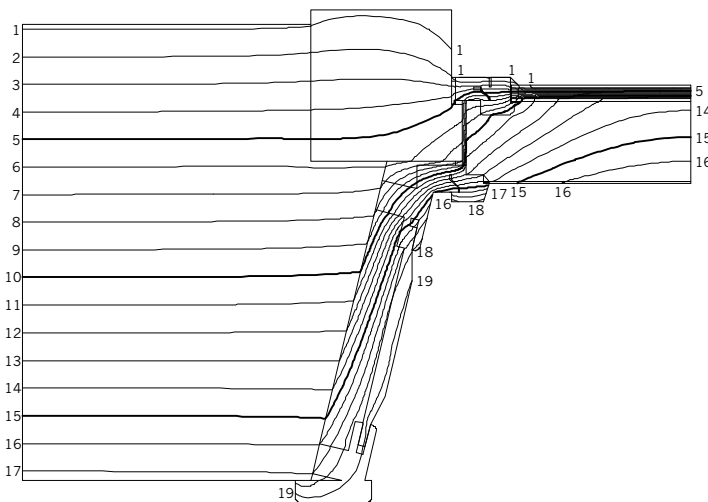
Coupe verticale. Echelle 1:5





Fenêtre avec contre-fenêtre en PVC.
Avenue du Léman 14, Lausanne

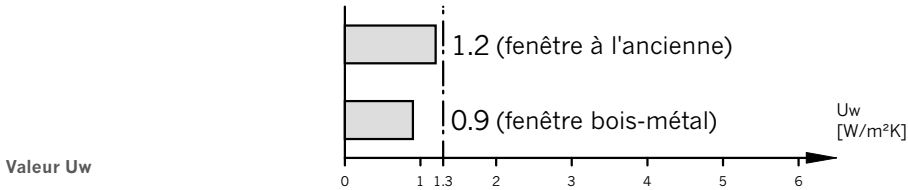
entre menuiserie et vitrage dépendra du type de fenêtre. Pour l'étude, nous avons mené une analyse graphique de deux variantes. Le premier exemple prévoit une nouvelle *contre-fenêtre* avec des profilés en bois-aluminium de Ego Kiefer. Ce système a été choisi car les largeurs visibles des menuiseries sont réduites et s'approchent de celles des *contre-fenêtres* anciennes, soit environ 10 cm. Dans les parties latérales et supérieures, on peut constater que seul le cadre dormant est visible, les ouvrants étant cachés



Détail d'embrasure avec courbes isothermes.
Echelle 1:10

par les profilés en aluminium.

La deuxième variante analysée est une *fenêtre à l'ancienne* telle que présentée au chapitre précédent. Elle permet aussi de retrouver des rapports bois / verre similaires aux fenêtres anciennes tout en restant plus légère que la variante précédente, s'approchant de l'aspect original de la façade.



Energie

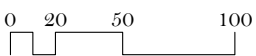
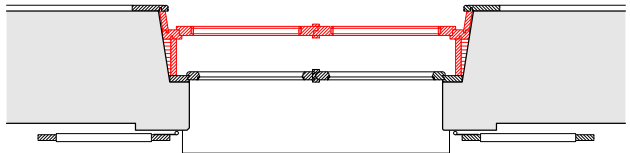
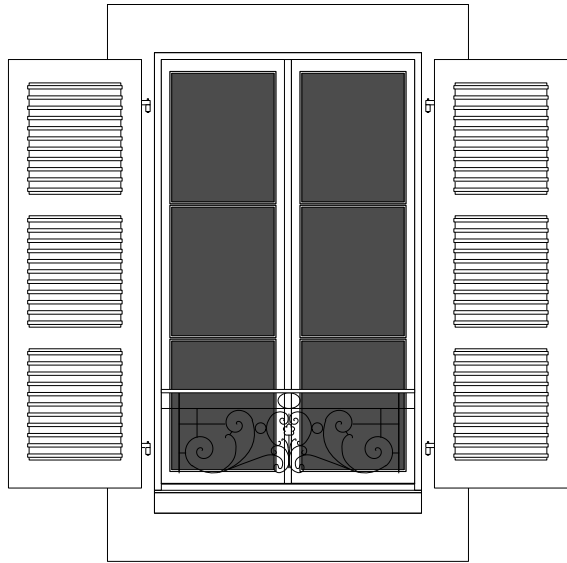
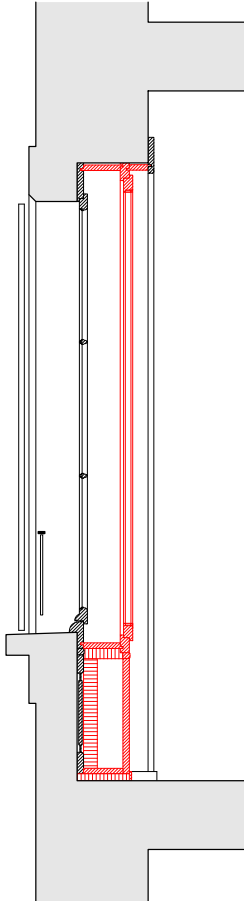
Du point de vue énergétique, le maintien de la fenêtre existante a aussi des avantages car il améliore l'isolation thermique d'au moins 20%. Ainsi avec une contre-fenêtre neuve, équipée d'un double vitrage isolant, on peut atteindre des valeurs U_w de $1.2 W/m^2K$. Avec une contre-fenêtre à triple vitrage cette valeur descend à $0.9 W/m^2K$.

Toutefois, le point problématique de cette solution est la discontinuité du plan d'isolation dans l'embrasure de l'encadrement. Les calculs montrent qu'à la jonction entre l'encadrement et le dormant de la *contre-fenêtre*, les risques de condensation sont importants. Pour éviter cela, il est important de permettre un échange d'air depuis l'espace entre les fenêtres vers l'extérieur tout en limitant l'échange avec l'intérieur. Ceci peut être contrôlé par l'aménagement de passages dans l'étanchéité de la fenêtre neuve et la pose de joints sur la fenêtre existante.

Perspectives

Bien que peu appliquée, la solution de la nouvelle *contre-fenêtre* est une option intéressante qui permet de concilier des exigences énergétiques, patrimoniales et architecturales, à condition que l'on accepte un changement de l'aspect extérieur du bâtiment. Elle offre néanmoins la possibilité de revenir en arrière sans trop de difficultés dans quelques années, et de faire réapparaître les fenêtres anciennes lorsque les avancées technologiques le permettront. En attendant, ces dernières sont protégées d'un vieillissement prématuré derrière les nouvelles *contre-fenêtres*.

VI. DOUBLAGE DE FENÊTRES



TRANSFORMATION EN FENÊTRE À CAISSON

Une autre manière de doubler la fenêtre originale consiste à la transformer en une *fenêtre à caisson*. Cette variante permet de conserver la fenêtre, tout en apportant une amélioration énergétique substantielle.

Construction

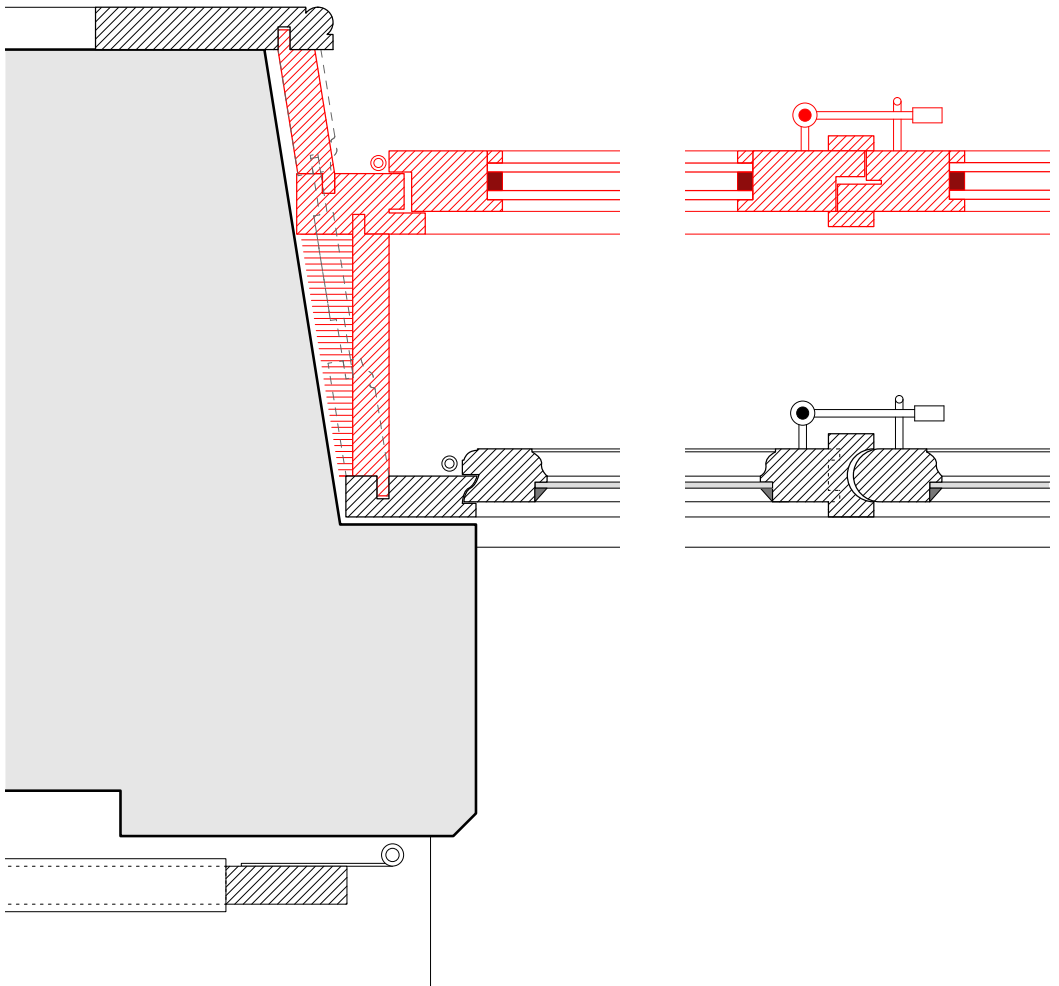
Pour modifier la fenêtre ancienne en *fenêtre à caisson*, il est indispensable que la dimension de l'ancien cadre permette d'y fixer une deuxième fenêtre. Le principe de transformation consiste alors à préparer l'ancienne fenêtre pour pouvoir recevoir le cadre de liaison, puis la nouvelle fenêtre. Cette dernière sera équipée d'un verre isolant et de joints d'étanchéité à l'air. La nouvelle fenêtre n'étant pas soumise à la pluie, son exécution peut être plus simple qu'une fenêtre standard, c'est-à-dire que le renvoi d'eau n'est pas nécessaire et les feuillures peuvent être simplifiées par rapport aux feuillures standards munies de chambres pour récolter l'eau. Comme pour la *fenêtre à caisson* ancienne, le vide de passage du dormant intérieur doit être suffisamment large pour permettre l'ouverture complète de la fenêtre extérieure.

Dans cette configuration, la fenêtre extérieure seule est alors soumise aux contraintes climatiques et doit empêcher la pénétration de l'eau de pluie, c'est pourquoi sa peinture, ses mastiques à vitres ainsi que ses renvois d'eau doivent être contrôlés et, si nécessaire, rénovés. L'étanchéité à l'air de l'ancienne fenêtre ne doit pas être améliorée afin d'assurer un échange d'humidité.

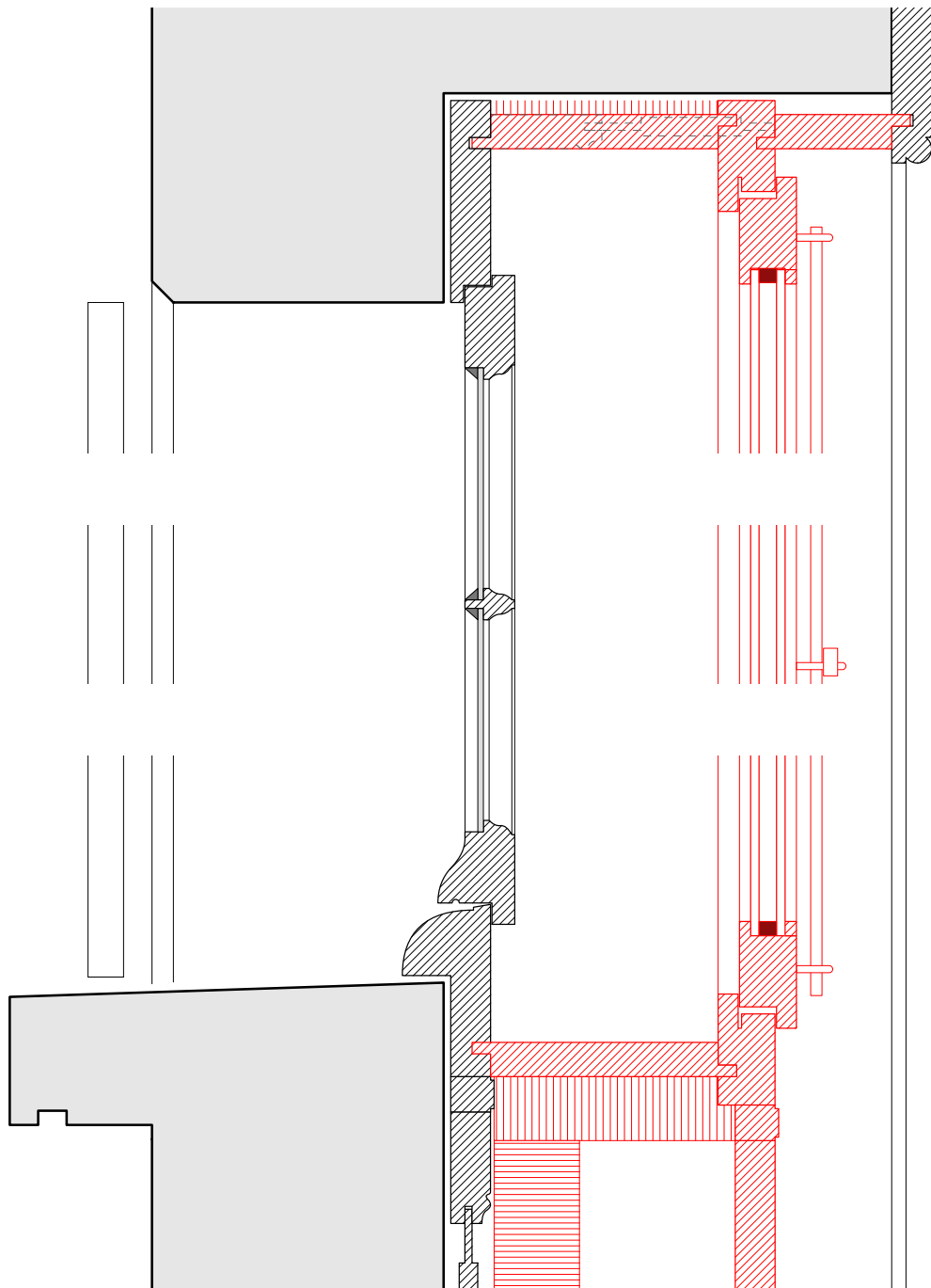
Cette opération de transformation nécessite aussi des interventions sur d'éventuelles boiseries dans la niche de la fenêtre ou le déplacement de radiateurs qui seraient placés devant le contrecœur. On peut alors profiter de ces travaux pour poser une isolation thermique derrière les nouveaux doublages.

DÉTAIL

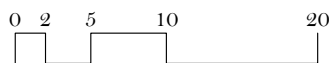
TRANSFORMATION EN FENÊTRE À CAISSON



Type: Bureau d'architectes Frei & Stefani
Coupe horizontale. Echelle 1:5

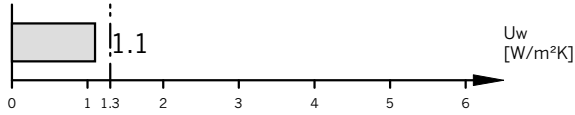


Coupe verticale. Echelle 1:5



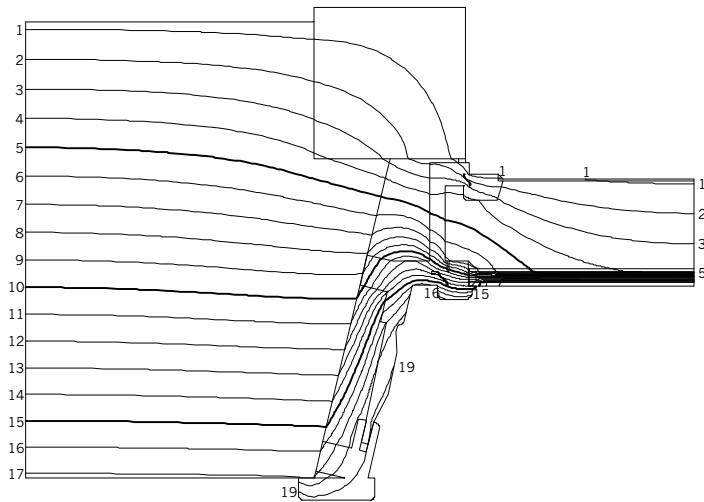
Energie

La transformation en fenêtre à caisson est également une solution très intéressante quant à ses propriétés thermiques. En effet, le nouvel ensemble permet de bien isoler les embrasures et de déplacer la limite chaud-froid vers l'intérieur. Il devient alors facile de combiner ces interventions avec une isolation globale de l'immeuble par l'intérieur.



Valeur Uw

Les calculs thermiques montrent que les valeurs U_w de $1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ peuvent être atteintes, ce qui présente un gain d'environ 30% par rapport à la fenêtre simple standard. Toutefois, il faut être conscient que la température dans l'espace entre les deux fenêtres sera proche de la température extérieure et peut donc descendre très bas. Pour y maintenir l'équilibre hygrométrique, il est toujours important de placer l'étanchéité à l'air sur la fenêtre intérieure, ce qui est facile à réaliser sur la nouvelle fenêtre et évite une modification de l'ancienne.



Détail d'embrasure avec courbes isothermes.
Echelle 1:10

Expression architecturale

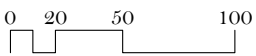
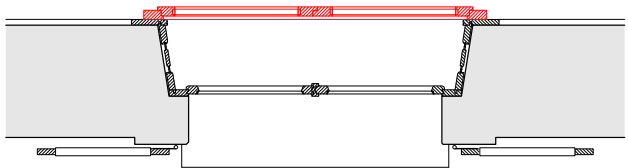
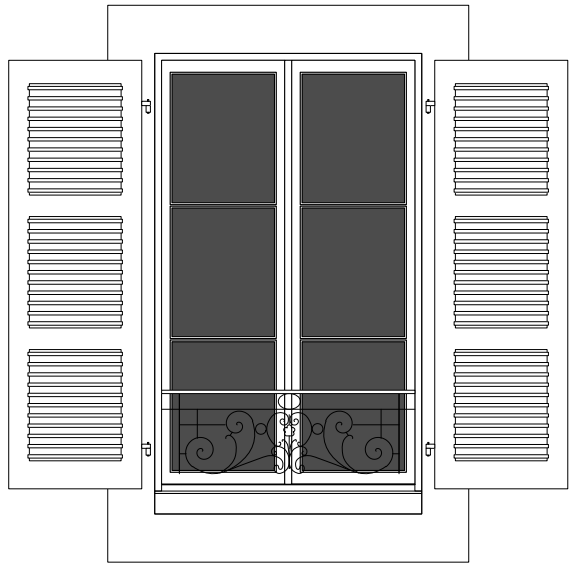
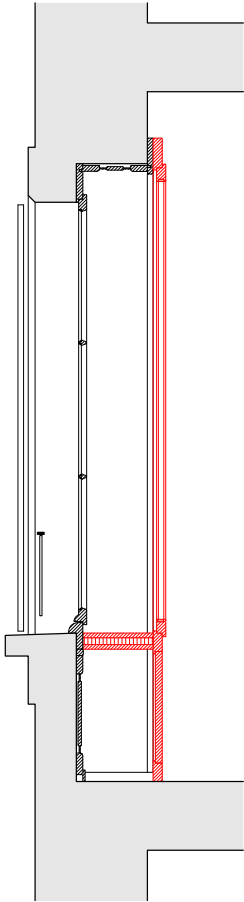
Ce type d'assainissement, par le fait que la fenêtre originale est visible à l'extérieur, permet de conserver l'aspect et la matérialité de la façade. La nouvelle fenêtre est très peu visible en deuxième plan à l'intérieur. Depuis dedans, l'ajout de la couche vitrée modifie quelque peu l'aspect et génère une niche de fenêtre qui offre plusieurs possibilités d'utilisations et d'ouvertures. Le dessin de la nouvelle menuiserie devrait aussi s'inspirer du caractère typique des logements anciens, pour retrouver un nouvel équilibre spatial.

Cette solution a aussi l'avantage de ne pas modifier l'apport de lumière naturelle du fait que l'ajout de la couche supplémentaire ne diminue pas la surface vitrée.

Perspectives

Dans l'ensemble, on doit constater que la transformation d'une fenêtre simple en fenêtre à caisson est une solution avec laquelle les exigences d'économie d'énergie et de conservation sont aisément conciliables. Il est donc étonnant qu'elle ne trouve pas plus d'applications en Suisse romande ; dans tous les cas, elle mérite d'être mieux connue.

VI. DOUBLAGE DE FENÊTRES



DOUBLAGE PAR L'INTÉRIEUR

La dernière variante de doublage de la fenêtre existante traitée dans cette étude consiste à poser une nouvelle fenêtre, de manière indépendante, du côté intérieur de la fenêtre existante. Cette façon de faire préserve, comme la variante précédente, l'apparence extérieure du bâtiment tout en ayant un impact encore plus important sur la spatialité sur logement.

Dans le cas représenté, le principe consiste à installer la nouvelle fenêtre en applique sur le faux cadre de la niche, contre la face intérieure du mur de façade. Ainsi la fenêtre originale, tout comme l'essentiel des boiseries peuvent être préservés. La conséquence majeure de ce type d'assainissement réside dans la modification du statut de la niche. En effet, l'ajout d'une fermeture, la transforme en un espace tampon entre le dedans et le dehors. Par sa profondeur, qui peut atteindre jusqu'à 50 cm, cet espace devient un élément propice à des usages divers. Si la nouvelle fenêtre reprend la hauteur de la fenêtre existante et si une tablette intérieure relie les deux fenêtres, on obtient, dans la partie inférieure, une petite armoire murale et entre les deux fenêtres un espace tempéré et baigné de lumière dans lequel on peut imaginer poser des plantes et d'autres objets ou simplement changer sa nature en utilisant les divers possibilités d'ouverture des fenêtres. On peut aussi envisager que la nouvelle fenêtre soit plutôt exécutée comme une porte fenêtre, c'est-à-dire s'ouvrant jusqu'au sol et entièrement transparente. Dans ce cas, la niche reste accessible et on peut imaginer que la fenêtre intérieure reste ouverte durant l'entre-saison.

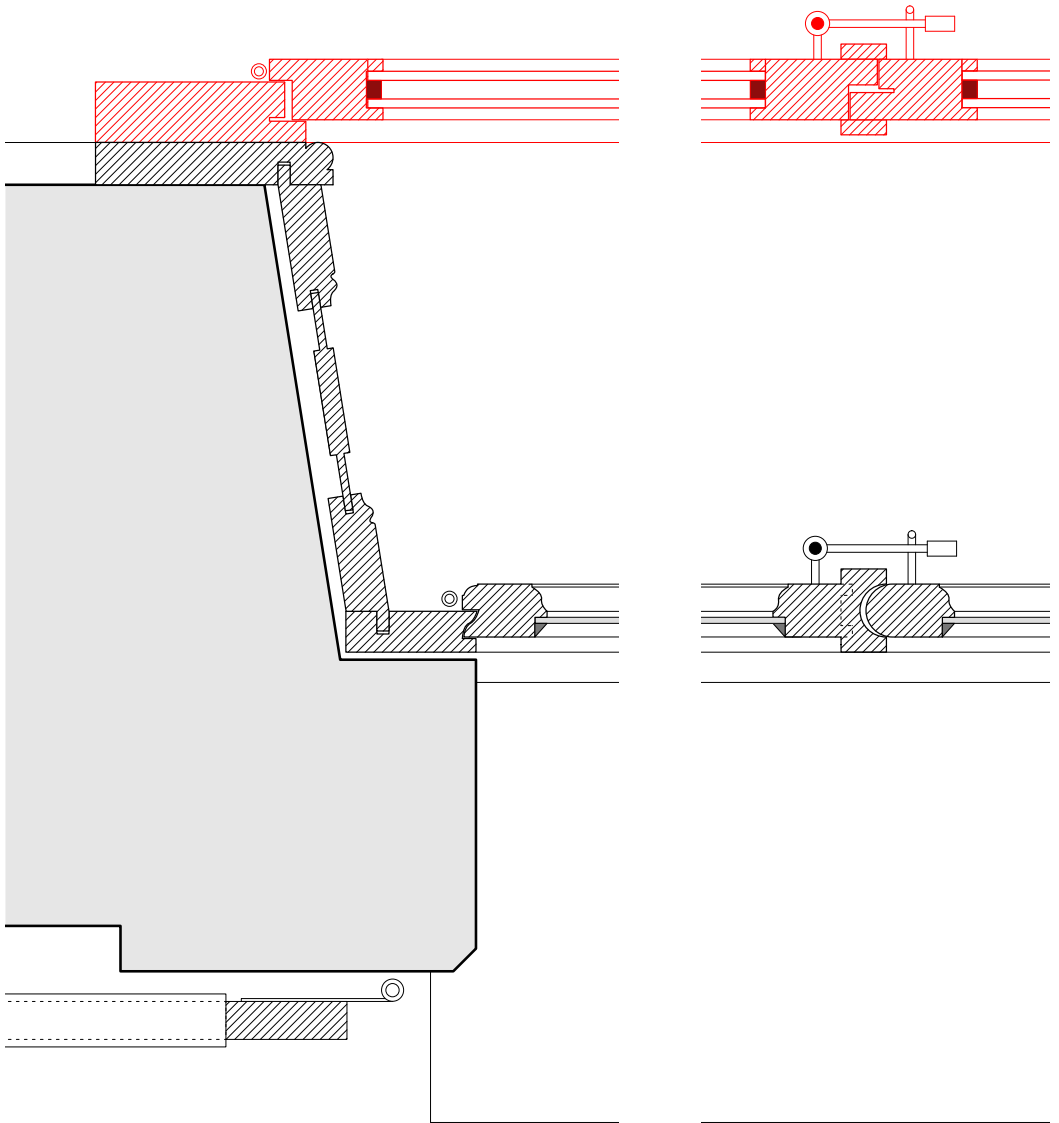
Construction

D'un point de vue constructif, les principes de la fenêtre à caisson s'appliquent par analogie pour le doublage intérieur. Ainsi la fenêtre intérieure assure l'étanchéité à l'air et l'isolation thermique tandis que la fenêtre extérieure retient l'eau des intempéries. C'est pourquoi on doit normalement prévoir une intervention sur la fenêtre ancienne afin de garantir son

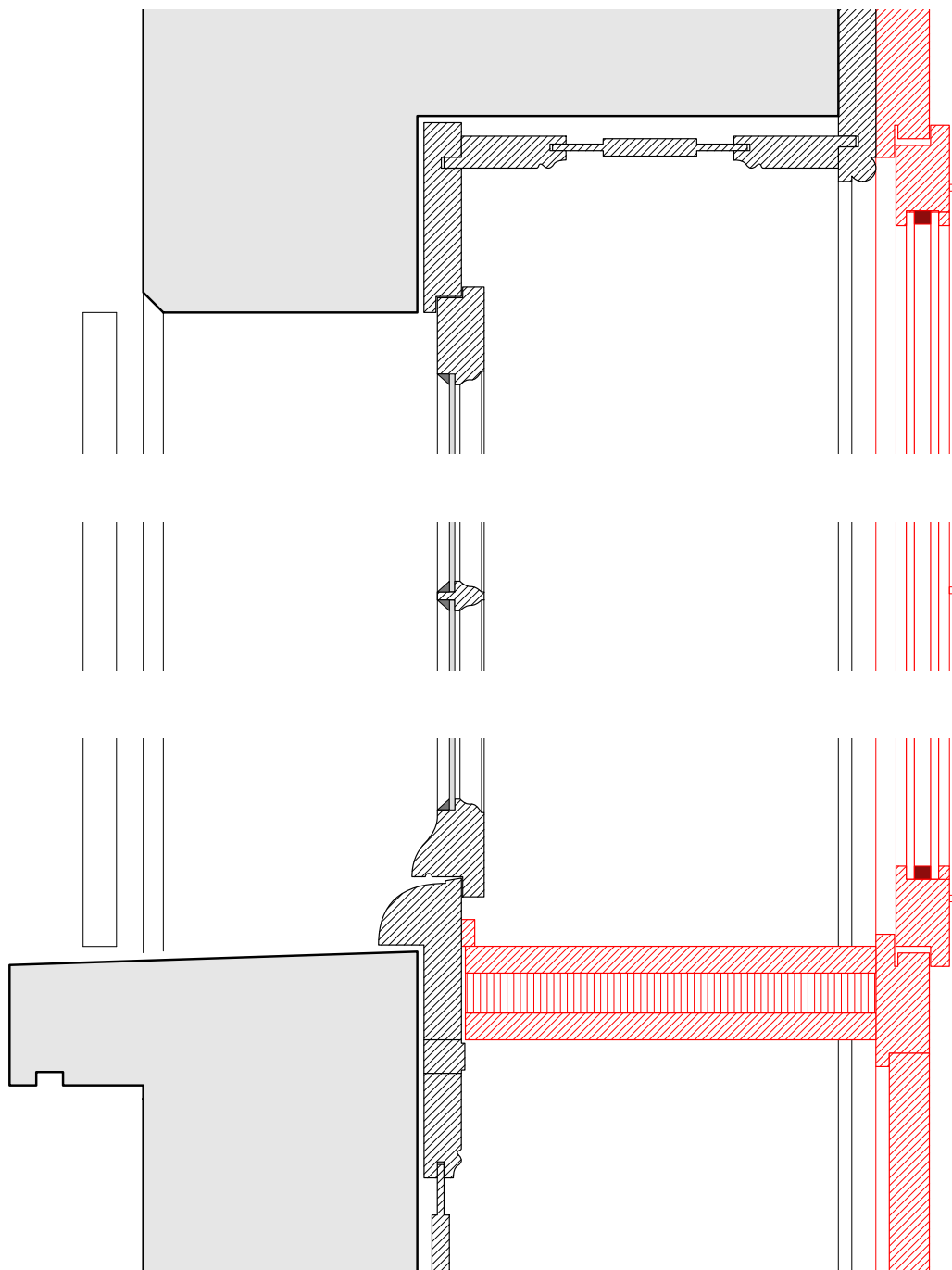
Détail de la nouvelle fenêtre intérieure inspiré par les fenêtres développées par le bureau d'architectes Frei & Stefani. Hypothèse d'intervention appliquée à la fenêtre de la rue de la Gabelle 20 à Genève. Echelle 1:33

DÉTAIL

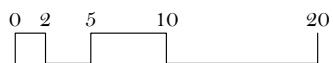
DOUBLAGE PAR UNE NOUVELLE FENÊTRE À L'INTÉRIEUR



Type: Bureau d'architectes Frei & Stefani
Coupe horizontale. Echelle 1:5



Coupe verticale. Echelle 1:5



étanchéité à la pluie et à la neige. En contrepartie, la nouvelle fenêtre peut être de construction plus simple que les fenêtres standard usuelles.

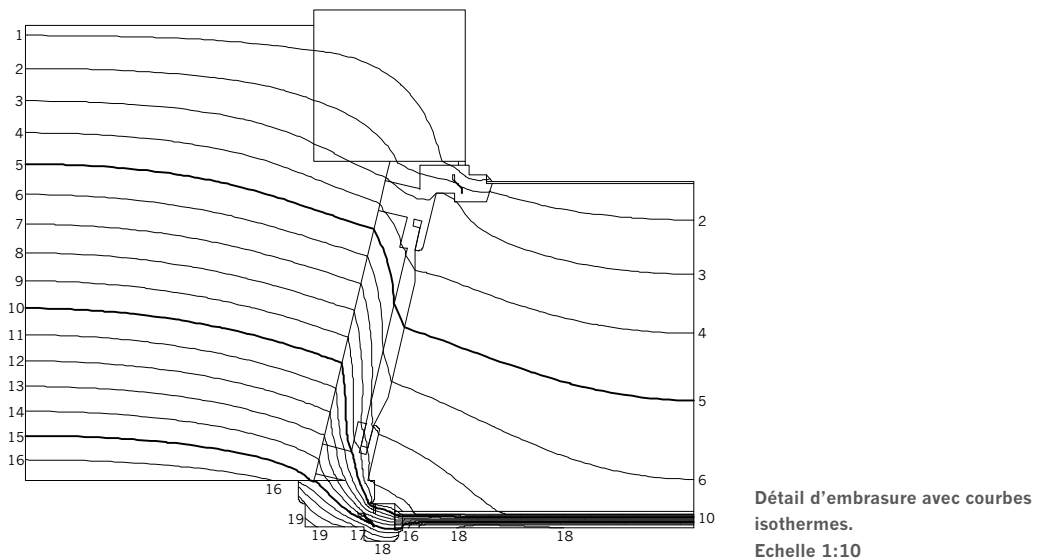
Une difficulté technique qui peut survenir est liée à l'emplacement d'éventuels radiateurs sous la fenêtre. S'ils existent, ils doivent être démontés et trouver une place ailleurs, par exemple en retrait, dans la niche sous la nouvelle fenêtre.

Expression architecturale

Comme dans le cas de la transformation en fenêtre à caisson, ce type d'assainissement permet de conserver l'aspect de la façade. La nouvelle fenêtre est encore moins visible du fait qu'elle est plus éloignée derrière la fenêtre ancienne. Dans les pièces, l'ajout de la nouvelle fenêtre peut prendre l'allure d'une façade intérieure car elle est appliquée au nu du mur. Ceci donne aux chambres une nouvelle spatialité qui met aussi en évidence l'épaisseur des murs en moellons.

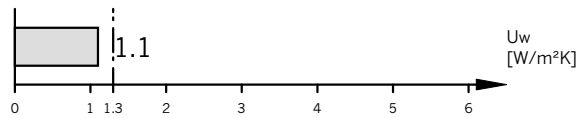
Energie

Les performances d'isolation thermique de cette nouvelle double fenêtre sont, avec une valeur U_w de 1.1 W/mK, similaires aux performances du cas précédent. Ceci n'est pas une surprise car les normes considèrent que l'épaisseur de la lame d'air n'a pas beaucoup d'influence sur leur pouvoir isolant (ISO 6946, 2007). L'analyse des isothermes met en évidence que cette méthode d'assainissement déplace la limite chaud-froid au nu intérieur du



mur de façade. De ce fait, le doublage de la fenêtre par une fenêtre intérieure peut se combiner sans problèmes avec une isolation générale des murs par l'intérieur. En contrepartie, les espaces à l'extérieur du plan d'isolation devront subir des températures parfois très basses et devront être très bien ventilés pour éviter des problèmes de condensation et de moisissure.

Valeur U_w

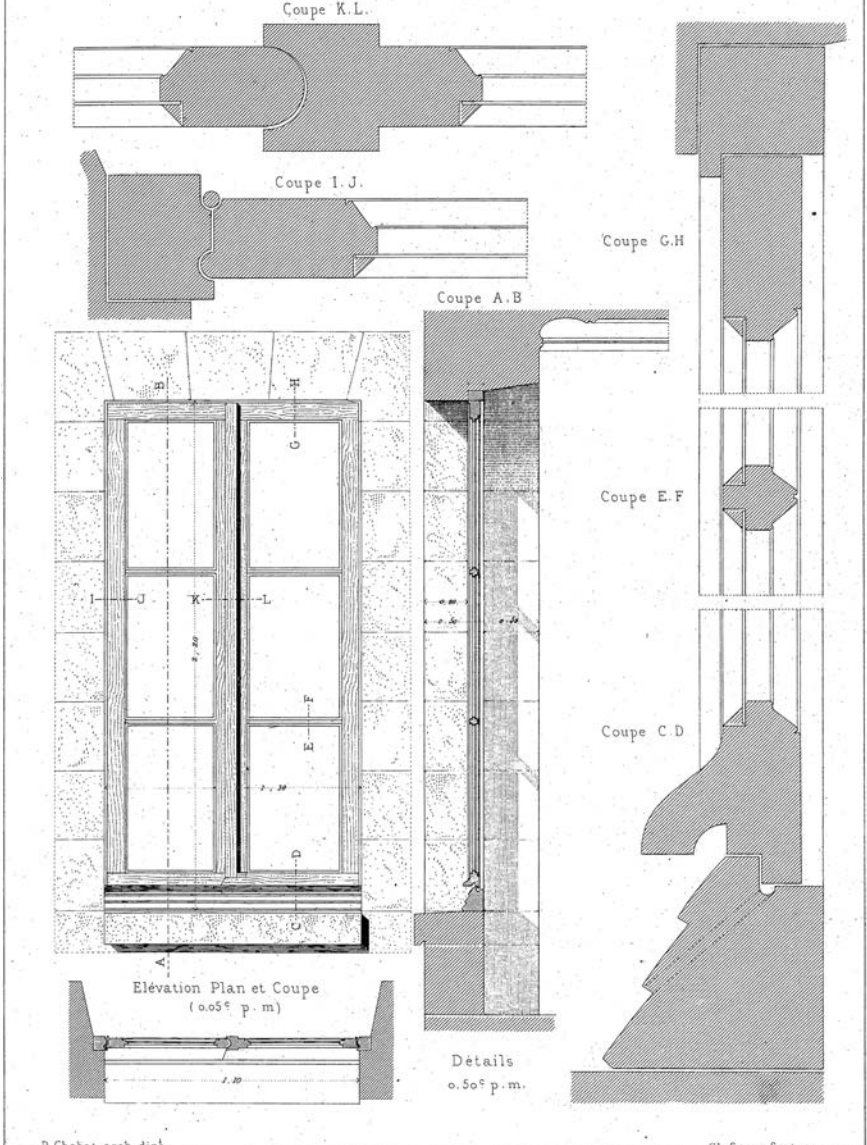


Perspectives

Bien que le doublement à l'intérieur induise des modifications spatiales importantes, il nous semble constituer une option intéressante, surtout en combinaison avec une isolation des murs par l'intérieur. Pour limiter l'emprise des nouvelles fenêtres dans les pièces, on peut aussi imaginer d'employer des fenêtres coulissantes qui disparaîtraient derrière un doublage pendant l'été pour réapparaître au début de la période de chauffe.



Vue intérieure d'une fenêtre doublée à l'intérieure.
Rond-Point de Plainpalais 4
(source: Frei & Stefani, architectes)



VII. CONCLUSIONS

Par la mise en parallèle de la construction des fenêtres anciennes, de leurs méthodes de transformation et des fenêtres de construction contemporaine dans le contexte des bâtiments du tournant du XIX^e siècle, cette étude a permis de démontrer que l'assainissement des fenêtres ne se limite pas uniquement à la question de l'économie d'énergie ou de l'amélioration de l'isolation acoustique, mais soulève aussi d'autres interrogations relatives à:

- l'intégration de produits contemporains dans une façade ancienne décorée;
- la cohabitation de matériaux anciens et nobles avec des matières synthétiques modernes;
- le remplacement de menuiseries finement travaillées par des produits fabriqués en masse et conçus pour une large gamme d'applications;
- la "mise à la benne" d'éléments en bon état de conservation et de qualité pour des raisons normatives sans égard à leur valeur;
- le devenir des fenêtres neuves lorsque la technologie des vitrages aura évolué et que le marché pourra proposer des verres isolants minces et légers.

Avec la comparaison de diverses stratégies d'intervention, il est aussi apparu que, dans le domaine de l'assainissement des fenêtres, deux mondes de production se rencontrent. D'un côté, il y a les menuisiers artisanaux qui savent réparer et transformer des fenêtres existantes moyennant un travail manuel soigné. De l'autre côté, les grandes entreprises qui fabriquent leurs produits en quantités importantes en usine et peuvent proposer des fenêtres standards de qualité à bas prix. Normalement, les premiers travaillent plutôt dans le domaine de la restauration pour des bâtiments protégés alors que les deuxièmes opèrent dans la construction neuve ou dans la rénovation des bâtiments d'après-guerre.

Dans le cas des bâtiments anciens souvent pas protégés, ces deux mondes sont mis en concurrence et aucun des deux ne peut satisfaire entièrement les exigences liées à ce type d'ouvrages ; les premiers proposent des solutions respectueuses du patrimoine mais onéreuses, les deuxièmes des produits économiquement intéressants mais peu adaptés aux bâtiments.

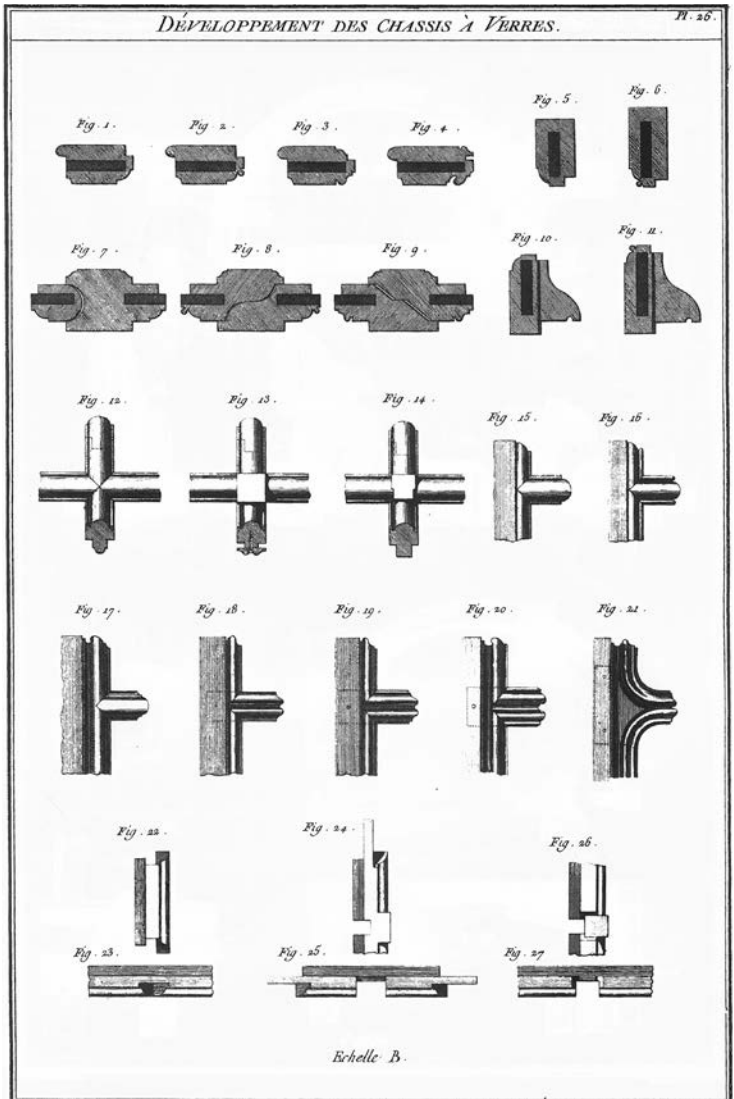
Par un manque de sensibilité, un souci de rentabilité, une méconnaissance de solutions alternatives ou par des exigences excessives des services de l'énergie, ce sont souvent les fabricants de fenêtres qui l'emportent et les fenêtres anciennes sont d'office remplacées par des fenêtres neuves de conception "standard". Ceci sans évaluer d'autres approches, telles que la rénovation ou le doublement des fenêtres existantes.

Dans ce contexte, on peut se demander s'il n'existe pas un marché à développer pour des fenêtres industrielles qui seraient adaptées aux bâtiments anciens. Pour cela, il faudrait que les propriétaires et architectes prennent conscience des enjeux et créent une demande pour ce type de produits. De la part des entreprises, cela demande aussi la volonté de prendre des initiatives pour utiliser leur savoir-faire au profit de produits nouveaux adaptés à ce type de bâtiment.

Bien que cette étude se concentre uniquement sur la problématique de la mise à niveau des fenêtres, il est important de relever que la problématique de l'assainissement des bâtiments d'habitation du tournant du XIX^e siècle comporte également d'autres enjeux qui ont peut-être moins d'impact sur l'aspect extérieur du bâtiment, mais qui sont tout aussi complexes et sensibles que la question des fenêtres. Si nous voulons préserver ce patrimoine diffus et moins reconnu de la disparition, il est important de réapprendre à connaître les anciennes méthodes constructives et de trouver des stratégies d'assainissement qui permettent d'atteindre les exigences normatives d'aujourd'hui tout en préservant les qualités intrinsèques de ces bâtiments.

DÉVELOPPEMENT DES CHASSIS À VERRES.

Pl. 26.



VIII. BIBLIOGRAPHIE

La bibliographie présentée est divisée en trois parties. La première, "Manuels sur la construction et la menuiserie ancienne", rassemble des ouvrages de référence sur la construction ou sur l'art de travailler le bois dans le domaine de la menuiserie publiés, pour la plupart, entre la fin du XVIII^e siècle et le début du XX^e siècle. Les deux dernières publications citées sont des livres plus récents comprenant des relevés et des descriptions de fenêtres d'époque. La deuxième partie, "Documentation cantonale sur la rénovation des fenêtres", comprend quelques publications sur cette thématique éditées par différents services cantonaux suisses de conservation du patrimoine. La troisième partie, "Bibliographie générale", comprend des livres mentionnés dans le texte sur la rénovation en général ou sur la rénovation de fenêtres de cette époque. Les ouvrages sont listés par ordre chronologique selon la date de publication originale.

MANUELS SUR LA CONSTRUCTION ET LA MENUISERIE ANCIENNE

ROUBO, Jacques-André ([1769-1770] 1984). *L'art du menuisier: Menuiserie d'assemblage mobile et dormante*. Genève: Slatkine Reprints (réimpression).

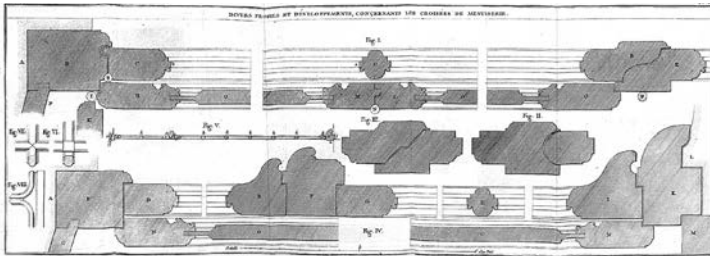
Traité exhaustif de menuiserie d'assemblage pour le logement datant de la fin du XVIII^e siècle rédigé par le menuisier Jacques-André Roubo. Comprend des descriptions et des dessins détaillés de menuiserie dormante (lambris, chambranles, cloisons, parquets, etc.) et mobile (portes, fenêtres, etc.). Plusieurs solutions pour résoudre le même détail sont présentées et comparées de façon critique. Les dimensions principales figurent dans le texte et les dessins sont à l'échelle (indiquée en pieds).

Développement des châssis à
verres (Roubo, [1769-1770] 1984:
Pl. 26)

LE VIRLOYS, Roland (1770-1771). *Dictionnaire d'architecture, civile, militaire et navale, antique, ancienne et moderne, et de tous les arts et métiers qui en dépendent*. Paris: Libraires associés.

BLONDEL, Jacques-François (1771-1777). *Cours d'architecture, ou Traité de la décoration, distribution & construction des bâtiments contenant les leçons données en 1750, & les années suivantes*. Paris: chez Desaint, libraire.

Ouvrage de l'architecte et enseignant français Jacques-François Blondel (1705-1774) destiné à l'usage des architectes et augmenté de six volumes de texte et 200 planches dessinées. La première partie porte sur la décoration des bâtiments (les ordres, les proportions, etc.), et la deuxième sur la distribution des bâtiments, surtout d'habitation. Celle-ci est aussi consacrée à la décoration intérieure des appartements (portes, croisées, cheminées, lambris, plafonds, vestibules). La troisième partie est dédiée à la construction, incluant parmi d'autres un chapitre sur la menuiserie et un autre sur la serrurerie. Cette dernière partie est plus axée sur le dimensionnement des éléments construits que la partie précédente mais toutes les deux sont accompagnées de dessins détaillés. Etant destiné aux architectes, cet ouvrage se concentre moins sur les particularités d'assemblage que sur les types d'utilisation des différentes fenêtres et leur décoration.



Divers profils et développements, concernant les croisées de menuiserie (Blondel, 1771-1777: Pl. III)

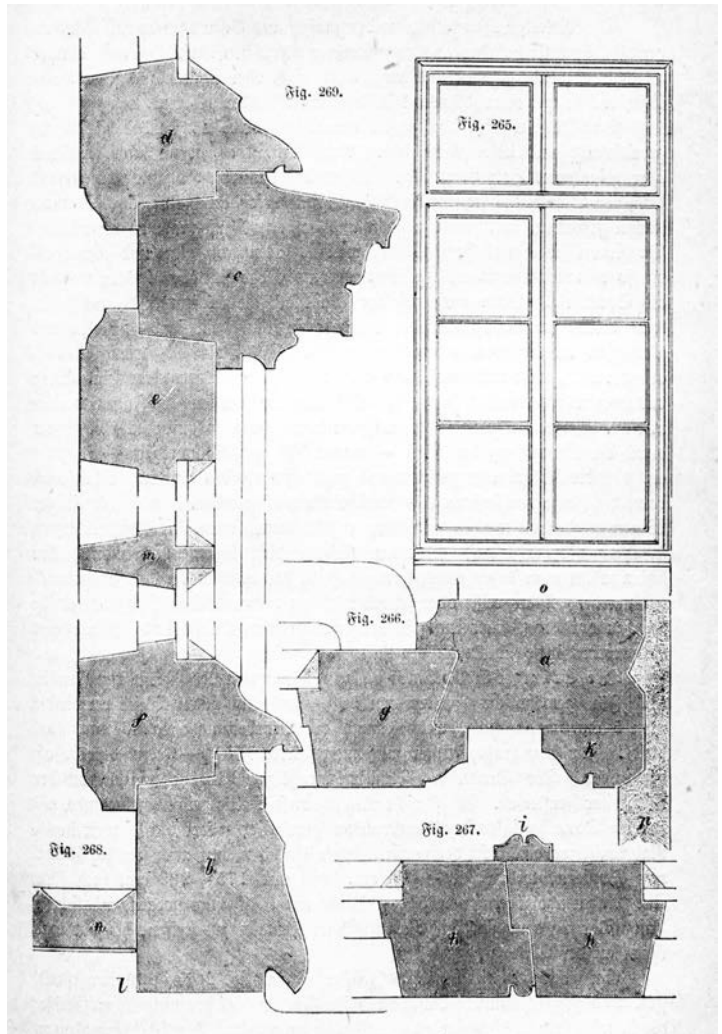
RONDELET, Jean (1802-1817). *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*. Paris: Chez l'auteur.

BURY, Jean Baptiste Marie (1825). *Modèles de Menuiserie: choisis parmi ce que Paris offre de plus nouveau, de plus remarquable et de meilleur goût*. Paris: Chez Bance aîné.

TEYSSÈDRE, A. Person de (1836). *Nouveau manuel du menuisier en bâtiments*. Paris: Mme Huzard.

CAILLAT, Victor et LANCE, Adolphe (Direction) (1851-1892). *Encyclopédie d'architecture: journal mensuel*. Paris: Bance, [puis] A. Morel.

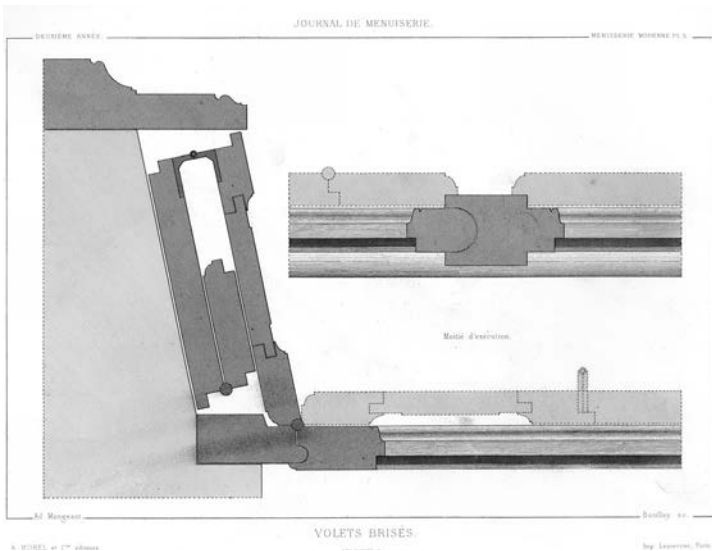
FINK, Franz (Editeur) ([1858] 1877). *Der Bautischler oder Bauschreiner und der Fein-Zimmermann: praktisches Hand- und Hilfsbuch für Bautischler, Zimmerleute, Architekten, Fabrikanten und Bauhandwerker, sowie für Bau- und Gewerbeschulen*. Berlin : Verlag von Ernst Toeche.



Ein einfaches Vierflügeliges Fenster [Une fenêtre simple à quatre vantaux]
(Fink, [1858] 1877: 199)

MANGEANT, Adolphe (Direction) (1863-1885). *Journal de menuiserie spécialement destiné aux architectes, aux menuisiers et aux entrepreneurs*. Paris: A. Morel et Cie.

Revue publiée annuellement dès 1863, dirigée par l'architecte Adolphe Mangeant. Son objectif était de montrer l'évolution de l'art de la menuiserie, comblant ainsi les lacunes des anciens manuels existants. Chaque volume présente une section avec des planches comprenant des dessins d'éléments de menuiserie très variés, tels que par exemple: bancs d'église, lambris, portes, fenêtres, placards, boutiques, tables, parquets, etc. et une section de texte où les dessins sont décrits de façon générale. Les exemples de fenêtres présentent souvent des dessins généraux et quelques détails d'assemblage, à l'échelle.

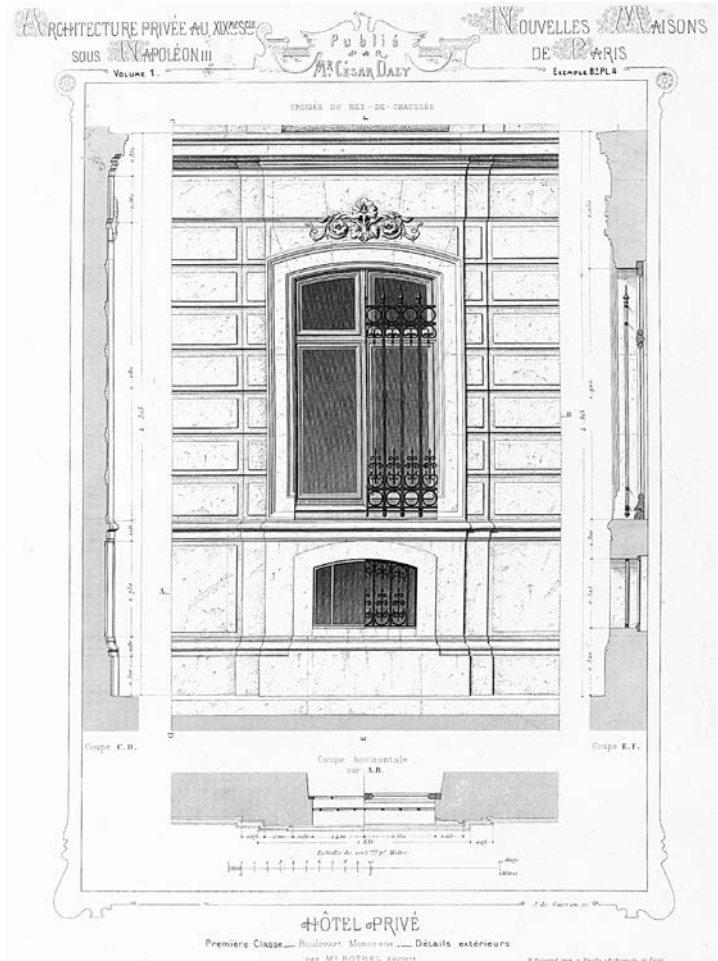


Volets brisés
(Mangeant, 1864: Pl. 5)

DALY, César (1864). *L'architecture privée au XIXe siècle, sous Napoléon III: nouvelles maisons de Paris et des environs*. Paris: A. Morel et Cie.

Ouvrage de l'architecte César Daly (1811-1894) divisé en trois volumes (Hôtels privés, Maisons à loyer et Villas suburbaines) sur "les derniers progrès de l'architecture privée de Paris et des environs (...) depuis 1852". Chaque volume comprend plusieurs exemples de ces trois types d'architecture privée avec des dessins généraux (élévations, plans, coupes) et souvent de quelques éléments comme les fenêtres, portes, cheminées, escaliers,

représentés à l'échelle avec les cotes des dimensions principales. La menuiserie des fenêtres est souvent représentée à l'échelle du 1:25 en élévation, plan et coupe, ce qui est suffisant pour comprendre leur fonctionnement général.



Hôtel privé:
Croisée du rez-de-chaussée
(Daly, 1864: Vol. 1, Ex. B1, Pl. 4)

GRAEF, August ([1874] 1992). *Der praktische fensterbauer*. Hannover: Edition libri rari, Verlag Th. Schäfer (Réimpression).

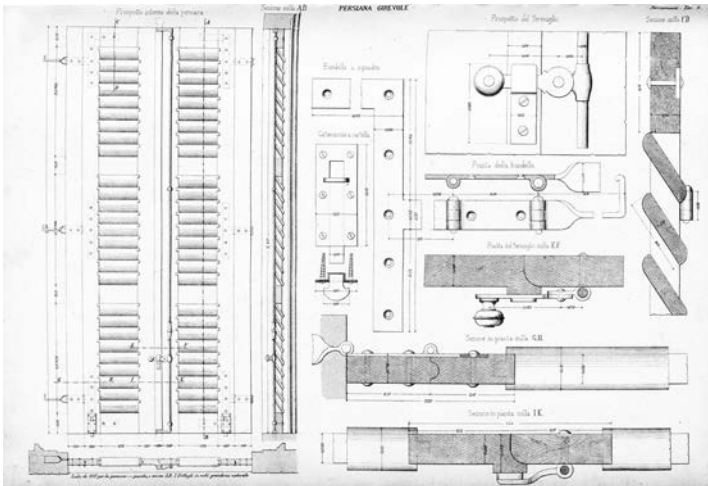
PROMNITZ, J. (1874). *Der Holzbau: ein Hand- und Hilfsbuch für Architekten, Bau-, Zimmer- und Maurermeister*. Halle: Knapp.

GATEUIL, N. (Direction) (ca. 1876 - s.d.). *Recueil de menuiserie pratique*. Dourdan: Leroux-Thézar.

GOTTGETREU, Rudolph (1880-1890). *Lehrbuch der hochbaukonstruktionen*. Berlin: Verlag Ernst & Korn.

SALDINI, Bartolomeo (Edition) (1883). *L'Architettura del legno*. Milano: Tipografia degli Ingegneri.

Ouvrage de la fin du XIX^e siècle destiné à contribuer à une variété de métiers. Est incluse une description détaillée de différents types de bois et un recueil d'exemples généraux et détaillés de plusieurs types de bâtiments et ouvrages de génie civil en bois (ponts, gares, églises, maisons, chalets, etc.). Comprend une section sur les fenêtres avec des dessins de façades et de plusieurs types de fenêtres, volets et leurs serrureries. Ne comprend néanmoins pas de description comparative des différentes solutions proposées



Persiana girevole [Volet pivotant] (Saldini, 1883: Serramenti, Tv. 8)

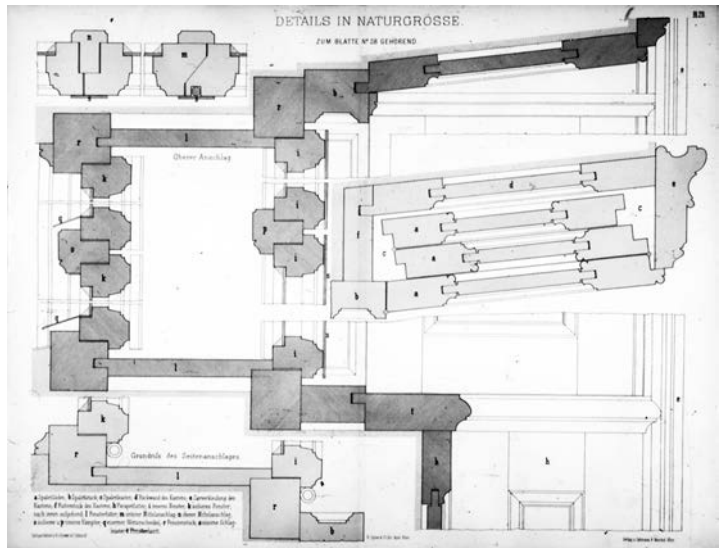
MARX, Erwin (1891). *Die Hochbau-constructionen: Wände und Wand-Oeffnungen*. Darmstadt: Verlag Arnold Bergsträsser.

DENFER, Jules (1892). *Architecture et constructions civiles: Charpente en bois et menuiserie*. Paris: Gauthier-Villars.

RIEWEL, Hermann et SCHMIDT, Karl (1893). *Bautechnische Vorlageblätter für Maurer, Zimmerleute, Bautischler etc. sowie namentlich für den Unterricht an Bau-Gewerbeschulen*. Wien: Lehmann.

Ouvrage relativement court et quasiment sans texte. Divisé en trois parties, il comprend 46 planches de dessins colorés portant sur le projet d'un bâtiment résidentiel d'un étage sur

rez-de-chaussée, un autre de deux étages sur rez-de-chaussée et des éléments de construction divers. En considérant la petite étendue de cet ouvrage, le niveau de détail est important. Pour chacun des deux projets, des dessins généraux en plan, façade et coupe sont présentés en premier puis, des dessins très détaillés de charpenterie et menuiserie à l'échelle avec des légendes se référant aux différents éléments. Les fenêtres et leurs volets sont dessinés avec une attention particulière. Les fenêtres du premier bâtiment, par exemple, sont représentées sur trois planches, l'une avec l'élévation intérieure, le plan et la coupe, une autre avec l'élévation extérieure y compris l'encadrement dans le mur, et une dernière avec des dessins détaillés d'assemblage.

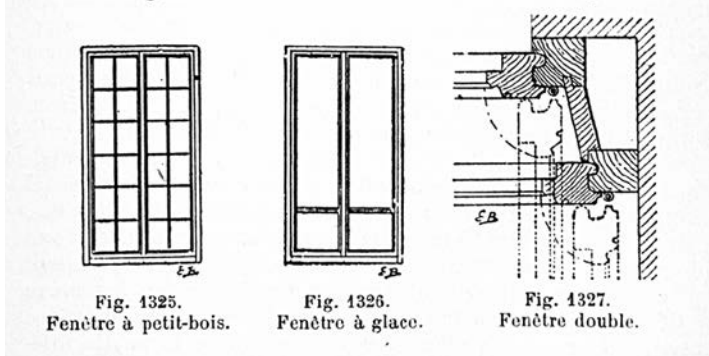


Fenster mit Spalett-Laden und Kasten [Fenêtre à caisson avec volets en bois]
(Riewel, Schmidt, 1893: Bl. 29)

BARBEROT, Emile ([1895] 1912). *Traité de constructions civiles*. Paris et Liège: Librairie Polytechnique, Ch. Béranger, 1912.

Ouvrage général conséquent, cherchant à décrire une variété d'éléments courants, depuis les travaux préparatoires du terrain jusqu'à l'électricité et l'acoustique: "Nous avons voulu le rendre facile à consulter par tous, et nous l'avons écrit assez peu théorique pour être aisément compris" (1912 [1895]: XVII). Le chapitre sur "Menuiserie et Ferrure" (1912 [1895]: 508-549) suit la même logique et présente les types communs de portes, fenêtres, volets, parquets, bois de menuiserie, etc. avec des petits dessins généraux sans échelle. Il est intéressant de remarquer que les dimensions des fenêtres les plus fréquemment utilisées

dans les "maisons à loyer" sont mentionnées dans le texte (1,5 m par 0,5-0,6 m dans les petites pièces et 1 m par 2 m ou 1,05 m par 2,10 m dans les autres).



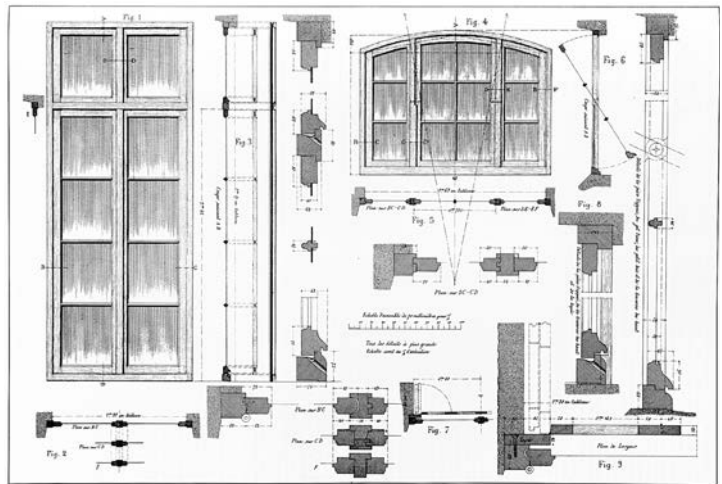
Divers genres de fenêtres
(Barberot, [1895] 1912: 525)

KOCH, Hugo ([1896] 1901). *Fenster, Thüren und andere bewegliche Wandverschlüsse*. Stuttgart: Bergsträsser, A. Kröner.

JAMIN, Léon ([1897] 1993). *L'enseignement professionnel du menuisier*. Dourdan: Éditions Henri Vial (Réédition faite en collaboration avec Louis Lemunu et avec l'aide des souscripteurs).

Ouvrage de la fin du XIX^e siècle destiné aux menuisiers écrit par Léon Jamin, "ancien menuisier, ancien chef d'atelier et ancien collaborateur Roubo", dont l'objectif est de tenir compte des progrès accomplis dans l'industrie de la menuiserie. Divisé en six parties, il commence par la géométrie et la perspective avant de décrire les applications de menuiserie et d'assemblage dans différents éléments du bâtiment ou de mobilier. La deuxième partie, "De l'architecture - de la menuiserie", comprend des axonométries détaillées des types d'assemblage, et des dessins détaillés de fenêtres, persiennes/jalousies, portes, cloisons, etc. L'objectif est de montrer une quantité limitée d'exemples de chaque élément de manière très bien détaillée avec mesures et, souvent, accompagnés de dessins ou d'axonométries auxiliaires qui contribuent à la compréhension de l'assemblage. Inclut un long dictionnaire explicatif (avec quelques dessins) des termes employés dans la menuiserie.

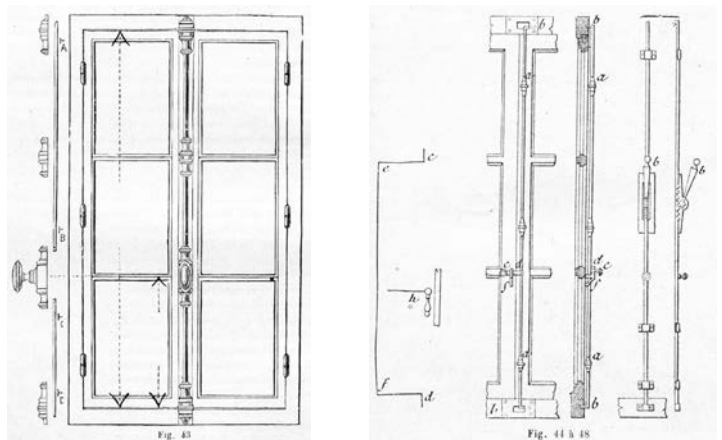
Croisée simple et croisée à bascule
(Jamin, [1897] 1993: 157, Pl. 37)



BARRÉ, Louis-Auguste (1898). *Petite encyclopédie pratique du bâtiment: Menuiserie en bois*. Paris: E. Bernard & Cie.

Cinquième volume sur la "Menuiserie en bois" faisant partie d'une collection qui en comprend dix sur les différents métiers associés à la construction de bâtiments (maçonnerie, charpente, menuiserie, serrurerie, peinture, etc). L'objectif de la publication est de "résumer les données les plus nouvelles de la Menuiserie du bâtiment" (Barré, 1898: Préface). De même que l'ouvrage d'Emile Barberot ([1895] 1912), ce volume assez général décrit les éléments de menuiserie tels que portes, fenêtres, systèmes de protection solaire, parquets et escaliers. Néanmoins, quelques dessins détaillés avec l'assemblage sont présentés (sans échelle) avec une description, les dimensions de base et les problèmes d'étanchéité les plus fréquemment rencontrés.

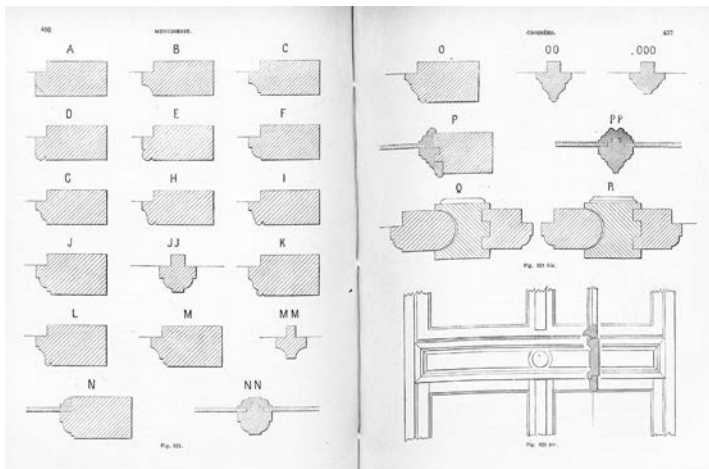
Crémone et espagnolettes
(Barré, 1898: 20-21)



CLOQUET, Louis ([1898] 1930). *Traité d'architecture: éléments de l'architecture - types d'édifices - hygiène - esthétique, composition et pratique de l'architecture*. Paris et Liège: Librairie Polytechnique, Ch. Béranger.

OSLET, Gustave et JEANNIN, Jules (1900). *Cours de construction: Traité de menuiserie*. Paris: Fanchon et Artus; Genève: Librairie Nationale.

Ce traité de menuiserie constitue la cinquième partie de la collection "Cours de construction" dirigé par l'architecte Gustave Oslet. L'introduction mentionne déjà l'utilisation de colle et de clous, plus économiques que les assemblages en bois. Les cinq premiers chapitres englobent la partie théorique de la menuiserie (classification du bois, préparation, vocabulaire, opérations géométriques, types d'assemblages). Les différentes colorations de bois possibles (pour rendre un bois plus noble, par exemple) sont mentionnées dans le chapitre dédié à la préparation du bois. Le dernier chapitre traite des divers éléments de menuiserie des bâtiments (parquets, portes, croisées, persiennes, jalousies...). Les pages sur les croisées (fenêtres) commencent par montrer et décrire une fenêtre des plus simples, avant d'en présenter d'autres progressivement plus complexes. Les dessins sont à la fois généraux et détaillés, avec quelques cotes de référence.



Profils de petit-bois, châssis et geule-de-loup; Élévation et coupe verticale sur une traverse d'imposte (Oslet, Jeannin, 1900: 456-457)

WARTH, Otto (1900). *Die Konstruktionen in Holz*. Leipzig: J. M. Gebhardt's Verlag.

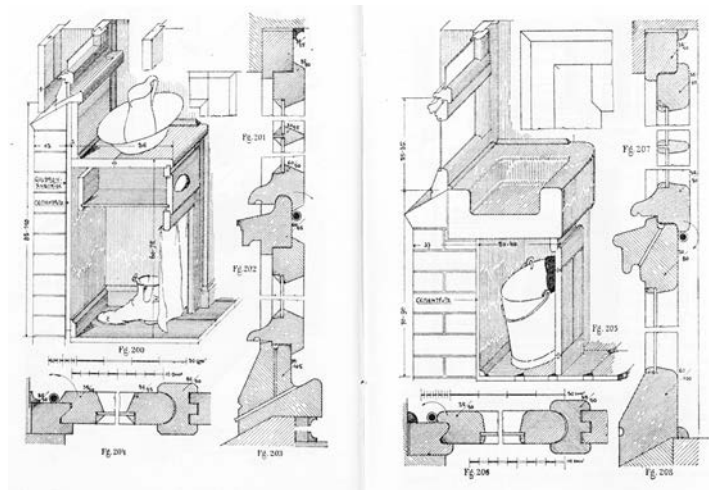
SCHÖNERMARK, Gustav et STÜBER, Wilhelm (1902-1904). *Hochbau-Lexikon*. Berlin: Verlag Wilhelm Ernst und Sohn.

WALDE, Hermann (1904). *Der praktische Tischler: ein Hand- und Nachschlagebuch für die gesamte Bau- und Möbeltischlerei*. Leipzig: Verlag von J. J. Arnd.

ESPITALLIER, Georges ([1908] 1927). *Cours raisonné et détaillé du bâtiment: Bois et fers, petite charpente et menuiserie*. Paris: École Spéciale des Travaux Publics.

STÄNGLE, Moritz (1909). *Wie der tischler zeichnet: ein illustrierter lehrgang für das zeichnen der tischler in gewerbl. fortbildungsschulen und ähnlichen anstalten, sowie zum selbststudium*. Leipzig: Verlag Seeman & Co.

VIEHWEGER, Emil (1914). *Tischler-(Schreiner-) Arbeiten*. Berlin und Leipzig: Göschen.



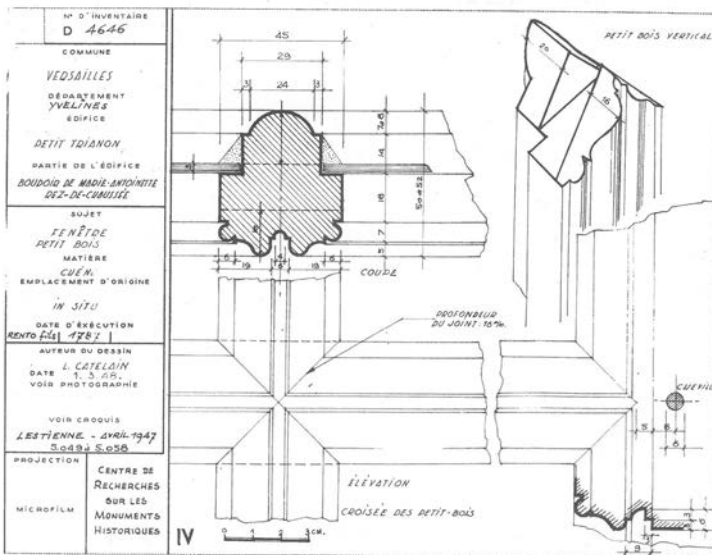
Schlafzimmerfenster;
Küchenfenster [Fenêtre de
chambre; Fenêtre de cuisine]
(Viehweger, 1914: 456)

FRICK, Otto et KNÖLL, Karl (1920). *Die Konstruktion von Hochbauten: ein Handbuch für den Baufachmann*. Leipzig und Berlin: Verlag und druck von B. G. Teubner.

LE BOEUFFLE, René (1922). *Bibliothèque des professions des arts et des métiers: Le menuisier pratique*. Paris: Hachette.

CENTRE DE RECHERCHES SUR LES MONUMENTS HISTORIQUES (1982). *Fenêtres et volets (menuiserie, serrurerie): 5*. Paris: Ministère de la Culture et de la Communication, Direction du Patrimoine.

Le Centre de recherches sur les monuments historiques, organisme français qui existe depuis 1934 (d'abord sous le nom d'Office de la documentation) a entamé et publié plusieurs importants relevés d'une variété d'éléments constructifs de bâtiments anciens dans le cadre de travaux de restauration. Ce volume comprend les relevés de quinze exemples de fenêtres et volets du XVIII^e siècle dans des bâtiments référencés. Chaque exemple inclut des dessins avec des cotes minutieuses représentant l'ensemble, les détails des assemblages et des éléments de serrurerie comme l'espagnolette.



Fenêtre: petit-bois (CRMH, 1982: D 4646)

HENNAUT, Eric et DEMANET, Marie (1997). *Le bois et le métal dans les façades des maisons à Bruxelles, 1850-1940*. Bruxelles: Archives d'Architecture Moderne.

DOCUMENTATION CANTONALE SUR LA RÉNOVATION DES FENÊTRES

ABTEILUNG KANTONALE DENKMALPFLEGE (s.d.). *Altbausanierung: Fenster*. Basel: Kantons Basel-Landschaft. [<http://www.baselland.ch/fileadmin/baselland/files/docs/bud/arp/denkmal/fenster/merkblatt-fenster.pdf>].

Marti, Kurt (1997). *Sanierung von Fenstern in schützenswerten Bauten: Empfehlungen, Hinweise, Ratschläge und Beispiele*. Bern: Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern. [http://www.bve.be.ch/bve/de/index/energie/energie/downloads_publicationen.assetref/content/dam/documents/BVE/AUE/de/aue_en_sanierung_fenster_d.pdf]

SECTION MONUMENTS HISTORIQUES ET ARCHÉOLOGIE (1998). *Journal de la Construction 5: La fenêtre – un patrimoine menacé*. Lausanne: État de Vaud. [http://www.patrimoine.vd.ch/fileadmin/groups/60/pdf/MS_fenetre_patrimoine_menace.pdf]

COMMISSION FÉDÉRALE DES MONUMENTS HISTORIQUES (2008). *Les fenêtres dans les bâtiments historiques: Document de base*. Berne: Commission Fédérale des Monuments Historiques [http://www.bak.admin.ch/kulturerbe/04273/04293/index.html?lang=fr&download=NHZLpZeg7t,lnp6I0NTU042l2Z6ln1ae2lZn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCDdH97gWym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A]

OFFICE DU PATRIMOINE ET DES SITES (2008). *Revue Patrimoine et Architecture: Les fenêtres, vues sur un patrimoine*. Genève: République et Canton de Genève. [http://www.geneve.ch/patrimoine/sms/inc/pub/img-pub/conseils/conseils_fenetres_fiches.pdf]

KANTONALE DENKMALPFLEGE AARGAU (2010). *Konservierung, Ertüchtigung und Nachbau von Fenstern bei kantonalen Schutzobjekten*. Aargau: Kanton Aargau. [https://www.ag.ch/media/kanton_aargau/bks/dokumente_1/kultur/denkmalpflege/BKSDP_Arbeitsblatt_1a.pdf]

Un livre (OPS, 2008) et des brochures publiés par les services du patrimoine de cinq cantons suisses, dédiés aux fenêtres anciennes, à leur évolution et aux possibilités envisagées pour leur rénovation ou pour leur remplacement. Les textes rappellent l'importance de la fenêtre comme un élément essentiel de composition de la façade témoignant du savoir-faire de l'époque, et mentionnent les risques actuels de sa disparition face à des exigences accrues et au remplacement difficilement contrôlable par les services cantonaux.

Par rapport au premier aspect, il convient de souligner le bref résumé de l'évolution des fenêtres du canton de Vaud depuis le XVII^e siècle sur la base d'un inventaire réalisé sur ses monuments. Les brochures des cantons de Bâle et d'Argovie représentent en plan les différents types de fenêtres anciennes, ce qui permet de remarquer l'utilisation possiblement moins fréquente du battant à gueule-de-loup dans ces deux cantons et, dans le canton de Bâle, la récurrence de fenêtres avec un montant dormant fixe central (qui sert de battant aux deux vantaux). Néanmoins, l'existence de trois types de fenêtres semble être répandue, même avec ses variations régionales: la fenêtre simple à simple vitrage, la fenêtre simple avec fenêtre d'hiver, et la double fenêtre placée à l'intérieur.

Dans un deuxième temps, les possibilités d'entretien, de rénovation ou de remplacement sont explorées dans ces publications avec des degrés de détail variables. Le livre publié par le Canton de Genève fournit des analyses plus étendues sur plusieurs aspects de la rénovation, accompagnées d'exemples d'application pratique, en incluant aussi des exemples où des dérogations sont possibles (immeubles protégés). Différentes possibilités sont décrites dans les publications en évaluant leurs enjeux et limitations: restauration (pose de joints, peinture), rénovation (survitrage extérieur, survitrage intérieur, remplacement du vitrage par du verre feuilleté ou isolant, pose d'une deuxième fenêtre à l'intérieur ou à l'extérieur) ou remplacement (fac-similé, fenêtre avec simple vitrage, double vitrage ou vitrage isolant). Nous remarquons que certaines solutions mentionnées atteignent difficilement les exigences normatives d'aujourd'hui, sauf en cas de dérogation, et que, selon la date de publication, les solutions tendent à varier selon les possibilités techniques du moment.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE

PERRET, Auguste (1952). *Contribution à une théorie de l'architecture*. Paris: André Wahl.

FISKER, Kay (1964). "Persondyrkelse eller anonymitet". *Arkitekten*.

RUDOFISKY, Bernard (1964). *Architecture Without Architects: A Short Introduction to Non-pedigreed Architecture*. New York: Doubleday, Museum of Modern Art.

GATZ, Konrad et JEHAN, Thierry (1968). *Fenêtres et parois vitrées en bois*. Paris: Eyrolles.

KLINDT, Ludwig B. (1972). *Das Kunststoff-Fenster*. Augsburg: Hans Rösler.

KRAUTH, Theodor, et MEYER, Franz Sales (1980-1981). *Das Schreinerbuch*. Hannover: Edition "libri rari" im Verlag Th. Schäfer.

LIETZ, Sabine (1982). *Das Fenster des Barock, Fenster und Fensterzubehör in der fürstlichen Profanarchitektur zwischen 1680 und 1780*. München [etc.]: Deutscher Kunstverlag.

KLINDT, Ludwig, et FREHSE, Helmut (1984). *Fensterkonstruktionen*. Köln-Braunsfeld: Müller.

SOLÀ-MORALES, Ignasi de (1985). "From Contrast to Analogy. Developments in the Concept of Architectural Intervention". *Lotus international*, 46, p. 35-46.

MENCK, Hans, et SEIFERT, Erich (1986). *Neue Fenster für alte Fassaden, die stille Fenstererneuerung*. Köln-Braunsfeld: Müller.

SIA 381/2 (1988). *Données climatiques relatives à la recommandation SIA 380/1 "Énergie dans le bâtiment"*. Zürich: Société suisse des ingénieurs et des architectes.

ARENDDT, Claus (1993). *Altbausanierung, Leitfaden zur Erhaltung und Modernisierung alter Häuser*. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt.

LEMAIRE, Raymond et STOVEL, Herb (Rédaction). *Document de Nara sur l'Authenticité* [rédigé par 45 participants à la Conférence de Nara sur l'Authenticité]. Nara: Direction des Affaires Culturelles du Gouvernement Japonais, Préfecture de Nara, UNESCO, ICCROM, ICOMOS [<http://www.icomos.org/fr/>].

GERNER, Manfred et GÄRTNER, Dieter (1996). *Historische Fenster, Entwicklung, Technik, Denkmalpflege*. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt [etc].

NEUMANN, Hans-Rudolf (1997). *Fenster: Sanierung und Modernisierung, Querschnittsuntersuchungen zum dominierenden Kultur - und Technischelement der Gebäude*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

MONTFORT, Hélène et HAUGLUSTAINE, Jean-Marie (2001). *Etude comparative des performances énergétiques de fenêtres à valeur patrimoniale*. Cahors: Energy Sud [<http://www.energysud.ulg.ac.be/download/CAHORS110609.pdf>].

SCHMID, Matthias (2001). *Bauphysikgrundlagen zur Fensterkampagne: «Fenster sind die Augen eines Hauses»*. Basel: Heimatschutz Basel [http://www.heimatschutz.ch/basel/cms/data/files/BE_P10064_20012011_Bauphysikgrundlagen%20zur%20Fensterkampagne%20inkl.%20Anhang.pdf].

SCHRADER, Mila (2001). *Fenster, Glas und Beschläge als historisches Baumaterial, ein Materialeitfaden und Ratgeber*. Suderburg-Hösseringen: Edition Anderweit.

EN 12412-2 (2003). *Performance thermique des fenêtres, portes et fermetures: Détermination du coefficient de transmission thermique par la méthode de la boîte chaude: Partie 2: Encadrements* [Norme européenne].

FLURY-ROVA, Moritz (2003). *Fenêtres I*. Berne: Office fédéral de la protection de la population, Protection des biens culturels. [http://www.bevoelkerungsschutz.admin.ch/internet/bs/fr/home/themen/kgs/publikationen_kgs/merkblatt/fenster.parsys.0001.downloadList.00011.DownloadFile.tmp/fensterf.pdf].

NEUMANN, Hans-Rudolf, HINZ, Dietrich, MÜLLER, Rüdiger et SCHULZE, Jörg (2003). *Fenster im Bestand: Grundlagen der Sanierung in Theorie und Praxis*. Renningen: expert Verlag.

VFF LEITFADEN HO.09 (2003). *Runderneuerung von Kastenfenstern aus Holz*. Frankfurt: Verband der Fenster - und Fassadenhersteller E.V. [http://www.window.de/uploads/media/ho09_muster.pdf].

ISO 10077-2 (2003). *Performance thermique des fenêtres, portes et fermetures: Calcul du coefficient de transmission thermique: Partie 2: Méthode numérique pour les encadrements*. Genève: International Standard Organisation.

BENTIVOGLIO, Leonetta (2004). "Edward Hopper. Hillman: "Vi spiego le sue finestre"". *La Repubblica*, 28 Mai 2004, p.43.

BERTRAND, Jérôme (2005). *Le châssis de fenêtre en bois: Concilier patrimoine et confort*. Bruxelles: Centre Urbain Stadswinkel [http://centreurban.wavenet.be/images/Documents/chassis_fenetre_bois_fr.pdf].

SDAPR (2005). *La fenêtre dans le bâti ancien: Conservation - Remplacement*. Lyon: Service Départemental de l'Architecture et du Patrimoine du Rhône [http://www2.culture.gouv.fr/culture/sites-sdaps/sdap69/Fiches_conseil/fenetre_impr.pdf].

VALENTIM LOPES, Nuno (2005). *Reabilitação de caixilharias de madeira em edifícios do século XIX e início do século XX: do restauro à selecção exigencial de uma nova caixilharia: o estudo do caso da habitação portuense*. Porto: Thèse de Master – FAUP.

ISO 10077-1 (2006). *Performance thermique des fenêtres, portes et fermetures: Calcul du coefficient de transmission thermique: Partie 1: Généralités*. Genève: International Standard Organisation.

ISO 6946 (2007). *Composants et parois de bâtiments: Résistance thermique et coefficient de transmission thermique: Méthode de calcul*. Genève: International Standard Organisation.

RÖHRL, Eckhard (2007). *PVC Taschenbuch*. München: Hanser.

BRAUN, Markus Sebastian (2008). *Windows, architectural details*.

Berlin: Braun.

KLOS, Hermann (2008). "Panzerfenster: Eine fast vergessene innovative Fensterkonstruktion". *Nachrichtenblatt der Landesdenkmalpflege Baden-Württemberg*, 1/2008 [http://www.homa-rw.de/media/content/Oeffentlichkeitsarbeit/Info_Material/Panzerfenster.pdf].

EBERT, Hans-Peter, HIPPELI, Sven et WEINLÄDER, Helmut (2009). "Ultraschlanke Vakuumverglasungen für optimalen Wärmeschutz". *Green Detail*, 1/2009, p. 64-65.

ENFK (2009). *Fiche technique fenêtre: La fenêtre dans le justificatif énergétique*. Bern: Conference des services cantonaux de l'énergie. [http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=fr&name=fr_551513175.pdf].

HUCKFELDT, Tobias et WENK, Hans-Joachim (2009). *Holzfenster, Konstruktion, Schäden, Sanierung, Wartung*. Köln: Rudolf Müller.

SIA 380/1 (2009). *L'énergie dans le bâtiment*. Société suisse des ingénieurs et des architectes.

FLACHGLAS (2010a). *Verre isolant*. Thun: Flachglas Schweiz. [http://flachglas.ch/fileadmin/Bilder/Downloads/Prospekte/FLAGL41560F_Isolier_L_20100205.pdf].

FLACHGLAS (2010b). *Verres isolants à «bord chaud»*. Thun: Flachglas Schweiz. [http://flachglas.ch/fileadmin/Bilder/Downloads/Prospekte/Isolierglaeser_mit_warmer_Kante.pdf].

PILKINGTON (2010). *Vacuum Glazing: Pilkington Spacia*. Ormskirk: Pilkington Group Limited. [http://www.pilkington.com/assetmanager_ws/fileservlet.aspx?cmd=get_file&file_id=3099&digest=4a79FkuHauuUeIuf9Cp/uA==&ct=pdf&file_name=to_Pilkington_Spacia_brochure-English.pdf].

REICHEL, Alexander, HOCHBERG, Anette, HAFKE, Jan-Hendrik et RAAB, Joachim (2010). *Öffnen und Schliessen, Fenster, Türen, Tore, Loggien, Filter*. Basel: Birkhäuser.

ACG (2011). *Technical Information - Insulating glass with warm*

edge spacer: Performances and calculations [http://www.yourglass.com/agc-glass-europe/pdf/ti_warme/warme.pdf].

BENITZ-WILDENBURG, Jürgen (2011). "Neues Glas oder neue Fenster? Entscheidungskriterien für die energetische Optimierung". *Metamorphose Bauen im Bestand*, 2, p. 53-55.

BÖHNING, Jörg et SCHMITZ, Heinz (2011). *Altbaumodernisierung im Detail, Konstruktionsempfehlungen*. Köln: Müller.

EN 673 (2011). *Verre dans la construction: Détermination du coefficient de transmission thermique, U: Méthode de calcul* [Norme européenne].

MAIER, Josef (2011). *Energetische Sanierung von Altbauten: 2*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

ISO 10077-2 (2012). *Performance thermique des fenêtres, portes et fermetures: Calcul du coefficient de transmission thermique: Partie 2: Méthode numérique pour les encadrements*. Genève: International Standard Organisation.

ARNOLD, Ulrich (2012). *Holzfenster und -türen 2: Konstruktion, Anschlüsse, Oberflächen, Energieeinsparung*. Köln: Müller.