Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 66 (1940)
Heft: 21

Artikel: Destruction des bétons par voie chimique, physique ou mécanique
Autor: Bolomey, J.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-50671

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

66e année 19 octobre 1940 N° 21

BULLETIN TECHNIQUE
DE LA SUISSE ROMANDE

ABONNEMENTS :
Suisse : 1 an, 12 francs
Etranger : 14 francs
Pour sociétaires :
Suisse : 1 an, 10 francs
Etranger : 12 francs
Prix du numéro :
75 centimes.
Pour les abonnements s'adresser à la librairie F. Rouge & Cie, à Lausanne.

Paraissant tous les 15 jours

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des anciens élèves de l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale. —

COMITÉ DE PATRONAGE. — Président: R. Neeser, ingénieur, à Genève ; Vice-président: M. Imer, à Genève ; secrétaire: J. Calame, ingénieur, à Genève. Membres : *Fribourg :* MM. L. Hertling, architecte ; A. Rossier, ingénieur ; *Vaud :* MM. F. Chenaux, ingénieur; E. Elskes, ingénieur ; Epitaux, architecte; E. Jost, architecte; A. Paris, ingénieur; Ch. Thévenaz, architecte; *Genève :* MM. L. Archinard, ingénieur; E. Odier, architecte ; Ch. Weibel, architecte ; *Neuchâtel :* MM. J. Béguin, architecte; R. Guye, ingénieur; A. Méan, ingénieur cantonal ; *Valais :* M. J. Dubuis, ingénieur; A. de Kalbermatten, architecte.

Rédaction : D. Bonnard, ingénieur, Case postale Chauderon 475, Lausanne.

ANNONCES
Le millimètre sur 1 colonne, largeur 47 mm :
20 centimes.
Rabais pour annonces répétées.
Tarif spécial pour fractions de pages.
Fermage des annonces :
Annonces Suisses S. A.
8, Rue Centrale (Pl. Pépinet)
Lausanne

CONSEIL D'ADMINISTRATION DE LA SOCIÉTÉ ANONYME DU BULLETIN TECHNIQUE
A. Stucky, ingénieur, président ; M. Bridel ; G. Epitaux, architecte ; M. Imer.

SOMMAIRE : *Destruction des bétons par voie chimique, physique ou mécanique,* par J. Bolomey, professeur, chef de la Division des matériaux pierreux de l'Ecole d'ingénieurs de Lausanne. — *La maison bourgeoise dans le canton de Genève.* — *Société suisse des ingénieurs et des architectes : Rapport de gestion de l'année 1939* (suite et fin). — *Circulaire aux ingénieurs et architectes.* — *Association amicale des anciens élèves de l'Ecole d'ingénieurs de Lausanne et Société vaudoise des ingénieurs et des architectes.* — Service de placement. — Documentation.

Destruction des bétons par voie chimique, physique ou mécanique,

par J. BOLOMEY, professeur,
chef de la Division des matériaux pierreux du Laboratoire d'essai des matériaux de l'Ecole d'ingénieurs de Lausanne [1].

Pendant longtemps on a considéré que les bétons, fabriqués et mis en œuvre dans des conditions normales, sont pratiquement indestructibles et qu'ils peuvent résister indéfiniment aux agents chimiques ou physiques auxquels ils sont exposés.

Ce n'est qu'à la suite de nombreux mécomptes, d'abord inexpliqués, que les ingénieurs se sont sérieusement préoccupés des graves altérations qui peuvent menacer les bétons et qu'ils ont cherché à les éviter, soit par un choix judicieux de la nature du ciment, soit par une technique appropriée de mise en œuvre.

Les ouvrages en béton peuvent être détruits ou gravement endommagés par :

1. La décomposition du ciment due à des phénomènes chimiques.
2. La rouille des armatures des constructions en béton armé.
3. L'action du gel ou de hautes températures.
4. La fissuration, due au retrait, aux variations de températures ou aux actions mécaniques, qui favorise l'action des agents chimiques, de la rouille et du gel.
5. Au lessivage du ciment par les eaux d'infiltration.

[1] Conférence faite le 14 septembre 1940, à Lausanne, à l'occasion des manifestations relatives aux problèmes de la *Corrosion*, de l'*Erosion* et de l'*Usure* des matériaux.

Nous examinerons successivement ces divers agents destructeurs en indiquant par quels moyens et dans quelle mesure il est possible de combattre leurs effets.

1. Actions chimiques.

Les altérations dues aux *sulfates*, en particulier au sulfate de chaux ou gypse, sont les plus fréquentes et sont connues depuis longtemps. Y sont particulièrement exposés les revêtements des tunnels en contact avec des eaux séléniteuses ou avec les fumées sulfureuses des locomotives, les ouvrages maritimes à cause de la forte teneur de l'eau de mer en sulfates de chaux et de magnésie, les canalisations en tuyaux de ciment pour drainages, égouts, etc.

La décomposition du ciment par les sulfates est due à la transformation de l'aluminate tétracalcique hydraté en sulfoaluminate tricalcique hydraté qui foisonne et entraîne la dislocation du béton. Les autres aluminates, ainsi que les silicates, ne sont pas attaqués. Pour éviter les dommages dus aux eaux sulfatées il faut utiliser un ciment ne contenant pas, après durcissement, d'aluminate tétracalcique hydraté. C'est le cas pour le ciment alumineux, qui a l'inconvénient d'être très coûteux, ou pour les ciments métallurgiques, à base de laitier de haut fourneau, pauvres en chaux. Les ciments sursulfatés, saturés de sulfoaluminate, ont également donné de bons résultats pour travaux à la mer. L'un ou l'autre de ces ciments doit être substitué au ciment portland dès que l'ingénieur a reconnu la présence de gypse dans les sources ou dans les eaux qui baigneront l'ouvrage à construire. La présence de gypse se décèle facilement par la réaction au chlorure de baryum.

L'attaque est d'autant plus intense que la teneur en gypse est plus élevée ; elle est très lente lorsque cette teneur tombe au-dessous de 0,1 gr/l., d'où la possibilité de se protéger en diluant suffisamment les venues d'eaux agressives.

Les ciments ont une réaction alcaline et sont attaqués par tous les *acides*, même faibles ou dilués, en particulier par ceux qui se produisent lors de la décomposition de matières organiques tels que : acide lactique, acide acétique, acide urique, acide tannique, acide humide. Il convient donc de prendre des mesures de protection partout où le béton sera en contact avec des matières organiques en fermentation ou en décomposition (laiteries, caves, écuries, fosses des tanneries, drainages, égouts, etc.).

La sensibilité à ces actions destructrices varie d'un ciment à l'autre ; elle diffère suivant l'agent chimique considéré, de sorte qu'il n'est pas possible de donner de directives précises car il n'existe pas de ciment qui résiste à tous. C'est ainsi que le ciment alumineux, d'une résistance parfaite aux eaux sulfatées, est plus sensible aux acides que les ciments portland et peut même être attaqué par les alcalis auxquels les seconds sont insensibles. (Fig. 1, 2 et 3.)

D'une manière générale et pour l'ensemble des attaques chimiques, les ciments pauvres en chaux (ciments à base de laitier) se comportent mieux que les portland ou que le ciment alumineux, sans toutefois donner une sécurité absolue.

Les attaques chimiques seront fortement ralenties si le béton est compact et imperméable, donc à bonne granulation, et s'il a durci à l'humidité de façon à éviter toute fissuration de retrait. Dans ce cas, les altérations sont superficielles et ne progressent que lentement en profondeur tandis qu'elles se produisent simultanément dans toute la masse du béton si celui-ci est poreux ou perméable. Un enduit bitumineux étanche prolongera la résistance en empêchant la pénétration des eaux agressives.

Lorsque celles-ci sont particulièrement à craindre, il pourra être indiqué de remplacer le béton au ciment par un aggloméré à base d'asphalte (prodorit)dont la résistance aux acides et sulfates est excellente, mais qui est attaqué à son tour par l'alcool, la benzine, certaines huiles, etc. et dont les propriétés mécaniques dépendent de la température.

Le *sucre* a une action particulièrement dangereuse sur le béton, même en petite quantité. Il se combine avec la chaux du ciment pour former du saccharate de chaux, soluble et expansif, qui rend le béton mou et friable.

2. Rouilles des armatures.

Certaines substances, telles que le sel de cuisine, les chlorures de chaux et de magnésie, les vapeurs acides, etc., provoquent la rouille des armatures du béton armé si celles-ci ne sont pas bien enrobées et protégées par une épaisseur suffisante (au moins 2 cm) de béton compact. Les aciers rouillés augmentent de volume et font éclater leur gaine de béton, ce qu'on observe parfois dans les plafonds des caves et des écuries.

Sensibilité de quelques ciments à diverses eaux agressives.

Bétons de 0-15 mm, dosés à 300 kg de ciment par m³
C/E = 1,50 Densité 2,35.

Prismes de 12.12.36 cm immergés partiellement pendant 4 ½ mois dans diverses eaux agressives.

A. Béton au ciment de laitier de haut fourneau.
B. Béton au ciment portland de four vertical.
C. Béton au ciment portland de four rotatif.
D. Béton au ciment portland à hautes résistances.
E. Béton au ciment alumineux.

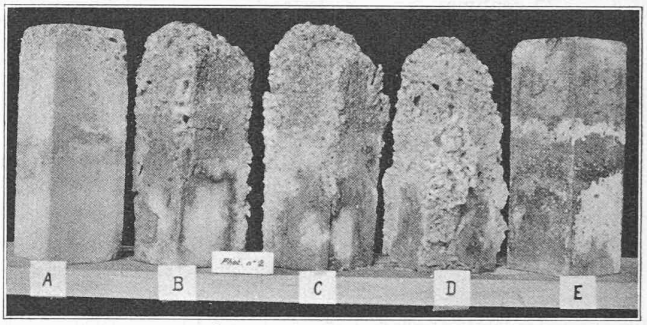


Fig. 1. — Solution saturée de sulfate d'ammonium.
E. = intact. — *A.* = faible attaque. — *D.* = très forte attaque.

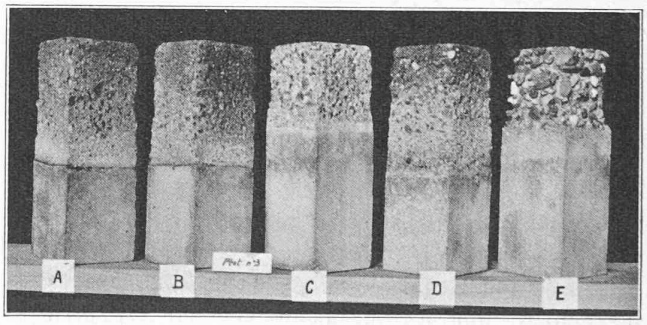


Fig. 2. — Eau additionnée de 5 % d'acide acétique.
Tous les bétons sont attaqués, spécialement le *E.*

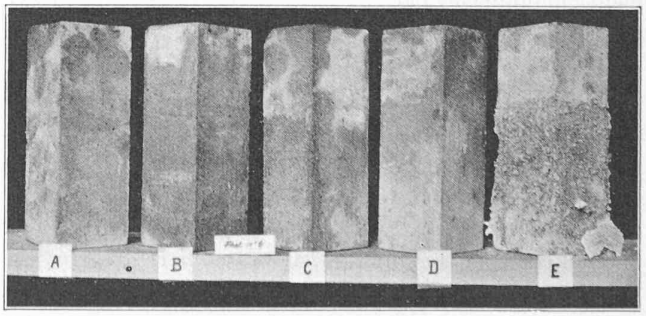


Fig. 3. — Solution à 5 % de soude caustique.
Seul le *E* est attaqué.

Ces dégradations ne sont pas à craindre si les armatures sont à leur place et bien enrobées par un béton non poreux. Il suffit donc d'un peu de soin lors de la construction pour les éviter.

3. Action du gel et des variations de température.

L'action destructive du gel peut se faire sentir de deux façons essentiellement différentes :

a) Sur le *jeune béton*, saturé d'eau, avant que le ciment ait terminé sa prise ;

b) Sur le *vieux béton* ayant achevé son durcissement.

* * *

On sait depuis longtemps que lorsqu'un *jeune béton* est exposé à de basses températures, l'eau de gâchage peut geler, ce qui arrête le processus de la prise du ciment et entraîne un gonflement qui disloque toute la masse du béton, le rend poreux et perméable et lui fait perdre ainsi la majeure partie de sa résistance.

Les remèdes sont également connus, ils sont très variés et consistent à :

1. Suspendre les travaux pendant les périodes de gel.

2. Ajouter au ciment des substances antigélives qui abaissent le point de congélation de l'eau (sel de cuisine, chlorure de calcium, soude, etc.) Ces additions ne sont pas sans inconvénients ; elles provoquent souvent la rouille d'armatures mal enrobées ou la formation d'efflorescences sur les parements. En outre, l'abaissement du point de congélation peut être insuffisant. (Le point de congélation de l'eau est abaissé de 2° pour chaque pour-cent de sel de cuisine qu'elle contient).

3. Augmenter le dosage en ciment ou utiliser un ciment à énergie thermique élevée et à durcissement rapide (ciment à hautes résistances initiales, ciment alumineux). La sensibilité au gel varie d'un ciment à l'autre, elle augmente avec la teneur en chaux libre, elle diminue avec celle en aluminates.

4. Employer des coffrages isolants (coffrages en bois) qui ne seront enlevés qu'après que tout danger de gel aura disparu. La surface du béton sera protégée pendant les arrêts du travail par des sacs, de la paille, du sable, etc.

5. Chauffer les matériaux, eau et ballast, par exemple par une distribution de vapeur dans les silos, de façon à ce que le béton ait une température de 20 à 30° lors de sa mise en œuvre, ce qui active la prise du ciment et le dégagement de l'énergie thermique de celui-ci.

Ce procédé de chauffage à la vapeur paraît préférable à celui qui consiste à chauffer le béton au moyen du courant électrique, comme cela a été proposé et mis en application par les Russes.

6. Entourer toute la construction d'une enceinte fermée et chauffée au moyen de braseros de façon à permettre de bétonner dans une atmosphère tempérée, ainsi que cela a été fait lors des travaux au Jungfraujoch.

Ces diverses méthodes peuvent être utilisées seules ou combinées entre elles.

* * *

L'action du gel sur les *vieux bétons* ayant terminé leur durcissement n'est connue que depuis une quinzaine d'années. Elle a été mise en évidence lors de la construcdes grands barrages alpins où le béton humide des parements est exposé à des alternances de gel et de dégel, ce qui a entraîné des dégradations considérables auxquelles il a fallu remédier à grands frais.

La destruction de vieux bétons par le gel a été longtemps contestée ou même simplement niée, les dommages évidents étant attribués à d'autres causes, en particulier à la dissolution du ciment par des eaux très pures en présence d'acide carbonique. On ne concevait pas bien comment un béton de chantier à haute compacité, pratiquement imperméable, possédant une résistance de plusieurs centaines de kg/cm² pouvait être détruit par le gel, alors que des échantillons de laboratoire, en mortier au sable normal passablement poreux, supportent sans dommages apparents les essais de gélivité usuels. Ces contradictions apparentes peuvent s'expliquer par les considérations suivantes :

L'expérience démontre que le gel agit de façon très différente sur un béton compact à gros éléments et sur un mortier poreux au sable normal. Le premier sera détruit dans toute sa masse par le déchaussement des grains de graviers, le second ne subira que quelques effritements superficiels. A égalité de résistance mécanique, la sensibilité au gel est d'autant plus grande que le béton contient des grains de gravier de plus gros diamètre. Un mortier verra sa gélivité fortement accrue si on lui incorpore des gros graviers.

Contrairement à ce qu'on pourrait supposer, la gélivité ne dépend que dans une faible mesure de la porosité du béton, si les pores sont également répartis dans toute la masse et sont de forme sensiblement sphérique. Pour qu'un béton soit gélif, il faut que sa structure soit feuilletée, c'est-à-dire qu'il contienne des vides lamellaires très minces par rapport à leur surface.

Ces vides lamellaires se forment par la remontée d'eau qui est arrêtée par la face inférieure des grains de gravier avant la prise du ciment ; ils seront d'autant plus accentués que le béton aura été gâché à une consistance plus fluide et que les grains de gravier sont plus gros, d'où la grande gélivité des bétons coulés à gros éléments, aggravée par la chute de résistance qu'entraîne un excès d'eau de gâchage.

D'autres vides lamellaires sont dus à la fissuration interne des bétons, provoquée par le retrait de la pâte liante auquel s'opposent les grains de gravier. Elle est d'autant plus intense que ceux-ci sont plus gros.

Enfin les fissures proprement dites dues au retrait, aux différences de température entre la surface et la masse du béton ou encore aux actions mécaniques (chocs,

efforts de flexion) constituent également des zones de moindre résistance à l'action du gel.

Pour réaliser un béton non gélif, il convient d'observer les conditions suivantes :

1. Dosage suffisant de ciment pour obtenir un béton à résistance élevée, sans retrait excessif (dosage voisin de 300 kg/cm²).

2. Choix d'un ballast bien gradué permettant de fabriquer un béton facile à mettre en œuvre avec une faible quantité d'eau de gâchage. Le diamètre des grains de gravier ne doit pas dépasser 20 à 30 mm ; celui des grains de sable ne sera pas inférieur à 0,1 mm.

3. Gâcher un béton aussi sec que le permettent les moyens de mise en œuvre ; la vibration rendra de grands services.

4. Maintenir le béton humide pendant la première période de durcissement, puis séchage lent de façon à éviter les fissures de retrait.

* * *

Les bétons au ciment portland peuvent supporter sans dommage des températures élevées. Il n'en est pas de même pour ceux au ciment alumineux qui perdent une grande partie de leur résistance s'ils sont exposés, humides, à une température dépassant 50 à 60°.

4. Fissuration due au retrait, aux variations de température, aux actions mécaniques.

Les fissures de retrait sont dues à un séchage trop rapide du béton et à l'influence des gros graviers ou des barres d'armature qui s'opposent au retrait normal de la pâte liante. Il est possible de les éviter en maintenant le béton humide pendant les premiers jours de son durcissement et en assurant ensuite un séchage lent et régulier. De cette façon les tensions internes croissent lentement et les racourcissements de retrait sont en majeure partie compensés par les allongements plastiques.

Les fissures de retrait peuvent être également combattues par la mise en traction préalable des armatures qui assure une compression générale du béton.

La température peut varier de plusieurs dizaines de degrés entre le parement exposé au soleil et aux intempéries et la masse intérieure du béton. Il en résulte des efforts de cisaillement ainsi que des tractions et compressions considérables qui peuvent entraîner une fissuration étendue, dans des plans parallèles et perpendiculaires au parement. Cette fissuration, dont la profondeur dépasse rarement quelques centimètres, est souvent peu apparente ; elle se décèle cependant facilement par humectation de la surface du béton.

Les effets du retrait et des variations de température se neutralisent partiellement, puisque l'air est généralement sec lorsque la température est élevée, et vice versa.

Enfin les ouvrages en béton sont souvent fissurés sous l'effet des efforts de flexion et des chocs. Le béton résistera d'autant mieux à ces derniers que la résistance à la traction sera plus élevée et que son module d'élasticité sera plus faible. L'étude des bétons réunissant ces conditions a été négligée jusqu'ici et trop souvent les cahiers des charges relatifs à des ouvrages exposés aux chocs (fortifications) exigent avant tout des bétons à très hautes résistances à la compression, sans se préoccuper de leur résistance à la flexion et encore moins de leur module d'élasticité. On obtient ainsi des bétons très durs, mais fragiles comme du verre. Un béton qui doit résister aux chocs doit être essayé au choc.

En général les fines fissures dues au retrait, aux variations de température et aux actions mécaniques ne compromettent pas la bonne tenue de l'ouvrage ni la conservation des armatures. Elles constituent cependant des zones de moindre résistance aux actions chimiques

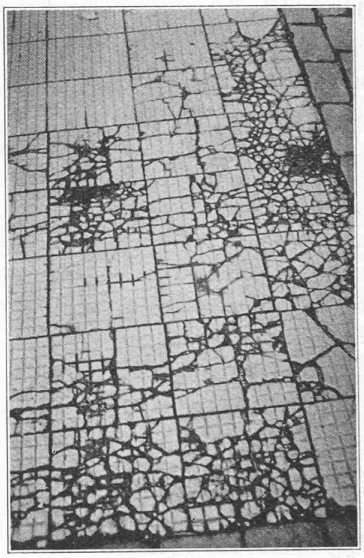


Fig. 4. — Destruction d'un trottoir en béton sous l'action du retrait et du gel.

et au gel, ainsi qu'on peut le constater en examinant la fig. 4, trottoir en béton, dont la destruction est attribuable à l'action simultanée du retrait et du gel.

5. Lessivage du ciment.

Certaines constructions, en particulier les barrages et les autres ouvrages hydrauliques, sont exposés à des infiltrations d'eau. Le ciment portland contient toujours une certaine quantité de chaux libre, relativement soluble, qui est entraînée par les infiltrations, ce qui appauvrit progressivement le dosage en ciment et augmente la perméabilité du béton ainsi que sa sensibilité au gel.

Pour réduire ce danger au minimum, il convient de prendre les mesures suivantes :

Réaliser un béton compact et étanche, éventuellement le protéger par un enduit hydrofuge.

Eviter la formation de fissures dues au retrait ou aux tensions intérieures.

Traiter de façon appropriée les joints de reprise de travail et les joints de contraction.

Choisir un ciment à faible teneur en chaux libre (ciment portland additionné de trass, ciments à base de laitier de haut fourneau).

Conclusions.

L'exposé qui précède montre que les dangers d'altération sont nombreux et variés ; ils ne menacent cependant que les bétons exposés à l'eau ou à l'humidité, tandis que les bétons se conserveront indéfiniment, même fissurés, lorsqu'ils sont secs.

Les mesures de protection se ramènent presque toutes à réaliser un béton compact et imperméable, à soigner son durcissement et à fixer en connaissance de cause le dosage d'un ciment convenablement choisi.

Lausanne, septembre 1940.

La maison bourgeoise dans le canton de Genève.

La Société suisse des ingénieurs et des architectes vient de faire paraître une réédition revue et notablement augmentée du IIe tome de la *Maison bourgeoise en Suisse :* la *Maison bourgeoise dans le canton de Genève.*[1]

Cette nouvelle édition remplace celle de 1912 épuisée depuis longtemps. La participation financière de plusieurs sociétés genevoises a, pour une grande part, contribué à permettre cette réédition.

L'ouvrage a été enrichi de nouveaux documents et largement remanié. Avec ses 134 planches, il compte 27 planches de plus que l'édition première. De nombreuses illustrations ont été agrandies. Quelques-unes ont été réduites. Le texte initial, dû à *Camille Martin* a été revu par M. *Edmond Fatio* qui, collaborateur de 1912, porte ainsi, avec M. *Louis Blondel*, archéologue cantonal, la paternité spirituelle de l'édition 1940.

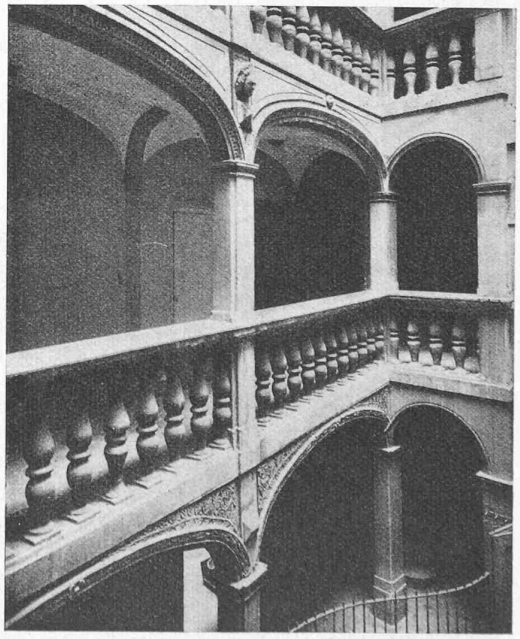
Ce texte comporte une introduction qui situe excellemment les étapes successives du développement de Genève. Les divers types de maisons citadines, nés de ces conditions particulières sont clairement définis et richement illustrés par les planches de la première partie de l'ouvrage. On regrette cependant qu'il n'y ait, pour commenter cet exposé d'urbanisme fort vivant, que quelques plans de quartiers assez fragmentaires. Des plans de la ville à diverses époques auraient considérablement augmenté la portée de cette introduction. Les auteurs ont peut-être estimé qu'ils sortiraient ainsi de la ligne de conduite générale de la « Maison bourgeoise » essentiellement documentaire. Pris à la lettre, le thème de la « Maison bourgeoise » devrait alors exclure la demeure patricienne. Félicitons-nous qu'il n'en soit rien.

Une remarque analogue nous est suggérée par la trop modeste place réservée au plan de Carouge (pl. 77) qui accompagne, dans une deuxième partie, les photographies de quelques maisons de cette localité remarquable à plus d'un titre. La différence marquée qui sépare ces deux villes voisines, qu'une frontière divisa longtemps, est extrêmement intéressante.

La troisième partie du volume, consacrée aux célèbres maisons de campagne des environs de Genève, débute par une très heureuse dérogation aux règles un peu strictes de la « Maison bourgeoise » : par la reproduction d'une série de maisons paysannes de Veyrier, d'Hermance, de Vésenaz, de Cartigny. Et nous voyons là les témoins d'une probité architecturale, hélas, bien révolue. Les 40 dernières planches sont un ravissement. Ce rapide voyage de Genthod à Varembé, à Cologny, à Châtelaine fait passer sous nos yeux ce que l'architecture française du XVIIIe siècle a produit en Suisse de plus fin, de plus dégagé, de plus adapté. La manière aristocratique dont les lignes précieuses de ces demeures s'insèrent dans le somptueux décor des immenses parcs, sans laisser voir la trace d'une contrainte, est une exquise leçon de politesse à l'adresse des bâtisseurs de la « villa » d'aujourd'hui. Et les souvenirs d'histoire, que chacune de ces maisons aime à évoquer et que les aimables textes de l'ouvrage commentent à loisir, sont un charme à ajouter aux autres.

Il n'est certes pas de moyen d'entretenir avec le passé de rapports plus agréables qu'en feuilletant, une soirée entière, les volumes de la Maison bourgeoise en Suisse.

VOUGA.



Vue des Galeries sur cour *Cité, 8.*

[1] Editeur Orell Füssli, Zurich.