

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 98 (1972)
Heft: 8: SIA spécial, no 2, 1972

Artikel: Erreurs de conception dans la construction et leur enseignement
Autor: Serdaly, D.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-71543>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 25.12.2024

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

Erreurs de conception dans la construction et leur enseignement¹

par D. SERDALY, ing. civil dipl. EPF/SIA

1. Introduction

Les dommages subis par les constructions au cours de ces dernières années nous ont rendus attentifs aux problèmes de la physique des constructions.

Qu'est-ce donc que la physique des constructions ? Pour certains, la notion s'épuise par l'acoustique et la thermique. Nous préférierions donner un sens plus large à cette notion. Physique des constructions signifie physique appliquée s'étendant à tous les phénomènes physiques, auxquels sont soumises les constructions ; traitant du comportement de l'ensemble de l'ouvrage sous l'influence de son milieu physique. Cette influence est-elle plus importante aujourd'hui que dans le passé ? Nous pensons qu'on peut répondre par l'affirmative. Nous assistons en effet à une évolution rapide des matériaux et méthodes de construction, approchant (et parfois dépassant) les limites du possible. Nos expériences se font non par prototypes, mais par un grand nombre d'unités, souvent sans connaître à l'avance le comportement exact des solutions nouvelles.

Il est intéressant d'analyser les causes les plus fréquentes des dommages dans la construction (fig. 1). Les dommages subis ne peuvent pas toujours être imputés à une seule cause ; il s'agit souvent d'une accumulation de circonstances. Pourtant, notre devoir est de prévoir et de prévenir. Si une force majeure ne peut être connue d'avance, il en va autrement en ce qui concerne les erreurs de conception. Une bonne solution s'élabore souvent non pas en se

demandant comment il faut faire, mais en éliminant ce qu'il ne faut pas faire, en évitant surtout de répéter des erreurs. Le sujet mériterait d'ailleurs, en soi, d'y consacrer des journées entières d'études.

Nous ne traiterons pas dans le cadre de cet exposé des cas de dommages spectaculaires, plutôt rares. Nous nous occuperons au contraire des dommages plus fréquents, ne mettant pas en cause la stabilité de l'ouvrage, mais entraînant bien des inconvénients et des dépenses inutiles. Au cours de nos activités d'experts, nous avons le plus souvent affaire aux cas de fissuration, de pénétration ou condensation d'eau. Presque toujours, ces cas auraient pu être évités en observant les lois élémentaires de la physique des constructions, dans le sens large du terme.

Parmi les dommages observés, nous avons choisi quelques cas typiques, causés par le fléchissement, par des effets thermiques ou des effets thermodynamiques.

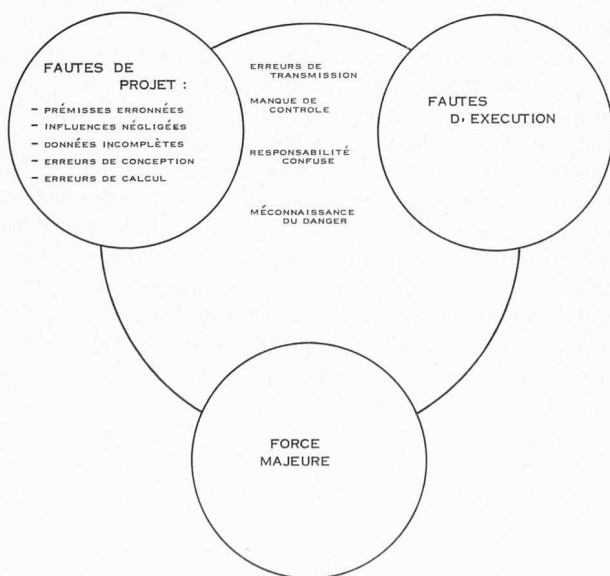
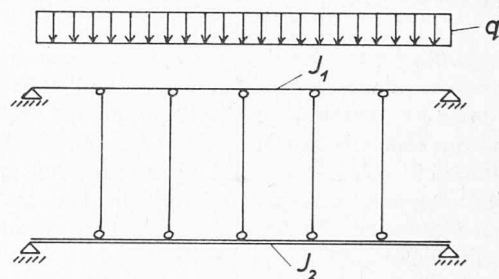


Fig. 1. — Causes des dommages dans la construction.

¹ Exposé présenté aux Journées d'études sur des problèmes actuels intéressant les ingénieurs, organisées à Zurich les 22 et 23 octobre 1971 par le Groupe spécialisé des ponts et charpentes de la Société suisse des ingénieurs et des architectes.



$$q_1 = q \frac{J_1}{J_1 + J_2} \quad q_2 = q \frac{J_2}{J_1 + J_2}$$

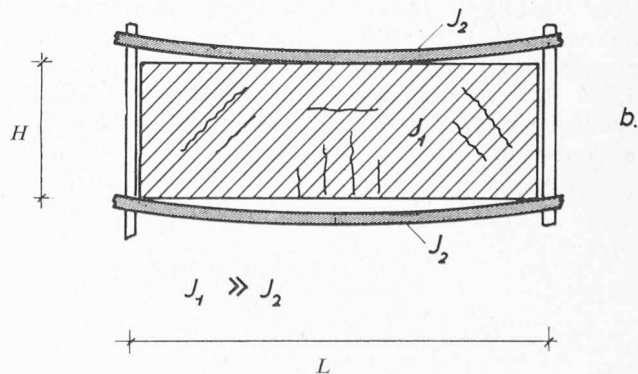


Fig. 2. — Modèle statique et comportement réel des éléments de construction en interaction.

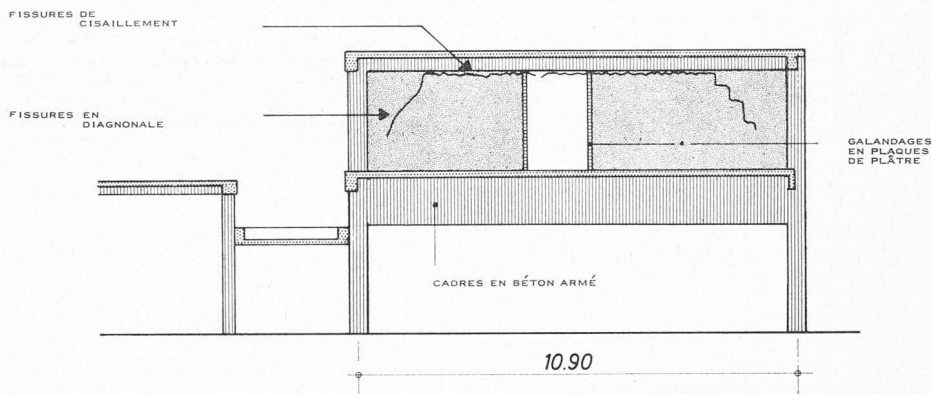


Fig. 3. — Fissuration des galandages due au fléchissement.

2. Dommages causés par la flexion

Ceux-ci interviennent lorsque deux ou plusieurs éléments sont contraints à subir la même déformation, due à des liaisons existantes parfois ignorées. Dans ce cas, la répartition des charges se fera en proportion des rigidités effectives, et non pas en proportion des capacités portantes, en tout cas pas avant la fissuration. La figure 2a rappelle le modèle « statique » bien connu de ce comportement.

Fréquemment, l'élément le plus rigide, qui reçoit donc une bonne partie des charges, est le plus faible du point de vue de la résistance à la traction. La deuxième partie (fig. 2b) du dessin montre ce qui arrive en réalité aux galandages de nos immeubles. Il est évident que, sans mesures appropriées, le galandage porte la dalle au début, au lieu du contraire. Le galandage, ou mur « non porteur » ainsi chargé essaie d'assumer la tâche qui lui est involontairement infligée. Sa capacité porteuse est souvent augmentée par l'empêchement du déplacement horizontal, ce qui lui permet de se comporter en arc. Ses réserves épuisées, le mur se fissure, et « rend » les charges aux dalles.

Le phénomène peut même se produire quand la dalle est très rigide. Le cas représenté par la figure 3 en témoigne.

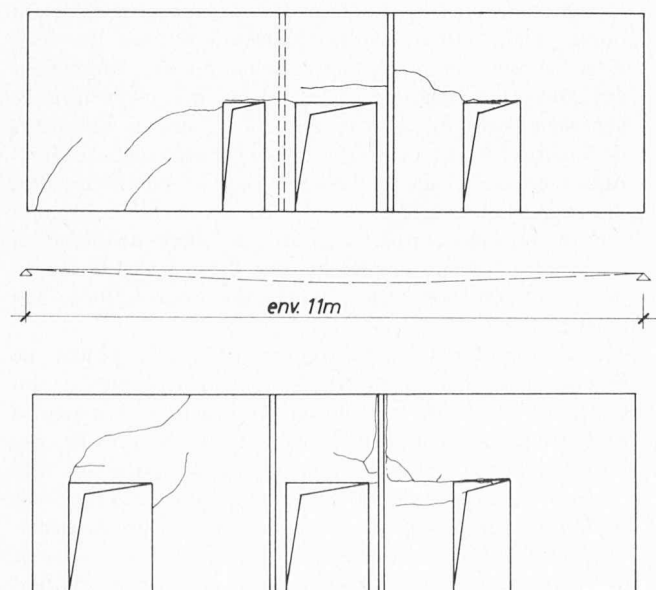


Fig. 4. — Fissurations des galandages dues au fléchissement, après (1).

L'aménagement du rez-de-chaussée de ce bâtiment a rendu nécessaire la solution adoptée avec cadres à environ 11 m de portée. Au premier étage se trouvent des bureaux, dont les murs de séparation étaient exécutés en plaques de plâtre, de 6 à 10 cm d'épaisseur. Quelque temps après la mise en service du bâtiment, des fissures en diagonale et des fissures de cisaillement entre galandage et poutres de la dalle supérieure sont apparues. Le phénomène peut s'expliquer comme suit. Au début, après l'exécution des galandages, les charges étaient supportées comme prévu, par la structure porteuse en béton armé. Avec le temps, dû au fluage, une redistribution des charges a eu lieu. Les galandages ont formé avec les dalles, par suite de l'adhésion entre ces éléments, des poutres en I, dont la rigidité est sensiblement supérieure à celle des dalles, malgré la hauteur respectable des sommiers de la dalle inférieure. Les galandages, fonctionnant comme âme des poutres en I, ont subi des sollicitations d'efforts tranchants en conséquence, entraînant la fissuration observée.

Des dommages dans la construction, provoqués par la flexion, sont tellement nombreux, que le Comité allemand du béton armé a consacré une étude entière à ce sujet¹. La figure 4 représentant un des nombreux exemples, est tirée de cet ouvrage.

La question qui se pose est : par quels moyens peut-on éviter ces dommages ? Il faut commencer par se rendre compte du comportement physique des parties de l'ouvrage et de leurs interactions possibles. L'expérience démontre en outre, que la relation L/H , c'est-à-dire portée de la dalle par rapport à la hauteur du galandage peut être considéré comme critère important. En règle générale :

$$\frac{L}{H} \leq 1 : \text{pas de difficultés.}$$

$$\frac{L}{H} > 2 : \text{zone de danger.}$$

La rigidité de la dalle joue également un rôle, surtout dans le sens qu'une rigidité minimale (resp. élancement L/a maximal) ne doit pas être dépassée. La norme 162 de la SIA définit les élancements limites. Cela ne suffit pas, nous l'avons vu plus haut. Il est parfois nécessaire d'empêcher l'adhésion entre éléments porteurs et galandages par des mesures constructives. En outre, des joints verti-

¹ H. MAYER, H. RUSCH : *Bauschäden als Folge der Durchbiegung von Stahlbeton-Bauteilen*. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 193. W. Ernst + Sohn, Berlin 1967.

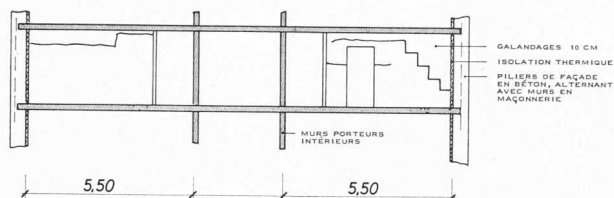


Fig. 5. — Fissuration des galandages d'un bâtiment de 7 étages, due aux dilatations thermiques différentielles des éléments porteurs verticaux.

caux et horizontaux peuvent être indispensables, de façon à former des panneaux quasi rectangulaires. Plus la portée est grande, plus la prudence s'impose. Dans certains cas, le problème ne peut être résolu que par le choix des matériaux adoptés; les galandages en matériaux rigides, comme terre cuite ou plaques de plâtre ont naturellement une tendance plus forte à la fissuration, que ceux construits en bois ou en métal. Dans les bâtiments préfabriqués en béton, on a également employé avec succès des panneaux de béton armé comme galandages.

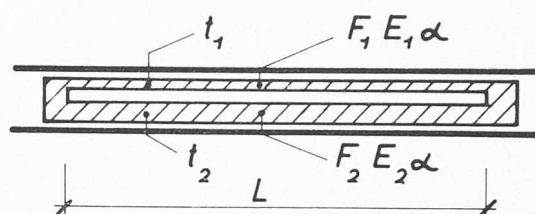
3. Dommages imputables aux effets thermiques

Dans la plupart de nos bâtiments actuels, une grande partie des éléments se trouve à l'intérieur d'une enveloppe thermique et ne subit que des changements de température relativement faibles. Par contre, les éléments à l'extérieur de cette enveloppe sont constamment soumis aux changements, souvent brusques, de température. On constate des différences de température des éléments extérieurs entre nuit et jour jusqu'à environ 40° C, entre hiver et été de l'ordre de 80° C. (Les matériaux, sous l'effet du rayonnement solaire, peuvent s'échauffer beaucoup plus fort que la température ambiante). Rappelons qu'au changement de température de 1° C correspond une dilatation de $1/100$ mm par m¹ pour le béton et l'acier (c'est l'égalité des coefficients thermiques qui permet le béton armé) et à peu près la moitié pour bois et maçonnerie. Une différence de température de 40° C entre éléments porteurs verticaux en béton d'un bâtiment de 10 étages signifie donc une différence d'allongement d'environ 1 cm. Le mouvement translatoire correspondant peut provoquer des dommages dans les galandages des étages supérieurs, comme la figure 5 en témoigne. La prévention ici est pourtant très simple: il suffit de placer tous les éléments porteurs verticaux à l'intérieur de l'enveloppe thermique, dont il faut éviter toute discontinuité. Ce principe est d'autant plus vrai qu'en l'observant on évitera les ponts thermiques, source des phénomènes de condensation.

Nous avons vu que la dilatation différentielle de certains éléments peut entraîner des dommages dans d'autres éléments. L'endommagement des éléments, dont la dilatation libre est entravée, est encore plus fréquent. C'est le cas le plus souvent quand deux éléments rigidement liés sont soumis à des températures différentes.

Le modèle physique du phénomène est représenté par la figure 6. Les contraintes résultant sont de signes opposés et indépendants de la longueur des éléments. Les contraintes dans deux éléments en béton de mêmes dimensions seront:

$$\sigma_1 = -\sigma_2 = \frac{\Delta t \cdot \alpha \cdot E}{2} \cong 1,5 \cdot \Delta t \quad (\text{kg/cm}^2)$$



$$\Delta t = t_1 - t_2$$

$$\sigma_1 = - \frac{\Delta t \cdot \alpha}{F_1 \left[\frac{1}{F_1 E_1} + \frac{1}{F_2 E_2} \right]}$$

$$\sigma_2 = + \frac{\Delta t \cdot \alpha}{F_2 \left[\frac{1}{F_1 E_1} + \frac{1}{F_2 E_2} \right]}$$

Fig. 6. — Modèle physique de deux éléments liés, soumis à des températures différentes.

La résistance à la traction du béton étant d'environ 25 kg/cm², une différence de température de 17° C suffit donc déjà à atteindre cette limite, sans tenir compte d'une éventuelle traction résiduelle due au retrait du béton.

Si la différence des masses est importante, le plus faible des éléments sera plus fortement sollicité:

$$\sigma_1 \rightarrow \Delta t \cdot \alpha \cdot E \quad (\text{béton: } \sigma_1 \rightarrow 3 \cdot \Delta t \quad \text{kg/cm}^2)$$

Paradoxalement, les dommages résultant de ce phénomène sont étroitement liés aux progrès de la technique. En effet, c'est l'emploi dans la construction des matériaux hautement isolants qui provoque des gradients thermiques plus élevés que ceux dans les murs épais d'antan, lesquels, en plus, possédaient une grande inertie thermique.

Regardons maintenant quelques exemples. La figure 7 montre la fissuration survenue dans le voile extérieur d'un mur-sandwich de façade en maçonnerie.

Ce genre de construction est particulièrement délicat et mal adapté aux caractéristiques des matériaux employés, la résistance à la traction de la maçonnerie étant faible. Dans notre cas, la déformation libre du voile extérieur était entravée en plusieurs points, notamment aux angles du bâtiment (détail a), au niveau de la dalle supérieure (dét. b), et probablement par les encadrements de fenêtres (dét. c). A la figure 8 sont représentées schématiquement les « liaisons dangereuses » les plus fréquentes par rapport aux murs-sandwichs en maçonnerie. Le premier remède préventif consiste à garantir la liberté de dilatation du voile extérieur, en évitant des liaisons rigides et en prévoyant de nombreux joints, en premier lieu aux angles.

Les exemples suivants traitent des cas typiques de fissuration du béton (fig. 9). Le premier cas, bien connu (9 a), est celui des balcons en porte à faux. La mesure préventive, souvent employée, consiste à prévoir des joints perpendiculaires à la façade. Théoriquement, cela ne sert à rien, car (nous l'avons vu plus haut) les contraintes résultantes sont indépendantes de la longueur des éléments. En pratique, par des joints peu espacés, on réussit souvent à éviter la fissuration. Néanmoins, la bonne solution consiste en la séparation des parties « froides » des parties « chaudes ».

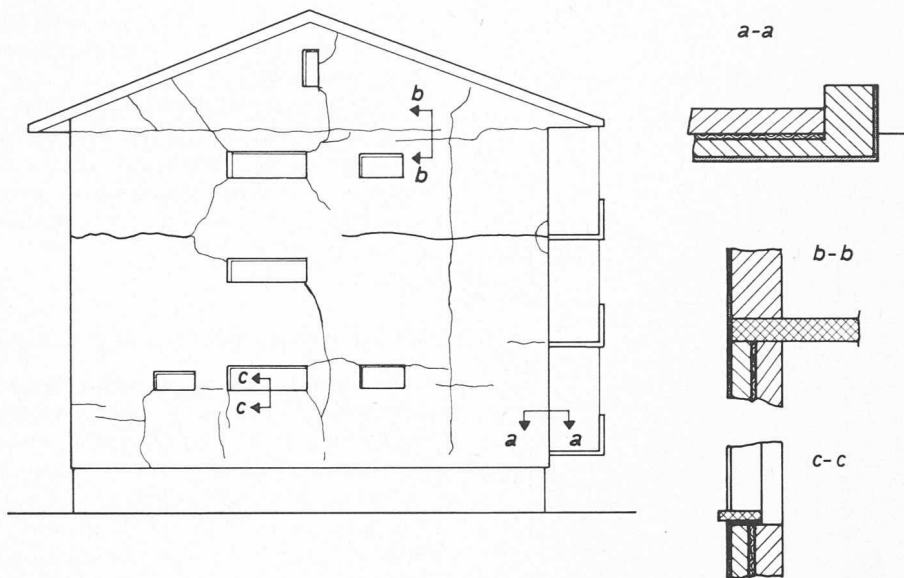


Fig. 7. — Fissuration du voile extérieur d'un mur-sandwich en maçonnerie, due à l'empêchement des dilatations thermiques différentielles.

Les figures 9b et c traitent le problème des façades en béton apparent porteur. Nous persistons à croire que cette manière de construire est tout au moins inadaptée à notre climat à forte variation de température. Le béton apparent, une des expressions de l'architecture de notre temps, doit être traité en tenant compte des lois de la physique des constructions. Le meilleur moyen d'y parvenir, c'est de le traiter comme élément non porteur, en lui laissant sa liberté dilatatoire. Par un système de joints et appuis élastiques bien étudiés, on parvient aussi à éviter

des fissures dans la façade ; mais gare aux galandages (voir fig. 5) ! Rappelons encore que les constructions isolées à l'intérieur des murs présentent des caractéristiques défavorables du point de vue diffusion de vapeur.

Les fissures ne représentent pas seulement des inconvénients d'ordre esthétique, elles ouvrent la voie à la pénétration d'eau et à d'autres dommages secondaires, par exemple aux dégâts de gel. Dans le cas de la figure 9d, l'eau pénétrait dans l'isolation thermique par des murettes fissurées et apparaissait à divers endroits de la dalle sous

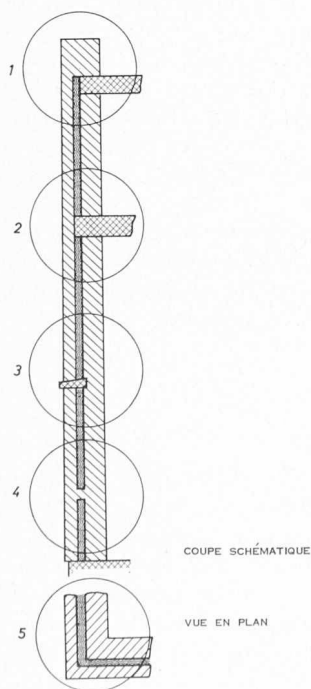


Fig. 8. — Murs-sandwichs en maçonnerie. Détails incorrects, entravant des dilatations libres.

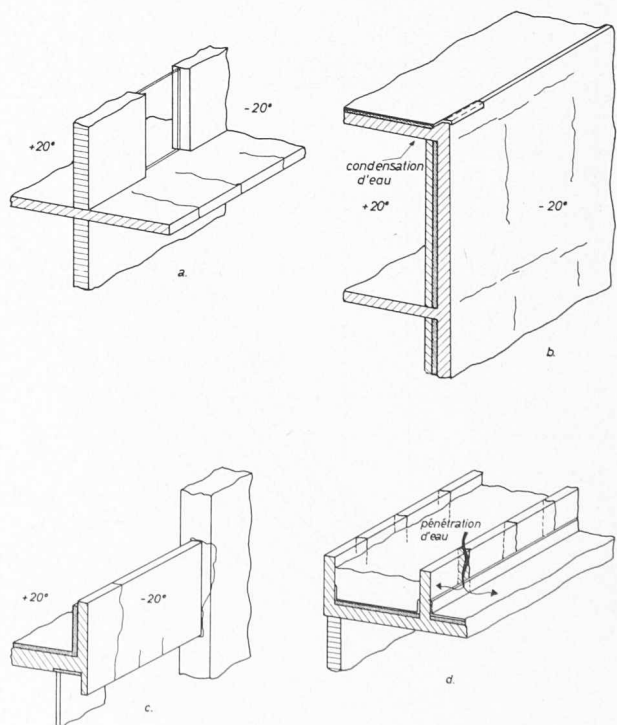


Fig. 9. — Cas typiques de fissuration, due aux liaisons d'éléments soumis à des températures différentes.

ÉLÉVATIONS AXONOMÉTRIQUES

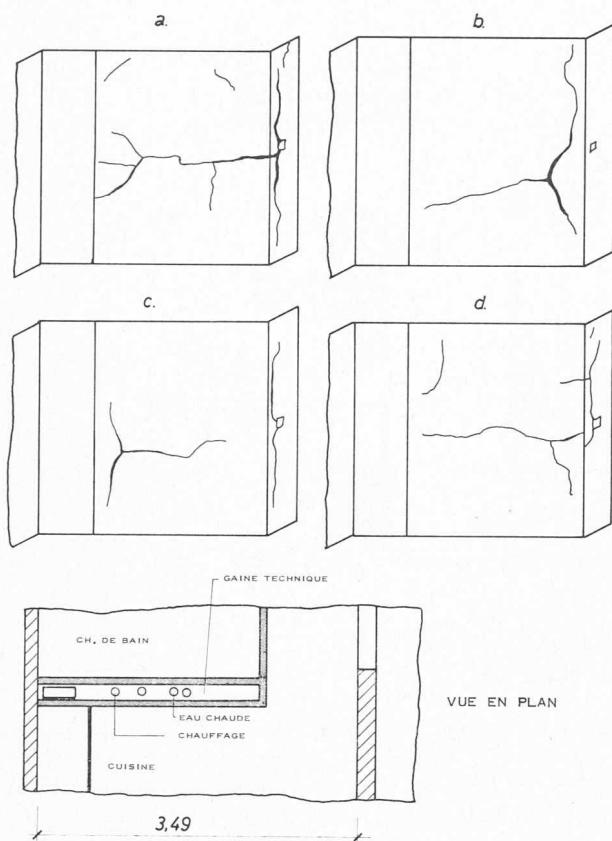


Fig. 10. — Fissuration due aux effets thermodynamiques.

forme de liquide brunâtre. La cause était encore une fois la discontinuité de l'enveloppe thermique et, en plus, de l'isolation contre l'eau.

La réparation des fissures imputables à la dilatation thermique est très difficile, car les causes ne sont pas éliminées en remédiant aux effets; l'endroit réparé se fissurera de nouveau. Comme seul moyen d'assainissement, il ne reste le plus souvent que le revêtement de la façade, moyen en général coûteux.

4. Dommages dus aux effets thermodynamiques

Le dernier exemple démontre la complexité fréquente des causes et des effets en matière de physique de construction. Dans un immeuble locatif, la fissuration représentée à la figure 10 est apparue très rapidement après la mise en service. L'on soupçonnait tout d'abord le fléchissement des dalles, mais le dessin des fissures était incompatible avec la déformation possible. De plus, la largeur importante des fissures ne correspondait pas non plus à la portée faible de la dalle.

La seule explication possible était, tenant compte de la forme des fissures, une surpression dans le vide sanitaire. En effet, ces cellules étaient hermétiquement fermées à chaque étage, les passages de la tuyauterie étant soigneusement scellés au mortier. A l'occasion de la première mise en service, les tuyaux de chauffage et de l'eau chaude, en partie non isolés, passant au travers des cellules devaient provoquer l'échauffement de l'air enfermé à l'intérieur. Quelle était l'augmentation possible de la pression de l'air? Selon les lois de la thermodynamique, en processus isovolumétrique :

$$\Delta p \cdot = p_0 \frac{\Delta T}{T_0} \cdot$$

En mettant $T_0 = 293^\circ K$ ($20^\circ C$), nous obtenons une augmentation de la pression interne d'environ 34 kg/m^2 par degré d'échauffement, ce qui fait 170 kg/m^2 pour une différence de $5^\circ C$ seulement. De plus, dans une construction neuve, on peut supposer un degré d'humidité assez élevé à l'intérieur des espaces fermés.

Admettant par exemple $t = 20^\circ HR = 40\%$ à l'extérieur, $t = 25^\circ HR = 50\%$ à l'intérieur, la différence de la pression partielle de la vapeur d'eau sera environ 65 kg/m^2 , s'additionnant à la différence de la pression de l'air, (fig. 11).

Si l'échauffement était assez rapide (ce qui est possible, vu le faible volume de l'intérieur de la cellule), une pression de l'ordre de grandeur de 200 kg/m^2 ou plus pouvait se développer, valeur largement suffisante à provoquer la fissuration observée.

5. Conclusions

De nombreux cas de dommages dans la construction pourraient être évités, à condition de prévoir le comportement de l'ouvrage sous l'influence de son milieu physique et d'en tenir compte dès l'élaboration de la conception générale. Avec l'évolution technologique de plus en plus rapide, il devient indispensable de s'occuper de la physique des constructions, dans le sens le plus large du terme.

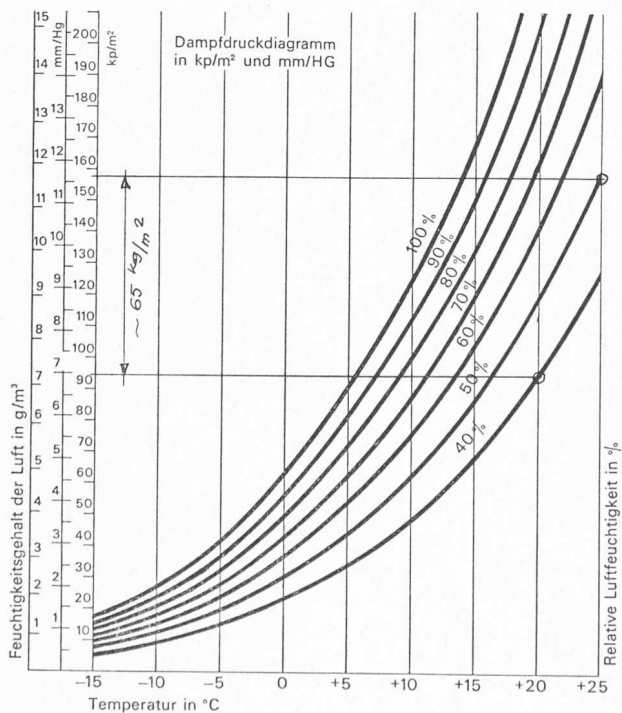


Fig. 11. — Pression de vapeur en fonction de la température pour différentes valeurs de degré d'humidité relative.

Adresse de l'auteur :

D. Serdaly, 203, route de Florissant, 1211 Conches-Genève.