

# Utilisation des résines Epoxy pour le collage acier-béton dans la construction mixte

Autor(en): **Hertig, P.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **99 (1973)**

Heft 18: **SIA spécial, no 3, 1973**

PDF erstellt am: **25.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-71697>

## Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Utilisation des résines Epoxy pour le collage acier-béton dans la construction mixte<sup>1</sup>

par P. HERTIG, ing. dipl. Lausanne

Depuis que l'on a eu l'idée de lier acier et béton afin de les faire travailler ensemble, plusieurs systèmes de liaison ont été proposés. L'ancrage à l'aide de goujons est maintenant le plus répandu et nous en avons acquis une solide expérience.

Nous disposons pour le dimensionnement des sections mixtes et des goujons de modèles de calculs éprouvés, même s'ils ne décrivent qu'imparfaitement le comportement réel de la structure.

En particulier, l'une des hypothèses de base du calcul de la section suppose la liaison continue et parfaitement rigide. C'est approximatif pour les goujons mais ce serait très réaliste pour un collage résistant qui, limitant à une quantité négligeable le glissement relatif, réalise l'interaction quasi totale des deux matériaux.

D'autres points positifs parlent en sa faveur :

- Plus besoin de soudage, parfois délicat avec certaines nuances d'acier.
- Les poutres métalliques hérissées de goujons ne facilitent pas les opérations de chantier et peuvent même représenter un danger pour les ouvriers qui se meuvent dans leur entourage.
- Les adhésifs à utiliser comme moyen de liaison sont généralement imperméables. Ils procurent donc à l'acier une protection extrêmement efficace contre la corrosion, là où elle est difficilement détectable.

Les résines synthétiques du type Epoxy ont des qualités qui les rendent particulièrement aptes à assurer un collage efficace entre l'acier et le béton.

Mais il est actuellement très difficile de définir les caractéristiques de ces résines à l'aide des paramètres que l'on associe aux matériaux de construction classiques.

L'on se heurte à deux classes d'obstacles de natures différentes.

Tout d'abord l'extraordinaire variété de produits que l'on peut obtenir sur la base d'une seule résine en utilisant, seuls ou mélangés en proportions variables, différents types de durcisseurs et en ajoutant à l'adhésif charges inertes et adjuvants actifs. Il s'agit donc d'être parfaitement au clair quant à la spécification des composantes et quant à leurs proportions au moment où l'on veut chiffrer, même approximativement, le comportement d'un produit.

D'autre part, la tenue d'une résine durcie est étroitement dépendante des conditions de température et de la vitesse de l'observation et ceci à un degré beaucoup plus prononcé que pour l'acier et le béton.

La figure 1 montre l'allure générale des courbes tensions-déformations d'une résine durcie pour trois vitesses de déformations imposées. Si, pour le plus rapide de ces essais, la rupture est intervenue en deux minutes, il a fallu trois heures pour le plus lent et leurs contraintes maximales sont dans un rapport de deux.

La figure 2, un diagramme semi-logarithmique, nous montre la résistance à la flexion d'un prisme de résine durcie en fonction de la durée d'application de la charge. On remarque ici qu'une charge appliquée de façon permanente pendant plusieurs années devra être au maximum la moitié de la charge de rupture rapide, en dehors de toute autre considération relative à la sécurité.

La tendance au fluage varie d'un produit à l'autre. Pour un mortier de résine courant, elle est cependant supérieure à celle du béton et l'on peut estimer la déformation à long terme, quelques dizaines d'années, de l'ordre de

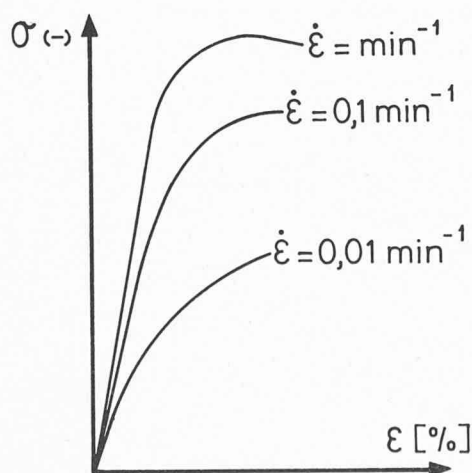


Fig. 1. — Courbes  $\sigma$ - $\epsilon$  pour différentes vitesses de déformation.

<sup>1</sup> Conférence donnée le 20 octobre 1972 à Zurich, dans le cadre des journées d'études organisées par le Groupe spécialisé des ponts et charpentes, de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, sur les thèmes « Problèmes de conception et d'exécution des structures ; expériences ; recherches ».

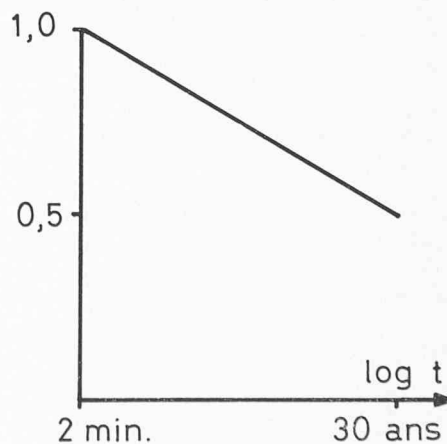


Fig. 2. — Charge de rupture en fonction de la durée d'application.

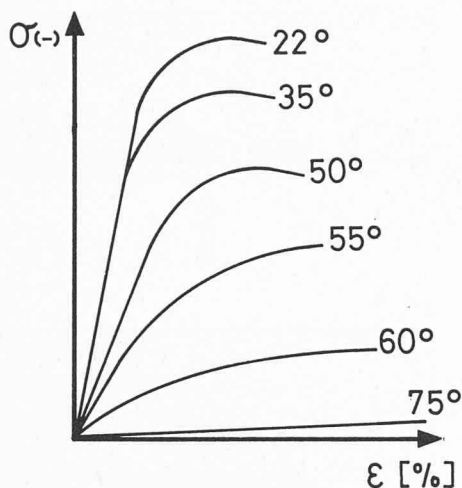


Fig. 3. — Courbes  $\sigma$ - $\varepsilon$ .

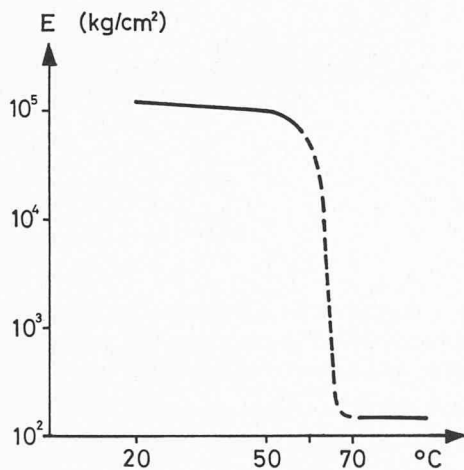


Fig. 4. — Module de déformation en fonction de la température.

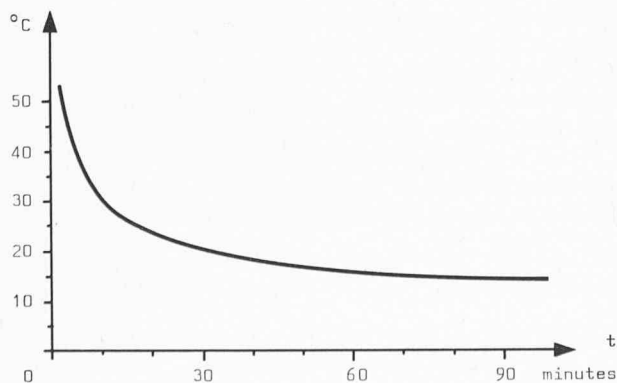


Fig. 5. — Pot life en fonction de la température des supports.

cinq à dix fois la déformation initiale. Vu la grande rigidité relative d'un tel mortier, sa tendance à fluer sous l'effet d'un cisaillement est de peu d'importance lorsque l'on a affaire à des épaisseurs de l'ordre du centimètre. Il est d'ailleurs intéressant de signaler que le fluage est partiellement réversible. Certains modèles rhéologiques simulent assez bien ce phénomène.

Sur la figure 3 nous avons une série de courbes tensions déformations effectuées à différentes températures. La chute de la résistance est plus lisible sur la figure 4. Le seuil de la chute, ou température critique, se situe aux environs de 60°C et l'on peut remarquer que le module de déformation est mille fois supérieur à 75°C qu'à 20°C. D'un solide on passe à un liquide très visqueux dont le comportement s'apparente à celui du caoutchouc.

Dans un mortier, la présence de la charge influe favorablement sur son comportement à température élevée. D'abord par la capacité des grains d'absorber une certaine quantité de chaleur et ensuite à cause du mécanisme suivant : lorsque la granulométrie de la charge est bien choisie, la distance séparant les grains est faible. Ainsi, alors même que la déformation spécifique des films de résine cisailés entourant les grains est grande, consécutivement à une diminution importante de la rigidité, la déformation d'ensemble du mortier reste faible.

Si l'on expose le produit à une température supérieure à la température critique on remarque au bout d'un certain temps (90 min.) qu'il durcit quelque peu, c'est-à-dire que ses caractéristiques mécaniques s'améliorent légèrement. Ceci est dû au fait que la chaleur amène la résine à poursuivre et compléter sa polymérisation. Refroidie, la résine va exhiber une meilleure résistance que le produit initial et sa température critique se sera élevée de quelques degrés. Ainsi donc, un traitement thermique (p. ex. 1 h. à 75°C ou 1/2 h. à 100°C) contribue à l'amélioration d'un mortier.

Le choix du durcisseur peut jouer un rôle équivalent à un tel traitement.

Les trois facteurs dont il vient d'être question, c'est-à-dire : charge, traitement thermique et durcisseur, peuvent être définis de manière à élever le plus possible la température critique, mais il convient ici de souligner qu'au-delà de 100°C l'opération s'avère très difficile et très onéreuse.

A titre indicatif, voici quelques caractéristiques de mortiers qui font couramment l'objet d'applications dans le génie civil :

Charge : sable et farine de silice

Taux de charge (poids de liant/poids de charge) :  $1/4 - 1/7$

Densité apparente : 2-2,2.

Résistance à la compression (sur cube, à 7 jours, à 20°C) : 1000-1200 kg/cm<sup>2</sup>

Résistance à la flexion (sur prisme, à 7 jours, à 20°C) : 300-500 kg/cm<sup>2</sup>

Module tangent initial de déformation à la compression : 100 000-170 000 kg/cm<sup>2</sup>

Voyons maintenant l'autre classe d'obstacles que constituent les difficultés de mise en œuvre.

Le durcissement est une réaction chimique de polyaddition qui exige des proportions bien définies des deux composants, résine et durcisseur. Tout écart de ces proportions conduit à un produit aux caractéristiques non pas légèrement inférieures mais catastrophiques. C'est pourquoi les composants sont livrés en des boîtes dont la totalité du contenu doit être utilisée en vue du mélange.

La vitesse de réaction détermine la durée d'utilisation ou « pot life » (en allemand : « offene Zeit »). C'est le temps écoulé entre le moment de l'exécution du mélange et celui où il n'est plus possible de le travailler. Il constitue un paramètre très important pour le constructeur qui devra chercher à le contrôler au mieux afin de pouvoir planifier puis respecter une stricte séquence des opérations de chantier. Plusieurs facteurs influencent le pot life qui peut varier entre quelques minutes et quelques heures. La température des supports et, dans une moindre mesure, la température ambiante jouent un rôle prépondérant exprimé qualitativement par la figure 5. Il est donc indiqué de se préoccuper de la matière et de la couleur des supports car on n'est pas sans savoir qu'une poutre en acier peinte en noir et exposée au soleil peut atteindre une température de l'ordre de 50°C. Au-dessous de 18°C, il faut employer des durcisseurs plus réactifs. Il en existe qui permettent le durcissement jusqu'à 5°C.

La polymérisation étant très fortement exothermique la chaleur dégagée doit être évacuée si l'on ne veut pas voir la réaction s'accélérer et diminuer considérablement le pot life prévu. L'échauffement peut d'ailleurs être assez violent pour expanser la résine. Une couche très mince, un film, requiert pour durcir soit un traitement thermique, soit un durcisseur très réactif alors que, pour une couche épaisse, il faudra utiliser un durcisseur très lent ou refroidir le produit. En fonction du mode de mise en œuvre, film ou grosse masse, et de la température des supports, il faut choisir le durcisseur puis fixer l'importance des gâchées.

Voyons maintenant comment on peut créer une liaison acier-béton efficace.

On garantit l'adhérence de la résine sur l'acier en préparant, par sablage ou brossage puis dégraissage, une surface exempte de rouille, de calamine et de toute trace de graisse. Si l'on craint que la surface ainsi préparée ne se détériore, à cause d'un stockage prolongé par exemple, il est indiqué de la recouvrir d'un primaire epoxy ad hoc dont la principale caractéristique est que la résine neuve y viendra adhérer presque aussi solidement qu'à l'acier. Un tel primaire existe sur le marché et permet d'éviter des opérations qui, sans lui, devraient prendre place au chantier.

La rupture de la liaison par faiblesse de la résine n'est pas à craindre à court terme et dans des conditions normales de température.

Assurer la solidarité résine-béton est un problème difficile. Les goudons d'ancrage transmettent les efforts par pression de contact dans la masse même du béton alors qu'une couche adhésive transmet un cisaillement à sa surface, dont on sait la médiocrité de la résistance. Il est donc indispensable d'atteindre les agrégats du béton et de s'y accrocher.

A cet effet, nous avons envisagé et testé les trois solutions de la figure 6.

Le système A a déjà fait l'objet de plusieurs études aux E.-U., en Belgique et en France.

Une couche de mortier est étendue sur l'acier et on vient y déposer des agrégats. On laisse le mortier durcir et on coule enfin le béton. Ce sont les agrégats collés qui assurent la liaison. Ce système possède deux avantages sur les autres systèmes que l'on verra plus loin.

- Toutes les manipulations de la résine se font en atelier
- Il est possible de contrôler la bonne tenue de la liaison avant la mise en œuvre du béton.

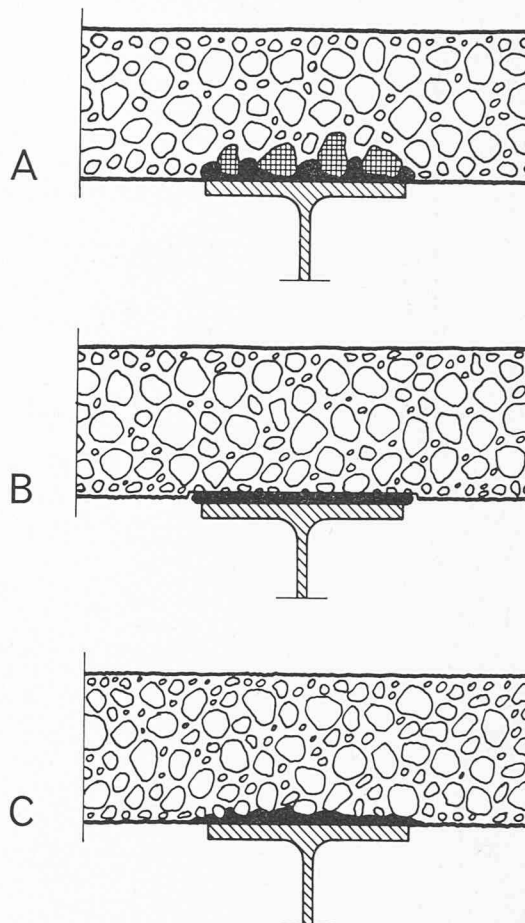


Fig. 6

Dans la réalisation de nos éprouvettes nous avons suivi les recommandations établies par les essais effectués à l'Université de l'Arizona, c'est-à-dire :

- Epaisseur de la couche de mortier : 10 mm
- Dimensions des agrégats : 25-38 mm
- Forme des agrégats : concassés
- Densité de distribution des agrégats : 100 %<sup>1</sup>

Le système B vise à lier l'acier à une dalle préfabriquée. Il a déjà fait l'objet de certaines recherches et de certaines applications dans le domaine des armatures collées et dans la liaison d'éléments en béton préfabriqués. Le béton doit être débarrassé de sa peau et à cet effet nous avons meulé sa surface sur une profondeur de 1 mm. Nous avons utilisé un mortier de consistance telle qu'il puisse supporter le poids de la dalle sans fluer exagérément et nous en avons posé une couche de 12 mm, en rapport avec le diamètre maximum des grains de la charge et les imperfections géométriques des pièces à assembler.

Dans le système C le béton est coulé directement sur le mortier frais dont on a recouvert l'acier. Le mortier, d'un taux de charge de  $1/4,2$ , a été posé en une couche de 16 mm.

Dans nos trois systèmes la surface de l'acier avait préalablement été traitée et enduite de primaire.

Le but de nos essais a été de déterminer la résistance de ces trois systèmes au cisaillement pur.

<sup>1</sup> C'est-à-dire la plus grande quantité possible d'agrégats sans recourir à un arrangement individuel des grains.

Eprouvette

dallette de:  
béton armé  
70 x 70 x 17 cm  
couronne d'acier  
 $\phi$  int. = 280 mm  
 $\phi$  ext. = 400 mm

gorge pour la  
fixation au système  
de mise en charge

T



Fig. 7

Distribution des contraintes

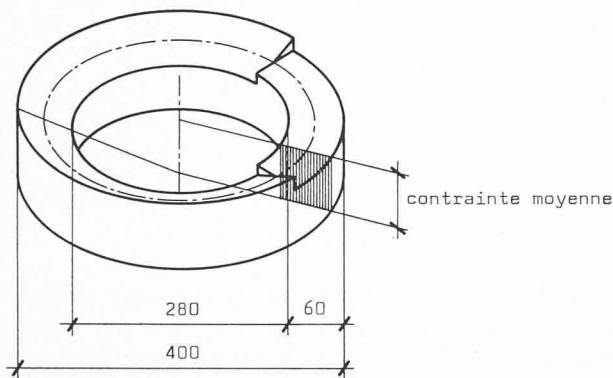


Fig. 8

Aspect de la rupture : A

agrégats noirs :  
agrégats collés cassés

niveau de la couche  
primaire

fissure



plan de rupture

Fig. 9

A cet effet nous avons conçu une couronne circulaire que nous avons liée à une dallette en béton armé (fig. 7). Pour cisailier la liaison un couple de torsion a été appliqué à la couronne. La liaison étant circulaire, la distribution des contraintes selon un cercle est uniforme, d'où le type particulier de notre essai (fig. 8).

Trois exemplaires au moins de chaque système ont été essayés.

Aspect de la rupture : B

surface de rupture

petites fissures  
inclinées à 30°

plan de rupture

couche  
de résine

Fig. 10

Aspect de la rupture : C

niveau de la couche  
primaire

trace du mortier  
epoxy

fissure



plan de rupture

Fig. 11

## COURBES CISAILLEMENT-GLISSEMENT

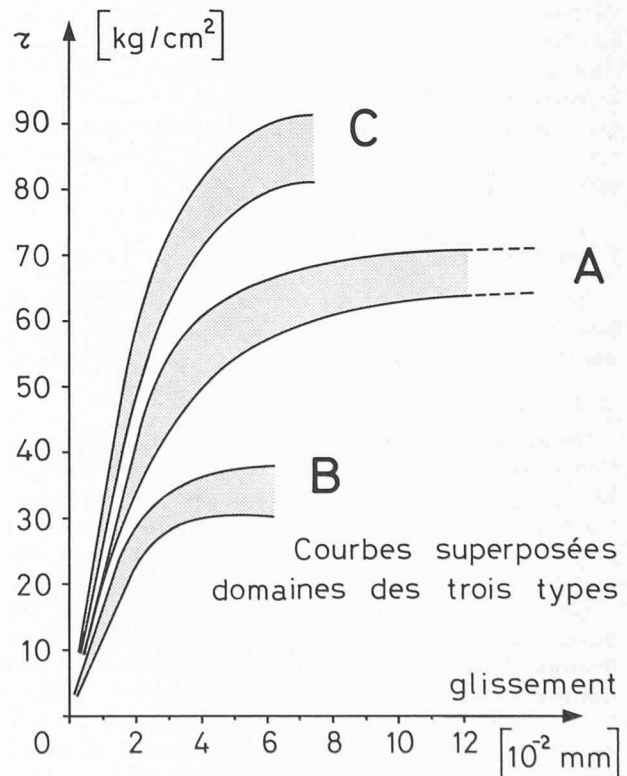


Fig. 12



La liaison A s'est rompue sous l'effet d'une contrainte moyenne de 70 kg/cm<sup>2</sup>. Les agrégats collés se sont tout d'abord cassés mais l'irrégularité de la surface constituée par le mortier de résine et les surfaces de rupture des agrégats a permis que le couple de torsion continue à se transmettre par frottement. La distribution des contraintes étant alors perturbée, la rupture finale est intervenue pour 60 % au niveau de la couche primaire (fig. 9). L'examen de la dalle a révélé que :

- le béton situé au contact de la liaison était très endommagé et parfois écrasé,
- tous les agrégats de liaison étaient cassés.

Ces considérations permettent d'affirmer que la liaison ne s'est pas rompue par faiblesse du primaire.

La liaison B s'est rompue pour une contrainte moyenne de 35 kg/cm<sup>2</sup>. Les petits agrégats que le meulage avait fait apparaître sont restés attachés à la couronne. Ils se sont désolidarisés du béton et très peu se sont rompus. L'examen très attentif de la dalle dénonce un grand nombre de fissures très fines sur la surface de rupture (fig. 10).

La liaison C s'est rompue pour une contrainte moyenne de 90 kg/cm<sup>2</sup>. La rupture brusque est survenue dans la couche de primaire mais l'examen de la dalle a permis de déceler de nombreuses fissures dans le mortier de liaison et dans le béton environnant (fig. 11). Il est fort probable que la fissuration du béton a modifié la distribution des contraintes et donné lieu à des concentrations provoquant la rupture de la couche primaire.

Le système A est plus déformable et sa rupture se laisse prévoir. Le système B est le plus adéquat, peut-être, à résoudre certains problèmes constructifs, mais nettement le moins résistant. Le système C est le plus résistant, mais aussi le plus fragile (fig. 12).

La résistance à long terme et la résistance à la fatigue surtout sont encore très controversées.

En laissant de côté la question de la résistance au feu, on peut néanmoins affirmer que le principal problème est celui de la résistance du béton.

Adresse de l'auteur :  
Ph. Hertig, ingénieur  
Epesses

## La politique de la SIA

par A. COGLIATTI, président

Le Comité central a présenté, dans un rapport écrit, à l'assemblée des délégués du 1<sup>er</sup> juin 1973 à Saint-Gall, la politique de notre Société. Les travaux préparatoires, les problèmes actuels et les projets y sont exposés succinctement. Diverses propositions soumises ces derniers temps aux délégués ne peuvent être correctement estimées que dans un contexte général. Le rapport doit aussi montrer que la politique de la SIA n'est pas menée confusément mais que des programmes clairement déterminés définissent son activité. Nous espérons que nos membres prendront aussi connaissances des directives.

### I. Aperçu rétrospectif

Afin que l'on comprenne bien la politique actuelle de notre Société, nous jugeons utile de rappeler succinctement une nouvelle fois le travail accompli ces dernières années.

#### a) Travaux préparatoires

Depuis de nombreuses années, le Comité central et la Commission pour l'étude des problèmes relatifs à la structure de la SIA se sont efforcés d'analyser les formes d'organisations possibles pour la SIA, d'établir un ordre de priorité de nos tâches et de définir aussi clairement que possible les buts à donner à toute l'activité de notre Société.

Les changements rapides de structures qui n'ont pas manqué d'influencer aussi le secteur de la construction ces dernières décennies nous ont conduits à réfléchir à nouveau à ce que devrait être en fait une politique de notre Société. D'autre part, on sentait un malaise croissant dans le public en général et parmi les autorités, dont beaucoup nous considéraient comme une association purement patronale.

*Ces considérations ont fait apparaître toujours plus nettement les questions centrales qui exigeaient une décision définitive, si nous ne voulions pas risquer de dissiper notre énergie dans des heurts stériles et des discussions d'organisation et de structure interminables.*

1. Est-il juste de continuer à réunir, selon la tradition, les architectes et les ingénieurs de toutes les branches ?
2. La SIA se considère-t-elle comme le représentant de toutes les personnes appartenant à ces professions ou avant tout comme celui des patrons et des propriétaires de bureaux indépendants ?
3. Quel engagement la SIA assume-t-elle dans le domaine des normes et dans celui des règles relatives à l'exercice des professions ?
4. Les groupes spécialisés peuvent-ils encore remplir leur mission ?
5. Quelles autres activités sont importantes pour la SIA ?
6. Le secrétariat général de la SIA doit-il être développé ?
7. Les organes de notre société sont-ils encore adaptés à la situation actuelle ?

La mise en lumière de ces questions et les réponses à y apporter ont fait l'objet des propositions présentées par le Comité central à l'assemblée des délégués de l'automne 1971. La révision des statuts soumise aux délégués avait été étudiée de manière approfondie par la commission dite « des structures », par un groupe de travail ad hoc et par le Comité central ; elle contenait essentiellement les réponses suivantes :