

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 97 (1971)  
**Heft:** 19: SIA spécial, no 4, 1971: 72e assemblée générale de la SIA

**Artikel:** La recherche en France en matière de construction: deux grands axes: connaissance et satisfaction des besoins de l'homme; Industrialisation  
**Autor:** Aigrot, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-71246>

#### **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:** 13.01.2026

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

# La recherche en France en matière de construction<sup>1</sup>

## Deux grands axes :

- Connaissance et satisfaction des besoins de l'homme
- Industrialisation

par A. AIGROT, Secrétaire général du C.S.T.B. (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment), Paris

### Situation de la construction

Lorsqu'on est amené à parler de recherche à propos d'une branche d'activité, il est toujours utile de bien situer celle-ci dans son contexte économique et social, ne serait-ce que pour faciliter l'explication de certaines orientations et de certains choix.

En France, les statistiques de l'année 1969 nous indiquent que la branche bâtiment dont le chiffre d'affaires était estimé à 84 milliards de francs, a réalisé à elle seule 46 % du total de la formation brute de capital fixe, et a représenté 8,5 % de la production intérieure brute.

L'appareil de production du bâtiment est caractérisé, en outre, par l'importance de sa main-d'œuvre (35 % du chiffre d'affaires), et l'émettement des entreprises : 40 000 au total, dont 1600 assurent 50 % du chiffre d'affaires, auxquelles il faut ajouter 140 000 entreprises artisanales.

Côté demande, une étude prospective effectuée par le Commissariat Général au Plan sur l'évolution de la construction entre 1968 et 1988, retient comme souhaitable, compte tenu de la situation actuelle du domaine bâti et des besoins prévisibles, une croissance régulière du nombre de logements neufs. Le nombre de logements construits chaque année devrait passer d'environ 420 000 en 1968 à 670 000 en 1988.

Cette étude retient également comme vraisemblable l'accroissement des exigences de la clientèle en matière de confort et de qualité, qui va de pair avec l'augmentation des revenus et le souci d'un cadre de vie plus satisfaisant. Ceci n'implique d'ailleurs pas que cette clientèle ait dans tous les cas la possibilité de consacrer des sommes importantes à l'achat ou la location de logements dont le prix reste malgré tout élevé.

### Intérêt et importance de la recherche, son organisation

Le simple rappel de ces données pose implicitement un certain nombre de problèmes :

- Amélioration de la qualité, ou de manière plus générale, meilleure adaptation du logement aux besoins réels de l'usager.
- Accroissement de la production, qui se heurte à des structures artisanales, et à une consommation exagérée de main-d'œuvre.
- Abaissement des prix, qui ne peut être obtenu que par une augmentation très sensible de la productivité.

<sup>1</sup> Conférence prononcée à la 9<sup>e</sup> assemblée générale ordinaire du Centre Suisse d'études pour la rationalisation du bâtiment, Zurich, le 16 juin 1971.

Ces problèmes ne sont évidemment pas nouveaux et des études engagées depuis plusieurs décennies ont déjà amené une nette évolution de la production par une meilleure connaissance des sciences et des techniques du bâtiment. Ce qui est nouveau, c'est ce décalage de plus en plus accentué entre les besoins et la satisfaction de ces besoins par un appareil de production qui n'a pas pu, pour de multiples raisons, s'adapter assez vite à la demande. Il faudra donc accélérer cette évolution, voire susciter une révolution dans les habitudes et les techniques, et ceci ne peut se faire que dans la mesure où une importante action de recherche est entreprise, action qui pour être efficace doit couvrir les très nombreux domaines du bâtiment et de l'habitat.

Nous avons relevé à ce propos dans un article récent de Monsieur Franz Füeg, architecte professeur à l'EPF de Lausanne une excellente remarque :

« Une politique de recherche qui serait orientée vers les seuls intérêts techniques et économiques serait insuffisante, voire dangereuse, car elle conduirait à des erreurs (celui qui ne connaît que la chimie n'entend rien à la chimie). »

Bien sûr, tous les responsables de recherche en sont plus ou moins conscients à leurs divers échelons, mais ils ont souvent à répondre à des préoccupations immédiates et de caractère spécifique, et la politique au sens large du terme ne peut être établie que par ceux qui possèdent une vision complète des problèmes.

L'émettement de la profession ne permet guère, indépendamment des problèmes financiers, d'entreprendre des recherches importantes à l'échelon entreprise. Celles qui sont effectuées à ce niveau portent surtout sur la mise au point d'un procédé ou l'amélioration des techniques de production, elles ont forcément un caractère assez ponctuel.

À un échelon supérieur, celui des organismes professionnels, syndicats ou Fédération du bâtiment, sont entreprises des études à caractère plus général mais qui sont malgré tout, et c'est normal, orientées principalement vers l'application.

Enfin, en France, comme dans la plupart des pays, les autorités gouvernementales ont jugé nécessaire de compléter les recherches précédentes par des recherches plus fondamentales, plus scientifiques ou d'applications plus générales. Ces recherches sont effectuées par un établissement public : le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) qui se trouve ainsi à la charnière entre la profession dont il connaît bien les problèmes, et les pouvoirs publics auprès desquels il remplit un rôle de conseil.

La coordination de toutes les recherches est un problème dont nous parlerons un peu plus loin, mais qui, dans la pratique, est résolu de manière assez satisfaisante.

## Objectifs de la recherche

Les aspects économiques et sociaux de la construction conditionnent très largement la politique d'orientation de la recherche, tout particulièrement si les pouvoirs publics sont amenés à intervenir dans la définition des objectifs prioritaires et à dégager une partie des moyens nécessaires pour y parvenir, ce qui est le cas en France lors de l'approbation des plans quinquennaux.

Ce n'est pas un hasard, compte tenu de la situation actuelle de la construction, si, dans un document récent approuvé par le Ministre de l'Équipement et du Logement qui définit les grandes lignes d'action du CSTB, il est précisé que l'activité de ce dernier doit s'organiser en fonction de deux finalités fondamentales : l'Homme et l'industrialisation.

En effet, il faut être conscient que le bâtiment, si on le compare à d'autres industries d'origine récente est fortement handicapé :

- 1) en raison des désirs exprimés par la clientèle, basés sur les possibilités d'une technique ancestrale, et dont le bien-fondé n'est pas toujours justifié ni justifiable, mais qui s'opposent à toute novation importante, ou de caractère fondamental en matière d'habitat ;
- 2) en raison de l'organisation même de la profession et des techniques relativement peu évoluées qui sont encore les siennes, dont le résultat se traduit par une consommation exagérée de main-d'œuvre.

En simplifiant, on pourrait donc dire que le premier objectif se définit par : *une meilleure connaissance de l'homme et de ses besoins*, et que le second est de satisfaire à ces besoins en construisant *mieux, plus et moins cher*. L'importante augmentation quantitative des besoins impliquant à l'évidence de réduire dans une très grande proportion la quantité de main-d'œuvre par logement, c'est-à-dire d'obtenir une industrialisation poussée de la profession.

Dans la pratique, il existe d'autres objectifs indispensables à la poursuite cohérente des recherches, leur définition présente surtout de l'intérêt dans une programmation à long terme, et n'aurait ici qu'un caractère académique. L'orientation des études et les résultats obtenus seront examinés par domaine ou par discipline, mais, avant de les aborder, nous rappellerons rapidement en quoi consiste la qualité d'un logement.

Pourquoi tout d'abord parler de la qualité d'un logement, alors que, depuis des siècles, on sait la qualifier de manière plus ou moins explicite par des notions de confort et d'agrement ? Pour une raison simple qui est liée pour une part à l'évolution rapide de l'environnement et des besoins, et pour une autre part, très importante, à l'évolution des techniques.

Quand on construisait un bâtiment en bonne pierre de taille avec des murs épais, ceux-ci garantissaient la solidité de l'édifice, ils permettaient également, grâce à leur inertie thermique, d'obtenir un confort d'été et d'hiver avec des moyens parfois rudimentaires, ils assuraient une bonne isolation phonique, etc.

En fait, tout se passait d'une manière empirique, les sciences du bâtiment étant pratiquement inexistantes ; mais ça marchait en général.

Un certain nombre de déboires survenus avec l'introduction de nouvelles techniques insuffisamment étudiées ont montré à l'évidence qu'il n'était possible de résoudre les problèmes qu'à la condition préalable de bien les poser, c'est ce que nous avons tenté de faire.

## Définition exigentielle des bâtiments

Pour définir la qualité d'un logement, nous avons utilisé un système qui possède déjà un certain nombre de références, et qui est de considérer la liste des exigences des occupants à l'égard de leur logement<sup>1</sup>. On agit d'ailleurs de la même manière pour les bureaux, les classes, etc., pour tous les locaux où l'homme est amené à vivre.

Ces exigences sont de caractère physiologique, psychologique, sociologique et économique. Les trois premières natures d'exigences peuvent être regroupées sous la rubrique commune : exigences d'habitabilité, alors que les exigences économiques se décomposent en une exigence de durabilité et une exigence de coût.

Il faut noter à leur sujet que certaines d'entre elles, notamment les exigences physiologiques ont un caractère absolu et ne doivent en aucun cas être transgressées, comme par exemple le taux maximum d'oxyde de carbone dans l'air qu'on respire. D'autres qui sont liées aux habitudes, à l'éducation et aux ressources peuvent évoluer, c'est ce qu'on appelle aussi les exigences de confort.

### Exigences psycho-physiologiques

#### Acoustique

Un niveau sonore de 85 dB est douloureux et peut entraîner à la longue des lésions, il ne doit pas être atteint. Bien en deçà de cette limite, les exigences de confort sont définies par un niveau sonore variable suivant l'activité de l'individu. Obtenir ce confort implique entre autres choses, une bonne isolation acoustique vis-à-vis de l'extérieur et entre logements, ainsi que l'usage d'équipements suffisamment silencieux.

#### Hygrothermique

Les exigences de confort évoluent rapidement à l'heure actuelle vers celles d'un « climat » interne variant entre d'étroites limites.

Les paramètres à prendre en compte pour leur étude sont : la température de l'air et son homogénéité, le taux hygrométrique, la température des parois, la vitesse de circulation de l'air.

#### Pureté de l'air

Il faut se préoccuper des poussières, des gaz, des micro-organismes et des odeurs, c'est essentiellement un problème de ventilation naturelle ou mécanique.

#### Eclairage (naturel ou artificiel)

Le confort visuel dépend de la luminance des objets situés dans le champ de vision et du spectre de la lumière. Les qualités qui intéressent la luminance sont : le minimum, le maximum, le contraste et la stabilité. Il est souhaitable également que l'éclairage ne modifie pas sensiblement les couleurs. Enfin on doit prévoir la possibilité pendant la période de sommeil d'obtenir une obscurité suffisante.

#### Perception de l'espace intérieur et du monde extérieur

Nous assistons depuis plus de deux siècles à la diminution des dimensions des pièces que nous trouvons confortables, mais cette tendance semble avoir trouvé ses limites si on en juge par certaines réactions qui se font jour.

<sup>1</sup> R.E.E.F., tome II, Editions du CSTB ; *Savoir bâtir*, par M. G. BLACHÈRE, Editions Eyrolles.

Cette exigence de confort est particulièrement liée aux habitudes et à l'éducation, une étude scientifique approfondie devrait permettre d'en tirer des conclusions extrêmement importantes pour ce qui concerne l'architecture et même l'urbanisme.

#### Sécurité

La notion de sécurité est incluse dans chaque exigence absolue ; sous cette rubrique, on ne mentionnera que les exigences que l'on pourrait appeler de sécurité pure :

- a) L'immeuble ou une de ses parties ne doit pas s'effondrer sous l'action de toutes les contraintes susceptibles de se présenter.
- b) Le logement doit mettre les occupants et leurs biens à l'abri des intrusions humaines ou animales indésirables.
- c) En cas d'incendie les occupants même malades doivent pouvoir s'échapper ou être évacués sans subir de dommages corporels.
- d) Enfin les risques d'occupation doivent être nuls ou quasi nuls, par exemple :
  - glissance limitée des sols ;
  - absence d'obstacles au sol ou à hauteur d'homme ;
  - sécurité d'emploi des appareils ménagers ; etc.

#### Exigences sociologiques

##### Intimité

Cette exigence a un double aspect : intimité de la famille vis-à-vis des étrangers — intimité des individus dans le groupe familial.

##### Appropriation

De récentes enquêtes ont montré l'importance de cette notion dans la préférence donnée au pavillon. Il serait utile de mieux connaître cette exigence, ses ressorts et ses limites, afin de mieux la satisfaire.

##### Adaptation au mode de vie

Le logement doit pouvoir abriter correctement les activités de la vie familiale. Cela se traduit par des seuils de surface, l'attribution à chaque fonction d'une pièce spéciale, et une distribution du logement qui corresponde à la famille à loger.

##### Equipement

Cette exigence postule l'existence d'un certain nombre de commodités indispensables ou utiles à l'exercice des activités familiales, ainsi que les dessertes en fluides et les évacuations.

#### Exigences économiques

##### Durabilité

L'exigence de durabilité consiste en ceci que les exigences qui précèdent restent satisfaites pendant la durée normale de vie de l'habitat, malgré l'usage qui en est fait, l'action du temps, et grâce à un entretien normal.

##### Prix

Le prix de construction et les dépenses d'entretien doivent être dans un rapport convenable avec la qualité de la construction, c'est-à-dire avec le niveau de satisfaction des exigences.

#### Domaines de recherches scientifiques

Les disciplines de caractère scientifique qui concourent à l'étude de satisfaction des exigences correspondent la plupart du temps au découpage précédent.

##### Acoustique

Les bruits contre lesquels il faut se protéger peuvent provenir de l'extérieur (circulation automobile ou ferroviaire, bruits de chantier), des occupants (radio, conversation, bruits d'impact) ou des équipements mal conçus ou mal installés (robinets, chasses d'eau, ventilation, etc.).

La gêne occasionnée par ces bruits dépend, en premier lieu, du niveau de pression qui est à l'origine de la sensation sonore, mais en plus, de la nature du bruit : régulier, intermittent, de la répartition de l'énergie entre les gammes de fréquence et également d'autres paramètres à caractère subjectif que de récentes études ont mis en évidence.

Les recherches consistent donc principalement à :

- 1) Mieux connaître les bruits contre lesquels il faut se protéger ; il s'agit essentiellement de mesures physiques.
- 2) Déterminer les niveaux sonores acceptables par la majorité des usagers ; il s'agit d'enquêtes liées aux mesures précédentes.
- 3) Etudier les moyens d'obtenir ces niveaux par des dispositifs de protection appropriés.

Nous mentionnerons trois types d'étude se rapportant à des bruits d'origine différente dont les résultats semblent particulièrement intéressants dans le domaine de la technologie et celui de la protection.

##### 1. Bruits d'impact

Il existe un dispositif normalisé : la machine à choc, utilisée pour apprécier la sonorité des planchers aux impacts. On a pensé qu'il était préférable, en vue de porter un jugement plus sûr, de connaître les bruits engendrés par la marche réelle. Pour pouvoir procéder à des essais systématiques, on a créé en 1967 une «machine à pied» reproduisant avec exactitude l'impact de la marche humaine normale.

La mesure de l'efficacité aux impacts de nombreux revêtements de sol a été faite, et la comparaison de ces mesures avec celles effectuées à l'aide de la machine normalisée a montré que l'efficacité des revêtements est moindre dans le premier cas que dans le second.

Une meilleure connaissance, dans ce cas, de la réalité doit permettre d'améliorer les méthodes d'essais, et de fournir une meilleure appréciation sur les revêtements.

##### 2. Bruits d'équipement

Le bruit des équipements est, nous l'avons dit, une des sources de gêne particulièrement désagréable pour l'usager, en particulier celui des robinets. Le problème consistait d'une part à définir une méthode d'essai et d'autre part un indice de classement des appareils. Après avoir équipé en 1968 un laboratoire et procédé à des mesures sur plus de 200 robinets sanitaires ou de bâtiment ayant reçu la marque de qualité, il a été possible d'établir un projet de recommandation pour la mesure du bruit des robinets en laboratoire qui a été déposé au comité technique TC 43 de l'ISO. Un groupe de travail créé pour harmoniser ces recommandations avec d'autres établies par des laboratoires allemands est parvenu à des conclusions intéressantes.

La méthode de mesure est au point et fait l'objet d'un projet de norme AFNOR. La définition d'un indice de clas-

sement et sa méthode de calcul sont encore en discussion. Toutefois, on a pu mesurer et classer par rapport à un générateur étalon de bruit, la quasi totalité de la robinetterie sanitaire et l'ensemble des robinets de bâtiment ayant reçu la marque de qualité. Pour les robinetteries sanitaires qui seules présentent vraiment de l'intérêt du point de vue confort acoustique, on a constaté des écarts importants du niveau de bruit entre les différents types.

L'étude systématique sur la robinetterie neuve a été complétée par une autre sur des robinets ayant subi des essais d'endurance, tous les 50.000 cycles jusqu'à 150.000. Les premiers résultats qui devront être complétés laissent penser que le degré d'usure a peu d'effet sur le bruit produit.

Les conclusions provisoires qu'il est possible de tirer de cette étude laissent à penser que l'on dispose d'un moyen extrêmement utile pour aider au perfectionnement de la technologie de fabrication de robinets ayant un bon indice acoustique de fonctionnement.

### 3. Bruits de trafic

#### a) Trafic urbain

Pendant deux années, une équipe d'acousticiens a coopéré avec une équipe de sociologues pour rechercher les paramètres physiques caractérisant le bruit de circulation et présentant, en site urbain, la meilleure corrélation avec la gêne exprimée et avec la perturbation du sommeil. Cette étude a été effectuée à Paris et dans sa banlieue, de 1968 à 1970.

Pour la connaissance des paramètres physiques, un système de mesure automatique installé en de nombreux emplacements caractéristiques (43 à Paris et 68 dans sa banlieue) a permis de connaître, heure par heure, la valeur statistique du bruit en décibels (A) en façade des bâtiments. En chaque point, la mesure était faite de manière continue pendant 48 heures.

Simultanément, des compteurs mesuraient le débit de la circulation dans la rue. On a trouvé que le niveau de bruit de circulation dans une rue possède une distribution dans le temps qui, observée sur une heure ou une journée, est pratiquement gaussienne. Il peut être décrit, pour une période déterminée, par deux paramètres qui sont :

- le niveau en décibels (A) dépassé pendant 50 % du temps : L (50) ;
- l'écart quadratique moyen de la distribution.

Par ailleurs, une loi a pu être établie qui donne la valeur de ces paramètres en fonction : du débit de la rue en véhicules par heure, et de la largeur de la rue en mètres. On

peut ainsi déterminer, par le calcul, les niveaux de bruit pour un très large éventail de situations possibles, ce qui peut présenter beaucoup d'intérêt pour bien poser les problèmes de protection acoustique dans les projets d'urbanisme.

L'enquête psycho-sociologique a été effectuée auprès de 700 personnes riveraines des emplacements de mesure acoustique, à l'aide d'un questionnaire mis au point après une série de tests, le nombre et la nature des questions étant tels qu'il soit possible, après analyse factorielle à l'aide d'un ordinateur, de définir un indice de gêne qui soit assez bien corrélé avec le bruit. On a cherché également à traduire, dans une formule obtenue par régression linéaire multiple, l'influence sur cet indice non seulement du facteur bruit, mais également de deux autres facteurs qui sont :

- le taux d'exposition du logement défini par le rapport suivant : 
$$\frac{\text{Nombre de pièces sur rue}}{\text{Nombre de pièces total}}$$

- la satisfaction d'habiter le quartier.

Les résultats mériteraient à eux seuls de longs développements, mais deux constatations valent d'être signalées.

Le niveau en décibels (A) dépassé pendant 50 % du temps, qui est un paramètre physique caractéristique du bruit, n'a pas la même importance, pour caractériser la gêne psycho-physiologique suivant que l'usager est content ou non d'habiter le quartier, et que son logement a un taux d'exposition supérieur ou inférieur à  $\frac{1}{2}$ . Autrement dit, un quartier agréable amène une tolérance en plus, de 6 dB (A) sur le niveau L (50) et un taux d'exposition inférieur à  $\frac{1}{2}$  une autre tolérance de 5 dB (A). Conclusions qui sont également utiles pour les urbanistes et les architectes.

#### b) Protection des abords des voies rapides urbaines

L'extension des voies rapides et surtout l'accroissement continu de la circulation occasionnent une gêne de plus en plus grande aux riverains, et le problème se pose de s'en protéger d'une manière ou d'une autre, de préférence en limitant le bruit à la source par une protection adéquate.

L'étude entreprise en 1968 a comporté de nombreuses mesures *in situ*, et la réalisation de maquettes à échelle du  $1/20$  qui ont permis de mesurer la propagation du son émis par une voie routière en présence d'obstacles. De très nombreux types d'écrans ont été essayés pour lesquels on a fait varier la hauteur, l'inclinaison, ainsi que le caractère absorbant de l'écran.

Les résultats expérimentaux correspondant, à peu près, à toutes les configurations possibles ont été rassemblés et présentés sous forme de figures directement exploitables

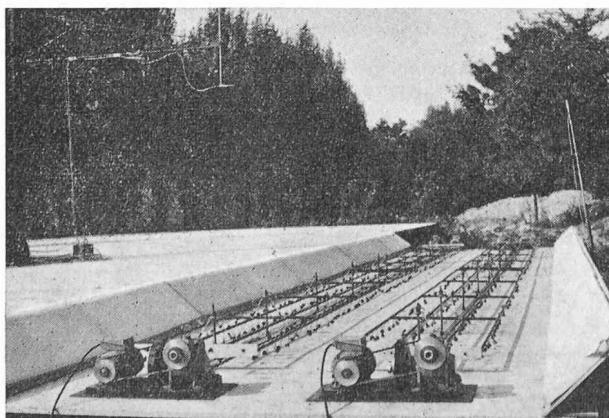


Fig. 1. — Maquette pour l'étude de la propagation des bruits émis par une autoroute.

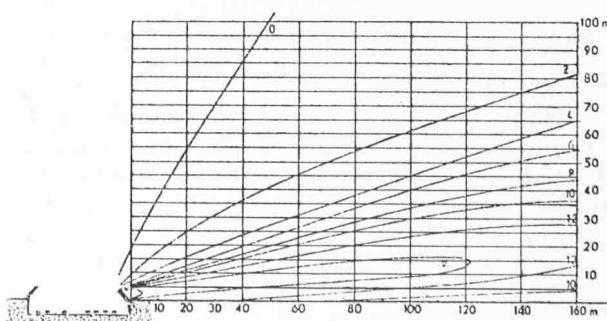


Fig. 2. — Réduction du bruit obtenue au voisinage d'une autoroute en tranchée par deux écrans inclinés munis d'absorbants.

pour un projet de protection phonique en bordure d'une voie rapide.

Des réalisations expérimentales sont prévues et seront probablement mises en place dans les prochains mois (fig. 1 et 2).

Les autres études en cours dans le domaine acoustique concernent encore de très nombreux thèmes utiles à l'amélioration du confort, à la meilleure connaissance de l'effet des incidents sonores : bruits du vent, de la pluie, de la grêle ; bruits au voisinage des aérodromes, effets des « bangs » d'avion ; etc.

Elles sont menées en concertation avec les autres laboratoires français et avec d'autres centres de recherche à l'étranger, en particulier la Building Research Station de Londres.

Un problème très important et actuellement très mal connu concerne la dissémination de l'énergie acoustique dans les structures et sa réémission. Des moyens assez importants doivent être mis en œuvre dans les années qui viennent pour tenter de la maîtriser. Là encore, une large concertation avec les autres instituts de recherche sera nécessaire.

### Hygrothermique et ventilation

Le confort en matière d'hygrothermique dépend, en premier lieu, de la connaissance des données extérieures : température de l'air, humidité, vent, ensoleillement, rayonnement diffus, etc., qui interviennent dans la réalisation des conditions intérieures.

Les paramètres dont on est amené à tenir compte sont variables dans d'assez larges limites et nécessitent, suivant leur valeur à l'intérieur de ces limites, des solutions différentes qui devront être prévues et pouvoir se combiner le cas échéant. Enfin, assurer le confort thermique implique des dépenses de fonctionnement importantes qu'il importe de réduire dans toute la mesure du possible, aussi bien du point de vue économie de l'usager que de celui de l'économie générale. En effet, pour le chauffage et le conditionnement des bâtiments en France, on estime que la dépense globale s'élève au chiffre important de 6 milliards de francs par an.

On conçoit donc que les études soient orientées vers la connaissance des phénomènes ainsi que vers la recherche de solutions techniquement satisfaisantes. Ces solutions seront également examinées en fonction de l'intérêt économique qu'elles présentent. Plus précisément, on sera amené, pour des solutions existantes, à améliorer leur rentabilité par diminution des frais de fonctionnement par exemple, et à ne proposer de solutions nouvelles que dans la mesure où le rapport prestations/coût s'avérera intéressant.

Les thèmes de recherche sont nombreux, qu'il s'agisse : de l'étude fine des données naturelles, de la connaissance des déperditions calorifiques par les parois, les ponts thermiques, ou qui sont liées à l'ouverture des fenêtres par exemple, (toutes connaissances indispensables au calcul des installations de chauffage et à leur régulation) ; ou encore de problèmes à caractère plus spécifique. Avant d'aborder l'examen d'un de ces thèmes, nous décrivons un dispositif d'étude particulièrement intéressant conçu et réalisé dans les laboratoires du CSTB.

### Modèle analogique thermique électrique

Le principe de ce modèle analogique est de représenter les données et phénomènes thermiques par des données et phénomènes électriques, les équations qui régissent les deux phénomènes étant de même nature.



Fig. 3. — Modèle analogique thermique électrique pour l'étude des régimes thermiques variables dans les bâtiments.

L'intérêt de ce dispositif pour l'étude des régimes variables réside dans la contraction des temps lorsqu'on passe d'un phénomène à un autre, ce qui permet d'aborder des problèmes complexes qu'il serait pratiquement impossible de traiter manuellement par le calcul. En effet, une séquence thermique d'une durée réelle de 24 heures est traitée en 0,2 seconde par la machine. Il est donc possible d'envisager des séquences de calcul de longue durée (plusieurs mois) en des temps relativement courts.

Les caractéristiques du modèle analogique permettent d'aborder trois types de problèmes, chacun d'eux correspondant à un mode particulier de fonctionnement du modèle :

- 1) Problèmes à caractère répétitif pour lesquels la période de calcul est de 24 heures après la mise en régime. C'est le cas lorsqu'on est en présence d'une séquence climatique longue et régulière.
- 2) Problèmes liés à des séquences climatiques simples et programmables par voie purement analogique : séquences théoriques ou approximation de séquences réelles de l'ordre de quelques jours.
- 3) Problèmes liés à des séquences climatiques réelles et de longue durée (plusieurs mois) (fig. 3).

### Conception thermique des bâtiments

#### Confort d'hiver et de demi-saison

La conception actuelle du chauffage central telle qu'on la rencontre actuellement dans les logements et, notamment, les logements sociaux répond de moins en moins aux exigences actuelles de confort et s'adapte mal à certaines tendances de la construction moderne.

Depuis quelques années déjà, on a entrepris des études sur l'adaptation du chauffage central à ces conditions modernes de l'habitat.

Ces études tendent de combiner efficacement tous les paramètres en jeu dans la création du confort thermique en vue : d'améliorer les prestations, de diminuer le coût de construction (en combinant le chauffage et les autres techniques de construction), de diminuer le coût d'exploitation.

Les principales tendances de la construction moderne ayant une influence sur la thermique sont :

- le développement de la ventilation mécanique ;
- la diminution de l'inertie thermique ;
- l'augmentation des surfaces de baies vitrées ;
- l'amélioration de l'isolation des parois extérieures.

Les exigences de confort que met en cause la conception des chauffages classiques sont :

- une durée de chauffage de plus en plus longue qui comprend une longue période de demi-saison ;
- le souhait des occupants de posséder un réglage individuel de température ;
- le souhait d'obtenir une humidification de l'air en période froide autrement que par des moyens rudimentaires.

Les études comprennent :

- des observations en logements habités ;
- l'étude en laboratoire des caractéristiques des dispositifs de régulation ;
- des calculs sur le simulateur analogique.

Des observations ont été effectuées dans plusieurs immeubles collectifs construits dans différentes régions, ceci pour pouvoir faire intervenir l'influence du climat.

L'exploitation statistique faite sur ordinateur numérique a mis en évidence l'influence de l'ensoleillement et du vent sur les besoins en calories, ainsi que les distorsions entre les consommations observées et celles que laisse prévoir le calcul classique : ceci devrait permettre d'améliorer le calcul « a priori » des consommations. Elle a fourni également quelques enseignements :

- Les planchers chauffants par câbles électriques conduisent à des consommations supérieures à celles d'un chauffage par radiateurs en Région Parisienne quand la régulation est uniquement faite en fonction de la température extérieure (plus grande inertie du système).
- L'économie apportée par une régulation par façade est de l'ordre de 4 à 5 %.

Des calculs effectués sur modèle analogique montrent qu'il est possible d'apporter, à la régulation des différents types de chauffage, des améliorations très importantes qui se traduiraient par une économie de 10 à 15 %.

### Perception de l'espace intérieur

Une approche expérimentale des exigences spatiales dans l'habitat humain a été entreprise conjointement par le CSTB et l'association d'anthropologie appliquée. L'étude portait sur :

- les seuils perceptifs de la vision en profondeur ;
- les demandes en hauteur sous plafonds liées aux dimensions de la pièce.

Le dispositif expérimental réalisé dans la station de recherche du CSTB à Champs-sur-Marne consiste en une pièce constituant un parallélépipède rectangle dont trois éléments sont mobiles : le plafond et deux des murs. 100 personnes ont participé en tant que « sujet » à cette étude dont on a pu tirer quelques constatations :

- Les sujets, dans leur quasi-totalité, sont capables d'apprécier des différences de profondeur de l'ordre de 20 cm entre 2 et 4 m.
- La hauteur sous plafond de 2,50 m est jugée satisfaisante pour des pièces dont la surface est de l'ordre de 12 m<sup>2</sup>, la préférence est, par contre, donnée à une hauteur de 2,70 m pour des pièces d'environ 30 m<sup>2</sup>.

Les résultats sont très intéressants, car ils justifient, à posteriori, la modification de la réglementation en matière de hauteur de plafonds qui avait ramené celle-ci de 2,70 m à 2,50 m pour les appartements.

Parallèlement, d'autres études expérimentales ont été entreprises dans des bâtiments scolaires. La hauteur de 3 salles de classe (normalement de 3 m) a été ramenée respectivement à 2,90 m, 2,70 m et 2,50 m. Ces salles, pour des questions de confort, avaient été équipées d'un système de ventilation mécanique dont le coût doit être compensé, en grande partie, dans une installation normale par l'abaissement de hauteur sous plafond.

Compte tenu de l'amélioration comparative du confort, l'enquête auprès des utilisateurs montre que, dans leur majorité, ceux-ci acceptent cette diminution de hauteur.

Dans le même ordre d'idée, on a pu mettre en évidence que grâce à un éclairage approprié, l'utilisateur acceptait fort bien les pièces profondes. Ce résultat positif permet de conclure à la possibilité de construire des bâtiments plus épais, donc plus économiques, sans diminution de la notion de bien-être pour l'occupant.

### Adaptation au mode de vie

Un certain nombre de « logements expérimentaux » bénéficiant d'une aide des pouvoirs a été réalisé dans la région parisienne.

Par opposition aux logements classiques dans lesquels l'affectation des pièces a un caractère un peu rigide, les plans étaient conçus de manière à fournir un espace supplémentaire non affecté, et laisser ainsi une plus grande souplesse d'adaptation aux besoins des divers usagers.

L'enquête a été effectuée auprès des familles en deux fois : aussitôt après emménagement et un an après. Les résultats en sont dans l'ensemble un peu paradoxaux, en ce sens que la souplesse d'emploi envisagée par le concepteur et appréciée comme telle tout au début par les familles n'a pas duré. Ces dernières ont en effet tendance, et très vite, à attribuer définitivement un usage unique à cet espace supplémentaire.

Il n'en reste pas moins que ces expériences et ces enquêtes sont extrêmement utiles pour mieux connaître les motivations des habitants, ainsi que l'évolution de ces motivations en fonction de l'environnement.

### Durabilité — étude du comportement des matériaux

A propos de l'exigence de durabilité, nous avons parlé de durée de vie normale de l'habitat. Cette notion a un certain caractère subjectif, car les habitudes liées à la construction de type traditionnel et à son coût de réalisation font dire couramment que la durée normale d'une construction ne doit pas être inférieure à cinquante ans. En fait, il serait tout à fait logique d'admettre une durée inférieure assortie d'un moindre coût, c'est un calcul économique à faire.

Indépendamment de cette notion, il faut admettre aussi que tous les ouvrages et tous les matériaux ne présentent pas le même caractère de résistance au vieillissement, et qu'il faut procéder suivant le cas à certains remplacements ou à un entretien suivi, notamment dans le second œuvre.

La notion de durabilité est également liée à celle de la sécurité dans la mesure où le vieillissement d'un matériau serait susceptible d'entraîner des accidents difficiles à prévenir. La connaissance des phénomènes de vieillissement et d'usure dans des conditions normales de mise en œuvre, est en particulier indispensable pour pouvoir porter un jugement de valeur à l'emploi d'un procédé ou d'un matériau nouveau qui doit satisfaire à des impératifs techniques et à des conditions d'emploi bien précises.

C'est le cas entre autres des matières plastiques qui s'utilisent de plus en plus dans le bâtiment. Dans un premier

temps, pour connaître leur comportement, on a exposé aux intempéries de nombreux échantillons dans différents sites, sous différents climats, et par des relevés successifs d'éprouvettes, entre un et six ans, après mesure des caractéristiques physiques, il a été possible d'en tirer des conclusions globales sur la résistance au vieillissement en extérieur, et sur certaines limites d'emploi. Le processus est long et mal adapté à une industrie dont la caractéristique est d'évoluer très vite.

De nombreuses études effectuées tant par les laboratoires de l'industrie privée, que les laboratoires officiels des centres de recherche ayant permis, pour quelques familles de plastiques tout au moins, de mieux connaître l'action destructrice des agents naturels (rayonnements ultraviolets, chaleur, oxygène, eau), on a pu établir une assez bonne corrélation entre le vieillissement naturel et un type défini de vieillissement accéléré. L'appréciation de durabilité peut alors être faite en quelques semaines au lieu de prendre plusieurs années.

Des méthodes d'analyse caractérisant le vieillissement du chlorure de polyvinyle (très largement employé en couverture ou en bardage) ont été définies en commun entre les organismes européens qui font partie de l'UEAtc (Union européenne pour l'agrément technique dans la construction). Ceci permettra, aux dispersions de mesures près, de porter le même jugement sur un même produit, et par conséquent d'établir une doctrine commune de l'emploi.

Les matériaux traditionnels ou considérés comme tels font également l'objet de recherches suivies dans de nombreux laboratoires spécialisés (gonflement et retrait de terres cuites, stabilisation et fluage des bétons, etc.). Le vieillissement ne met pas ici en cause la durabilité du matériau mais celle de l'ouvrage, en raison des désordres que de tels mouvements différentiels peuvent entraîner. Une attention toute particulière est accordée aux problèmes de corrosion des aciers sous tension, certains incidents ayant montré que leur comportement était assez différent de celui des armatures classiques.

#### Résistance des structures, règles de calcul

Le calcul des structures, lorsque les éléments qui les composent peuvent être considérés comme homogènes et que les efforts à prendre en compte sont définis avec une faible marge d'incertitude, sont relativement aisés. Les choses se compliquent lorsqu'on a affaire à des éléments composites, et que les modes de liaison entre les éléments ou les ouvrages sont tels qu'on ne puisse déterminer à priori quelle est la valeur des contraintes et où elles s'appliquent. Il faut procéder à de nombreux essais pour juger de l'importance des paramètres, déterminer les coefficients de sécurité et fournir les règles de calcul; c'est par exemple le cas des maçonneries. Un programme d'étude des règles de calcul de la maçonnerie a été établi en accord avec la commission DTU (Documents techniques unifiés).

Les moyens expérimentaux sont essentiellement une presse Losenhausen de 500 tonnes, et une presse à murs de 900 tonnes installées à la station de recherche de Champs-sur-Marne (fig. 4).

Les différentes étapes de l'étude ont consisté à introduire successivement un certain nombre de paramètres :

- Résistance mécanique des éléments constitutifs (brique et mortier par exemple pour les murs en briques creuses).
- Elancement du mur.
- Excentricité des charges appliquées.

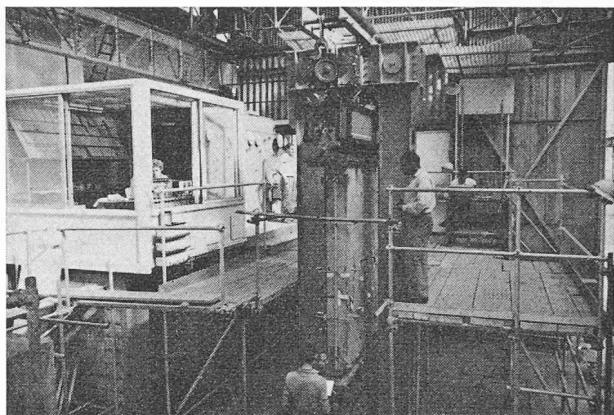


Fig. 4. — Presse de 900 tonnes pour essai des murs.

— Influence de quelques caractéristiques de mise en œuvre qui sont principalement :

- la qualité de la main-d'œuvre ;
- les conditions climatiques ;
- l'homogénéité des lots de matériaux.

Les résultats obtenus et leur dispersion autour de la moyenne permettront d'établir les règles de calcul.

On a également étudié le problème de résistance des joints entre éléments structuraux de constructions lourdes préfabriquées, en fonction des divers paramètres de forme et de qualité qui définissent les joints, le comportement de nombreux types de planchers, etc.

#### Domaines de recherches technologiques

Les études technologiques sont nombreuses, elles s'appuient sur les résultats scientifiques connus, mais sont orientées vers l'application. Leurs résultats servent soit à améliorer la qualité des produits ou des ouvrages, soit à améliorer la productivité, donc les coûts. Bien que cette classification soit incomplète, on peut parler à son sujet de trois grands domaines :

- les éléments en béton ;
- les éléments légers et les revêtements ;
- les équipements.

#### Éléments en béton

Les procédés de fabrication en usine de panneaux de béton impliquent une rentabilisation minimale des équipements et des installations. Pour accélérer le durcissement et permettre le démoulage et la manutention des blocs, on est amené à traiter thermiquement le béton, par moules chauffants, ou par utilisation de rayonnements infra-rouges. Or, un durcissement accéléré est susceptible, dans certains cas, d'amener une perte des caractéristiques mécaniques soit localement, soit pour l'ensemble de l'élément. Les deux modes de chauffage précités ont fait l'objet d'essais systématiques qui ont permis, en fonction du but recherché, de déterminer le régime de traitement optimal.

Différents types de béton ont été essayés. On a constaté en particulier que les bétons d'argile expansée nécessitaient, pour conserver leurs qualités à long terme, un chauffage modéré.

L'étude des panneaux composites à âme polystyrène réalisés en moules chauffants, a mis en évidence certains phénomènes liés à la discontinuité thermique entre les voiles

de béton séparés par l'isolant : écarts très sensibles de résistance au démoulage entre les voiles, qui diminuent avec le vieillissement mais restent néanmoins importants. La suite de l'étude doit fournir une explication de ce phénomène, et permettre donc d'y pallier.

Dans le cadre général de recherche sur les éléments préfabriqués en béton, on a examiné également :

- l'influence de la nature des coffrages sur les qualités de surface ;
- le problème de liaison des plaques de pierre calcaire de revêtement et du béton, celui de la tenue de revêtements de diverses natures (grès cérame, pâte de verre) sur des bétons légers plus déformables que les précédents ;
- les problèmes d'étanchéité des éléments et de leurs joints, de la résistance des joints horizontaux entre éléments lourds ;
- etc.

### Eléments légers et revêtements

La fabrication d'éléments de remplissage des façades ou de façades légères, se développe de plus en plus. La diversité des procédés fait que, dans la plupart des cas, il est nécessaire d'effectuer des essais et des mesures, fonctions, des solutions proposées.

Le CSTB, après de nombreuses études et enquêtes, a défini, en accord avec ses partenaires de l'UEAtc, des directives communes pour l'agrément des façades légères auxquelles il est nécessaire de se référer pour mener et interpréter les essais en question.

Ces essais couvrent pratiquement l'éventail des exigences mentionnées précédemment qu'il est donc inutile de rappeler. Disons simplement que : la résistance mécanique aux agents atmosphériques, aux chocs exceptionnels intérieurs ou extérieurs dits « chocs de sécurité », le comportement à la chaleur, au froid, à l'humidité, posent de nombreux problèmes technologiques qui ne sont pas toujours simples à résoudre de manière satisfaisante.

Pour l'étude des cloisons légères, on a mis au point la méthode et l'appareillage nécessaire à la détermination des déformations sous l'effet des efforts horizontaux et sous les effets hygrothermiques, compte tenu de la liaison des éléments entre eux et des liaisons avec la structure.

Les revêtements de sol minces ainsi que les revêtements muraux font l'objet d'essais systématiques concernant leur aptitude à l'emploi. Là encore, des procédures d'essais

et des appareillages ont été définis et mis au point qui permettent de qualifier le produit. Mentionnons, à titre d'exemple, les machines d'endurance utilisées pour caractériser la résistance à l'usure des revêtements de sol (fig. 5).

### Equipements

Ce domaine est déjà très vaste, et il s'enrichit constamment en raison, d'une part, de la tendance naturelle des utilisateurs à disposer d'équipements de plus en plus nombreux et variés et d'autre part de la diversité des moyens et des procédés susceptibles d'être employés pour y parvenir. La notion de coût et de productivité incite en effet de nombreux fabricants ou installateurs à faire appel à des techniques et à des produits nouveaux généralement plus économiques, mais qui n'ont pas toujours la sanction de l'expérience.

Une grande partie des recherches consiste donc à qualifier et améliorer ces procédés nouveaux, à leur fixer éventuellement des limites d'emploi, indépendamment des études consacrées au perfectionnement du traditionnel.

A titre d'exemple, l'hydraulique du bâtiment, qu'il s'agisse : des canalisations d'adduction, d'évacuation ou de chauffage avec leurs joints et leurs raccords, ou bien de la robinetterie sous toutes ses formes, a fait et fera encore pendant de nombreuses années l'objet de recherches et d'essais, dont les résultats sont indiscutablement bénéfiques pour l'économie.

Citons :

- les machines automatiques d'endurance construites au CSTB, qui servent à qualifier la robinetterie, dans le cadre d'études menées conjointement avec le Centre d'étude technique des industries mécaniques (CETIM) ;
- les études effectuées sur les canalisations en chlorure de polyvinyle utilisées pour les installations de chauffage, qui ont permis entre autres choses de définir les conditions d'installation : emplacement des appuis et des joints de dilatation, espacement optimal entre appuis... ;
- les recherches concernant le régime d'écoulement des eaux dans les canalisations d'évacuation, en fonction du diamètre de la conduite principale, du nombre d'étages, du nombre d'appareils raccordés, de la nature et de l'emplacement de ces raccordements, dont on a également tiré des règles d'installation.

### Applications — Normalisation — Avis technique — Codification

Pour que les recherches soient rentables, il faut bien entendu assurer une large diffusion aux résultats obtenus, afin que tous les professionnels du bâtiment puissent s'en servir. Si, dans les domaines scientifiques, cette diffusion s'effectue surtout par l'intermédiaire des revues spécialisées, dans les domaines plus spécifiquement orientés vers l'application il existe des moyens éprouvés qui s'appellent : codification et normalisation pour le traditionnel ; avis technique (agrément) pour les procédés et matériaux nouveaux ;

L'intérêt de la normalisation dans le bâtiment est suffisamment bien connu pour n'avoir pas besoin d'être explicité longuement. Disons que son objectif général est de simplifier, unifier et spécifier, par un ensemble de règles techniques ou qualitatives, en vue d'obtenir un meilleur rendement dans tous les domaines d'activité.

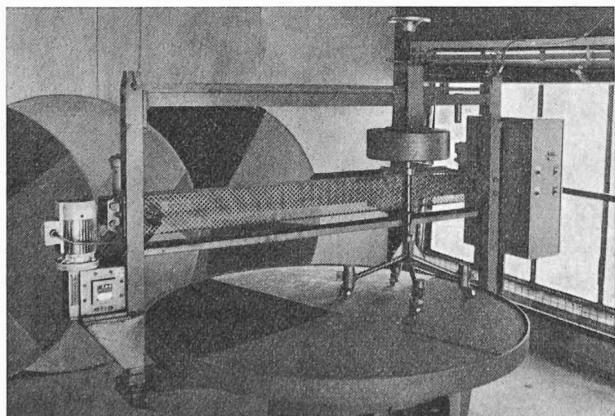


Fig. 5. — Machine d'essai des revêtements de sol.

Elle facilite les échanges de biens et de services pour un meilleur ajustement des besoins respectifs de l'offre et de la demande.

Elle permet une économie de matière et de services pour la fabrication qui doit conduire à un abaissement des coûts de production.

La normalisation la plus courante est du type *a posteriori*, elle correspond à des produits bien connus, offerts sur le marché en un nombre important d'exemplaires.

La normalisation *a priori* est plus rare et on n'y recourt que dans des cas bien déterminés, notamment quand un produit nouveau tend à se substituer à des produits similaires utilisés de longue date. On est alors en droit d'exiger par la normalisation, des qualités et caractéristiques comparables pour le produit nouveau. Ce type de normalisation peut présenter des inconvénients, car il faut être suffisamment bien informé sur les possibilités intrinsèques ou d'utilisation du produit. Lorsque la question est délicate et ne peut valablement être traitée ni par la normalisation, ni par l'application des règles habituelles de calcul ou de mise en œuvre, on est conduit à soumettre le produit et sa fabrication à l'examen d'un organisme compétent. Ceci est fait en France avec l'agrément du CSTB, et dans d'autres pays européens qui exécutent ou suivent les règles établies par l'UEAtc.

L'agrément, qui doit s'appeler dorénavant « avis technique », est dans sa définition même un avis technique favorable concernant l'aptitude à l'emploi d'un matériau ou d'un procédé non traditionnel.

Il est délivré après examen du projet par une commission de sages au sein de laquelle sont représentés : des entrepreneurs, des spécialistes et des organismes de contrôle.

Bien entendu, ce n'est pas autour du tapis vert que s'effectue l'instruction du projet. On procède :

- à de nombreux essais en laboratoire ;
- à des visites d'usine, s'il s'agit d'un produit industriel, pour s'assurer que les conditions de fabrication permettent de garantir le suivi dans les qualités du produit ;
- à des visites de chantier s'il s'agit de procédés ;
- à des enquêtes de satisfaction ;
- etc.

En tout état de cause, un avis même entouré de toutes les garanties voulues, lorsqu'il est donné sur un produit nouveau, ne peut avoir la même valeur que celui qui pourrait être formulé par exemple sur la pierre extraite d'une carrière connue. C'est la raison pour laquelle, dans la plupart des cas, on limite sa validité à un temps déterminé (trois ans en général) après quoi la commission estime si elle doit, à la lumière d'une expérience un peu plus longue, réviser ou non son jugement.

Quand un matériau ou un procédé a fait la preuve de ses qualités pendant une certaine durée, il est alors classé traditionnel et justifiable de la norme ou des documents techniques d'exécution.

A ce propos, il faut noter qu'il n'y a pas encore très longtemps, les clauses techniques imposées par les maîtres d'œuvre étaient assez disparates et dans certains cas contradictoires d'un chantier à l'autre. Un effort de rationalisation et de codification s'imposait.

C'est en 1958 qu'en France, la décision a été prise d'unifier les documents techniques applicables à la construction traditionnelle. Il n'est pas question dans ce domaine d'innover, mais d'unifier et par ce moyen d'accroître la productivité en supprimant le temps consacré :

- dans les administrations et bureaux d'étude à la rédaction de documents sur mesure ;
- dans les entreprises, à l'étude et à l'assimilation de ces documents avant soumission.

Ces documents sont remplacés par un ou plusieurs Documents Techniques Unifiés (DTU) sur la rédaction desquels tout le monde est tombé d'accord après une plus ou moins longue période de rodage.

Les DTU sont approuvés à la règle de l'unanimité par un groupe de neuf membres représentant les professions du bâtiment, les organismes de recherche et de contrôle.

## **Coordination des recherches — Coopération internationale**

Les moyens consacrés à la recherche représentent en général de 0,1 à 0,2 % du chiffre d'affaires de l'industrie du bâtiment, c'est-à-dire moins du dixième de ce qui est considéré comme normal dans les autres industries. Il s'agit donc indépendamment de l'accroissement souhaitable de ces moyens, de les utiliser au mieux par un choix judicieux des objectifs et une répartition des tâches entre les centres de recherche.

Le problème se pose surtout à l'échelon international, car sauf exception, il est relativement simple à résoudre sur le plan national.

C'est peu après la deuxième guerre mondiale que le bureau des Nations Unies à Genève a pris des initiatives pour l'échange mutuel d'informations entre pays dans le domaine de l'habitat et du bâtiment, puis pour encourager la coopération internationale dans le domaine des travaux scientifiques et techniques. C'est ainsi que fut fondé le CIB (Conseil international du bâtiment).

De nombreuses commissions de travail ont été créées sous son égide sur des thèmes importants d'intérêt commun à la plupart desquels nous participons soit comme animateur, soit comme membre.

Il faut reconnaître que cette procédure est efficace, car les échanges mutuels d'information entre chercheurs permettent dans bien des cas d'éviter les duplications d'études.

Dans le domaine de la normalisation, nous participons également à une vingtaine des comités techniques de l'organisation internationale de normalisation (ISO) et à douze des groupes de travail du Comité Européen de Coordination des Normes (CEN).

Enfin pour l'emploi des matériaux et des procédés nouveaux, qui nécessitent comme il a été dit précédemment un avis technique ou agrément, il y a lieu de mentionner la création de l'UEAtc par le CSTB et sept autres instituts européens appartenant aux pays suivants : la Grande-Bretagne, l'Allemagne, les Pays-Bas, la Belgique, l'Italie, l'Espagne et le Portugal.

Un très important travail a été fait en commun concernant : les règles générales de qualité, la détermination des caractéristiques, les méthodes d'essais, les règles de calcul, etc.

Les documents qui en résultent sont édités sous le titre de Directives Communes pour l'Agrement. Elles concernent

- les revêtements de sol ;
- les cloisons en plâtre ;
- les fenêtres ;
- les portes ;
- les façades légères ;
- les maisons légères ;

- les procédés de construction par grands panneaux lourds préfabriqués ; etc...

L'intérêt de cette coopération et des résultats obtenus réside dans le fait qu'au sein de l'union européenne joue la réciprocité, les agréments délivrés dans un pays sont confirmés dans un autre sans que l'instruction technique soit reprise. Ce faisant, on peut considérer qu'on assure une orientation technique des nouveaux procédés dans un sens favorable à l'industrialisation.

### L'industrialisation

On parle d'industrie du bâtiment et à juste titre, puisque d'après le dictionnaire, il s'agit de l'ensemble des activités et des métiers qui produisent des bâtiments. Alors, qu'est-ce que l'industrialisation ? Il n'est pas très facile d'y répondre, mais une assez bonne définition pourrait être la suivante : l'industrialisation s'oppose essentiellement à l'artisanat et consiste dans la mise en œuvre de techniques et de procédés permettant pour un prix moindre, ou à la limite pour le même prix, d'utiliser moins de main-d'œuvre et de la main-d'œuvre moins qualifiée. Notons tout de suite cette notion de prix de revient qui lie à d'autres problèmes spécifiques du bâtiment fait que cette industrie ne peut guère être comparée à d'autres plus récentes dont le développement a été spectaculaire.

En effet, personne ne pourrait imaginer que l'on construise actuellement des automobiles comme en 1900, alors que l'on continue encore dans de nombreux cas à monter des murs de maçonnerie, à poser des charpentes ou des toitures de manière pas tellement différente d'il y a cent ans ou plus. Si cela se fait, c'est que dans le cas considéré (aspect esthétique mis à part) cela coûte moins cher que de déplacer des éléments lourds préfabriqués avec les équipements de montage voulus.

L'industrialisation ne peut donc se développer que dans un contexte économique déterminé et quand un minimum de conditions sont remplies. Vouloir les transgresser ne peut conduire qu'à des échecs.

C'est vers les années 1935-1936 qu'une première tentative a été faite en France, sans résultat probant d'ailleurs, car le rythme de la construction était tel à cette époque, que les moyens traditionnels y satisfaisaient largement.

Après la seconde guerre mondiale, les programmes de plus en plus importants qu'impliquaient à la fois la reconstruction, et la nécessité de satisfaire aux besoins d'une démographie en expansion, ont créé un déséquilibre entre l'offre et la demande, propice au développement de l'industrialisation.

Les premières idées sérieuses en la matière ont consisté à fabriquer des panneaux de la hauteur d'un étage, mais de largeur n'excédant guère 0,90 m. Le poids de ces éléments (1 t. environ) correspondant sensiblement à la puissance des engins de levage les plus couramment utilisés à l'époque.

L'ennui pour ce type de panneaux réside dans la multiplication des joints qui sont, comme chacun le sait, toujours des sujets de difficulté. On en vint donc rapidement à faire des éléments ayant la dimension des pièces. Les joints sont alors réduits en nombre et se situent aux intersections des éléments transversaux et longitudinaux, c'est ce qu'on appelle la famille des grands panneaux.

Ceux-ci sont fabriqués en usine selon des techniques plus ou moins élaborées, plus ou moins automatisées qui sont elles-même fonction de l'importance des séries et de la cadence souhaitée de production.

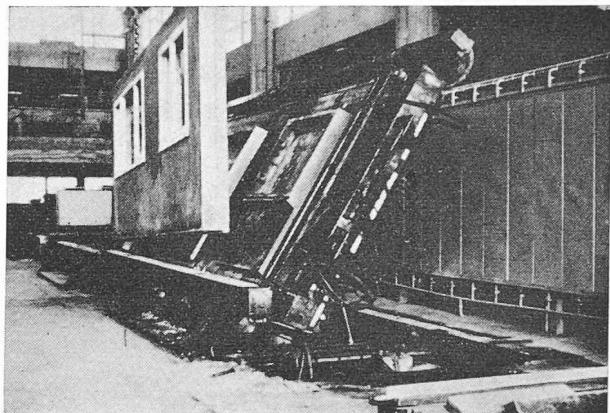


Fig. 6. — Coulée en moule. Préfabrication de panneaux de façade.

On moule le béton soit horizontalement sur des tables caissons équipées la plupart du temps de dispositifs de relevage automatique, soit verticalement dans les batteries d'alvéoles (fig. 6).

Si les problèmes de préfabrication en usine sont assez bien résolus il en reste d'autres très importants qui sont : le transport sur le chantier et la mise en œuvre.

Le transport s'effectue le plus souvent par route au moyen de semi-remorques. Il faut respecter le gabarit routier, ou demander des dérogations pas toujours faciles à obtenir. Dans certains cas, l'encombrement des voies est tel (banlieue des grandes villes par exemple) qu'on peut être amené, pour éviter des désagréments sérieux, à limiter l'emploi des grands panneaux. Par exemple, on supprimera le transport des éléments les plus encombrants : les planchers qui pourront être coulés sur place. A la limite on supprimera totalement l'inconvénient du transport en fabriquant les panneaux en atelier forain. C'est peut-être moins satisfaisant sur le plan de la rationalisation qu'une préfabrication en usine, mais c'est souvent une bonne solution sur le plan de l'économie.

La mise en place des grands panneaux ne pose pas de problème particulier avec les engins de levage actuels, mais l'idée de supprimer à la fois les problèmes de transport et de mise en œuvre des éléments conduit à une deuxième famille de procédés : celle du béton banché ou, autrement dit, celle des techniques utilisant des coffrages industrialisés.

On réalise des coffrages tunnels soit en assemblant deux demi-coquilles en forme d'équerre ou en utilisant une monocoquille.

Dans les deux cas, après mise en place des tunnels et avant bétonnage en une seule opération des murs et des planchers, on met en place en une seule fois à l'aide de la grue, tout ce qui doit se trouver incorporé dans les dalles de plancher : armatures, tuyaux de chauffage, gaines pour circuit électrique, etc. qui a été préparé et solidarisé à l'avance (fig. 7.)

Une troisième famille de procédés qui complète souvent les structures en béton banché est celle des façades légères. Ces éléments de façade légère sont : soit des murs rideaux placés devant le nez des refends ou des planchers, soit des panneaux de façade insérés entre les refends et les planchers. Ils sont composés en général d'un cadre menuisé (bois ou métal) dans lequel se trouvent sertis : un parement extérieur, un isolant, un parement intérieur. Le prix de ces éléments est encore assez élevé et constitue un obstacle à leur développement, dans le logement tout au moins, car

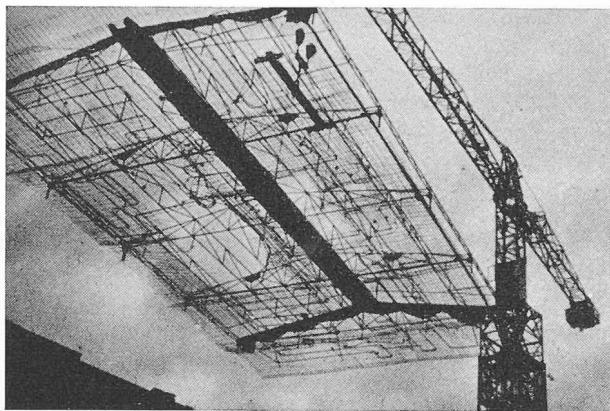


Fig. 7. — Mise en place des armatures et des équipements incorporés.

on en trouve au contraire de nombreuses applications dans les locaux scolaires.

Si l'on met à part les procédés de coffrage industrialisés, l'essentiel des préfabris ne concernait, il y a encore peu d'années, que des éléments plans. On a imaginé ensuite de préfabriquer en usine des éléments tridimensionnels. Ce fut d'abord les gaines techniques qui réunissent dans un bloc de la hauteur d'un étage un certain nombre de conduits (ventilation, conduits de fumée, vide ordures, etc.). Cette préfabrication est très répandue, en raison des avantages qu'elle apporte aux entreprises de gros œuvre en les libérant de la sujexion de couler en place les gaines, dans des moules compliqués et d'un faible réemploi (fig. 8).

Une deuxième approche de la préfabrication tridimensionnelle est celle des blocs techniques : c'est un procédé déjà nettement plus compliqué puisqu'il s'agit de réaliser une cellule complète comprenant les parois de béton, les appareils sanitaires, les conduits d'alimentation et de vidange.

Dans ces deux cas, gaines ou blocs techniques, on est en présence d'éléments complémentaires aux procédés de construction industrialisée auxquels ils doivent s'adapter, et leur développement ne peut être que limité. Il devenait en conséquence logique d'aller plus loin et de concevoir des éléments en volume, qui puissent constituer des constructions complètes, par juxtaposition et clavetage des éléments adjacents (fig. 9).

Ces éléments sont entièrement fabriqués en usine où ils reçoivent toutes les finitions : portes et fenêtres, revêtements de sol, peintures, etc. Leur fabrication relève de deux techniques. La première consiste à assembler des éléments plans coulés sur table ou en batterie ; la seconde consiste à mouler sur une machine spéciale les faces successives de l'élément en volume, auquel on assure un monolithisme complet (fig. 10).

Après finition, les éléments sont transportés sur remorque jusqu'au chantier, où ils sont mis en place à l'aide de grues de forte puissance.

Dans ces systèmes la majeure partie du travail est effectuée en usine ; sur le chantier on assemble, on raccorde, et on procède à quelques finitions mineures, c'est un avantage considérable pour une meilleure utilisation de la main-d'œuvre.

Les systèmes qui viennent d'être évoqués concernent surtout les immeubles collectifs mais peuvent être appliqués aux maisons individuelles, encore que la mise en œuvre d'éléments lourds et le déplacement des moyens de levage que cela implique ne se justifient que pour des lotissements

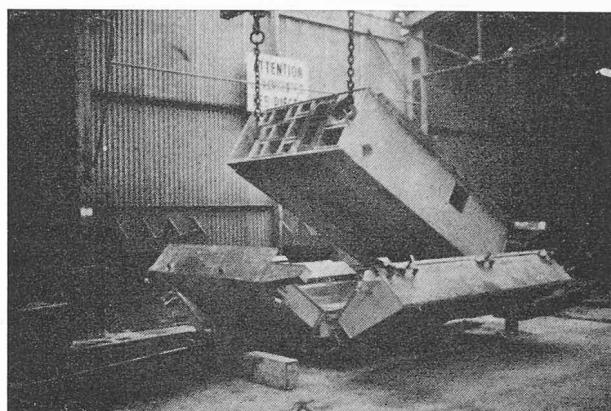


Fig. 8. — Préfabrication d'une gaine technique.

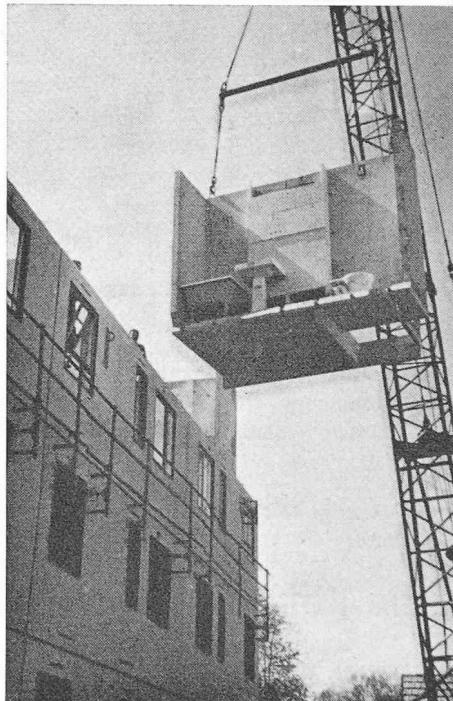


Fig. 9. — Mise en place d'un bloc technique.

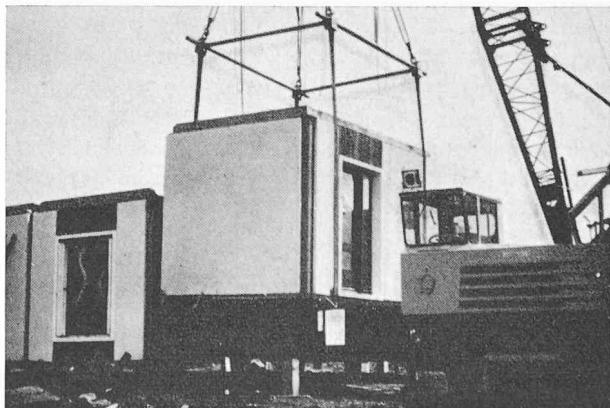


Fig. 10. — Assemblage de cellules complètes.

relativement importants. On utilise également pour ce type de maisons des systèmes « meccano » ; l'ossature est métallique, les murs sont constitués de panneaux en béton de petite dimension, les cloisons sont en panneaux de plâtre alvéolé ou de particules — tous éléments standards qui relèvent d'une fabrication en grande série, donc économique.

Voilà ce qu'on peut dire sur la situation actuelle de l'industrialisation : des systèmes qui marchent, mais pas encore de bouleversements spectaculaires tant sur les prix que sur l'augmentation de la production.

Les deux se tiennent, et c'est une évidence que ce qui peut être construit à plus de 100.000 exemplaires doit revenir moins cher que ce qui ne sera construit qu'à quelques milliers.

Est-il pensable d'imposer le même type de logement à 100.000 exemplaires, par exemple, pour y parvenir. Certainement pas, car au-delà de la productivité il faut penser à la satisfaction de l'usager qui s'accorde mal d'un excès d'uniformité.

Il faut donc admettre que si le logement ne relève pas de la grande série, celle-ci pourrait par contre s'appliquer à ses éléments.

L'industrialisation des éléments est connue en France sous le nom de « Système ouvert ». Cela consiste à fabriquer non seulement pour sa propre consommation si l'on est constructeur, mais aussi pour celle des autres. Bien entendu cela implique de définir des règles précises :

- règles de coordination dimensionnelle, lesquelles ont été codifiées dans les normes françaises ;
- règles de qualité, qui se trouvent dans l'avis technique ou l'agrément.

En plus de ces règles qui permettront en quelque sorte d'établir un catalogue des éléments définis par les qualités et dimensions acceptées par les utilisateurs, il faudra que

ces derniers prennent de plus en plus l'habitude de se servir de ces éléments.

Il s'agit là d'une action de longue haleine pour le succès de laquelle de nombreux efforts devront être faits ; information pour tous, adaptation des plans par les architectes, incitation sous diverses formes de la part des pouvoirs publics.

Par ailleurs, il reste encore beaucoup à faire pour améliorer les techniques existantes, et pour créer des techniques nouvelles.

A titre d'exemple, il est certainement possible de perfectionner les procédés de production des panneaux de béton : mécanisation plus poussée, optimisation du chauffage, souplesse de fabrication ; on peut également améliorer la solution des problèmes de qualité d'aspect, de parementage, de finition superficielle, etc.

Dans le domaine des nouveautés, il est difficile de prédire ce qui sortira dans les prochaines années. Les difficultés proviennent de ce que, pour le moment, les gens du bâtiment sont assez mal informés des possibilités techniques dont disposent les autres branches industrielles et, réciproquement, ces autres branches ne sont pas suffisamment au courant des problèmes du bâtiment. Néanmoins, la création, dans ces autres industries, de secteurs bâtiment, même très embryonnaires, est la preuve d'une prise de conscience des problèmes futurs et de l'importance du marché potentiel que représente la construction de millions de logements dans la prochaine décennie.

Sans croire pour autant à la sortie prochaine du matériau ou du procédé miracle, on peut espérer que l'industrialisation du bâtiment ayant pris son second souffle ne fera qu'aller de l'avant.

Adresse de l'auteur :

A. Aigrot  
C. S. T. B. 4, av. du Recteur Poincaré  
75 Paris 16<sup>e</sup>

## Etude de l'implantation d'une usine — Un cas concret<sup>1</sup>

par SIR FREDERICK WARNER, président de la FEANI, Fédération européenne d'associations nationales d'ingénieurs, Londres

La difficulté qu'éprouve l'industrie chimique à réaliser des bénéfices suffisants a fait ressortir l'influence qu'exercent l'emplacement et la disposition de l'exploitation sur la rentabilité. Il est évident que ces facteurs sont souvent directement responsables des difficultés à atteindre les prévisions de vente ou des retards dans la mise en service. Mumford [1]<sup>2</sup> a mis en évidence les possibilités d'erreurs que comportent les prévisions, et Holroyd [2] le coût des retards. Ces deux facteurs prennent une importance croissante lorsque les dimensions de l'usine augmentent, même si elles sont prévues dans l'espoir de réduire l'influence des frais de capitaux sur ceux de fabrication.

### Dimensions et projets

L'économie que l'on escompte en dimensionnant convenablement l'usine est un problème plus familier aux ingénieurs chimistes qu'aux autres ingénieurs. On a dès longtemps établi des relevés graphiques des frais d'équipement sous forme de diagramme à double échelle logarithmique

dans lequel la variation du coût en fonction de la grandeur est représentée par des droites dont l'inclinaison est d'environ 0,6 %. Cette relation s'appelle « règle des 6 : 10 de Chilton » [3]. La voici sous forme d'équation :

$$\text{Coût} = k (\text{dimensions})^{0,6}.$$

Il en existe un certain nombre de variantes qui font l'objet de tableaux établis par Aries et Newton [4]. La plupart des parties d'usine sont conformes à la règle à cause du rapport fondamental entre la surface d'une enveloppe et son volume. Des divergences apparaissent lorsqu'on ne peut obtenir une dimension supérieure qu'en multipliant les unités de production. On doit à Woolcock [5] une étude générale des variantes. Un cas particulier avec un exposant

<sup>1</sup> Exposé présenté à l'issue de l'assemblée des délégués de la Société suisse des Ingénieurs et Architectes, le 13 décembre 1969 à Berne. Le texte original en anglais a paru dans *Long Range Planning*, mars 1969.

<sup>2</sup> Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.