Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 102 (1976)
Heft: 20

Artikel: Informatique appliquée au génie civil et au bâtiment
Autor: Dysli, Michel / Mattenberger, Philippe
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-72956

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: 17.07.2025

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

Informatique appliquée au génie civil et au bâtiment[1]

par MICHEL DYSLI et PHILIPPE MATTENBERGER, Lausanne

Introduction

L'usage de l'ordinateur par les ingénieurs du génie civil et du bâtiment est encore récent et son introduction dans les bureaux d'étude comme moyen conventionnel de calcul est loin d'être terminée. Le génie civil est toujours en train d'élever un jeune enfant appelé informatique qui lui pose bien des problèmes d'éducation malgré la perfection des jouets qu'il a à disposition.

Il n'est donc pas inutile de faire le point de la situation actuelle de l'emploi de l'ordinateur par le génie civil et le bâtiment et de discuter un peu des développements et améliorations possibles dans cet emploi.

Nous allons tout d'abord, après un bref historique, énoncer les principaux domaines d'utilisation de l'ordinateur dans le domaine du génie civil et du bâtiment. Nous tenterons après de mettre en relation les différentes catégories de logiciel d'application existant et les divers aspects de l'activité de l'ingénieur et analyserons et illustrerons les problèmes de communication entre la machine et l'homme. Nous discuterons ensuite rapidement des causes probables de l'échec relatif de son usage parmi les ingénieurs, échec relatif aux domaines commerciaux, administratifs, bancaires et à certains autres domaines techniques. Nous consacrerons enfin quelques lignes au matériel disponible aujourd'hui et pouvant être utilisé dans des bureaux d'ingénieurs de petite à moyenne importance.

Cet article ayant pour origine une conférence d'information donnée dans le cadre de la Société des Ingénieurs et Architectes, il s'adresse donc plutôt à des profanes en matière d'informatique appliquée au génie civil.

1. Historique

En Suisse, dans le domaine qui fait l'objet de notre propos, l'ordinateur fut pour la première fois utilisé vers 1957 pour la résolution de systèmes d'équations linéaires en relation, par exemple, avec la méthode arc-mur utilisée notamment pour le dimensionnement des barrages et, d'une façon plus générale, avec les méthodes des forces ou des déformations pour la détermination des efforts dans des systèmes de barres ; lors de ces premières utilisations de l'ordinateur, toutes les équations du système devaient être écrites par l'ingénieur. Ensuite ou parallèlement des programmes furent développés pour des calculs d'oscillation en masse dans les adductions d'aménagements hydroélectriques, pour le calcul de courbes de remous et pour la régulation de bassins de compensation.

Avant 1960 on vit aussi apparaître les premières applications de l'ordinateur à la topographie et aux études de trafic.

Les programmes plus sophistiqués et d'un usage général tel le programme bien connu du calcul des structures en barres à deux ou trois dimensions STRESS, ne furent introduits en Suisse que vers 1966.

Aujourd'hui l'ingénieur civil dispose théoriquement d'une gamme très étendue de programmes allant de l'analyse de systèmes — système pris dans son sens le plus général — par des méthodes de recherche opérationnelle, au calcul de coques très épaisses en état plastique au moyen de la méthode des éléments finis en passant par des applications plus routinières comme l'établissement des listes d'acier avec dessin des schémas d'armatures.

[1] Exposé fait à Genève le 17 mars 1976 dans le cadre d'une journée d'information de la SIA.

2. Bref inventaire du logiciel disponible dans le domaine du génie civil et du bâtiment

Pour ce bref inventaire nous allons suivre la démarche générale d'un constructeur, qui débute par une analyse du système que constitue l'ouvrage qu'il doit réaliser, se poursuit, après quelques avant-projets, par l'établissement d'un programme de réalisation et d'un plan financier, puis par la phase de dimensionnement des éléments du système et qui se termine par l'exécution de l'ouvrage.

L'analyse de systèmes concerne toutes les branches de l'ingéniérie. Comme Monsieur Jourdain, qui faisait de la prose sans le savoir, l'architecte ou l'ingénieur ont fait de tout temps de l'analyse de systèmes ; mais c'est seulement depuis l'invention de méthodes mathématiques raffinées en relation étroite avec les ordinateurs — la programmation linéaire, par exemple, ne date que de 1941 où elle fut utilisée la première fois pour un problème de transport — que cette discipline est mise en évidence. Les principales techniques informatiques utilisées pour cette analyse sont la simulation de processus discrets par des programmes (langages) tels que le GPSS et le SIMULA, la simulation de processus continus par des programmes tels que le MIMIC et le CSMP et la programmation linéaire (programme MPS, par exemple). Ces techniques s'appliquent, en particulier, dans la conception des aménagements de production d'énergie, lors de projets de réseaux de communication, lors des études d'aménagement d'un territoire, dans l'analyse des processus industriels tel celui de la fabrication du ciment et dans certaines études architecturales. L'ingénieur et l'architecte ne sont en général pas encore formés à l'utilisation des techniques de recherche opérationnelle appliquées à l'analyse des systèmes et cette analyse avec ses techniques est en général confiée à des spécialistes. En Suisse elle est cependant de plus en plus utilisée dans les grandes organisations d'ingénieurs et dans le domaine des transports par quelques bureaux spécialisés. L'architecte en tant qu'urbaniste et aménageur n'applique encore que peu ces méthodes qui ont cependant des débouchés très intéressants dans ce domaine.

Le système général étant étudié il s'agit alors, après quelques avant-projets d'éléments du système qui peuvent nécessiter l'usage de l'ordinateur, d'établir le *programme de réalisation* et d'estimer le *coût des ouvrages*. Le constructeur dispose pour cela d'une méthode bien connue mais quelque peu critiquée : c'est la méthode du chemin critique basée sur la théorie des graphes. Divers logiciels appliquent cette méthode en y introduisant ou pas le coût de chaque élément du système. Cette méthode peut être utilisée tout au long du projet et de sa réalisation mais, expérience faite, nous pensons que c'est au stade du projet qu'elle est la plus utile et paradoxalement la moins employée. Au stade de l'exécution elle implique une organisation bien structurée qui s'adapte assez mal, en Suisse, à celle de la profession d'ingénieur et d'architecte. On peut cependant, pendant l'exécution du projet, utiliser son principe sans faire usage de programmes sur ordinateur qui sont souvent plus faits pour envoyer des hommes sur la lune que pour optimiser l'exécution d'un bâtiment.

Nous allons maintenant nous attarder un peu plus longtemps au domaine traditionnel de l'ingénieur civil, soit le *dimensionnement des ouvrages* que nous allons diviser en

quatre spécialités : les structures, la mécanique des sols et des roches, les implantations et tracés et l'hydraulique.

Dans la spécialité des *structures* nous retiendrons seulement les quelques applications remarquables que sont :

— la détermination des efforts dans des systèmes de barres avec linéarité géométrique et rhéologique (élasticité linéaire) ; le programme STRESS est un bon exemple de ce type d'application ;

— la détermination des efforts dans un système d'éléments de forme plus ou moins quelconque (barre, plaque, coque, volume) avec linéarité géométrique et rhéologique ; les programmes STRUDL, STRIP, SAP illustrent cette catégorie ;

— la détermination des efforts dans un système d'éléments de forme plus ou moins quelconque avec non-linéarité géométrique et rhéologique et analyse dynamique ; des programmes tels que, par exemple, le NASTRAN, le MARC, le TRIDI de l'EPFL, le NONSAP et le STAGS permettent une telle détermination ;

— le dimensionnement des sections ;

— l'établissement automatique des plans de coffrage ;

— l'établissement des listes d'acier.

Dans ce domaine, l'usage de l'ordinateur a un peu bouleversé les méthodes traditionnelles de vérification des dimensions d'un ouvrage ; les méthodes graphiques de la statique ont fait place à des méthodes analytiques, telles les méthodes des déformations et des forces qui, si elles existaient depuis longtemps, n'étaient que très rarement utilisées du fait du nombre considérable d'équations qu'elles déterminaient. Il existe dans cette spécialité des programmes extrêmement perfectionnés qui permettent d'analyser n'importe quel type de structure sous des charges statiques et dynamiques, dans le domaine élastique comme dans le domaine plastique. Ces programmes ont cependant différents inconvénients : ils sont souvent des « boîtes noires » dont la structure interne n'est compréhensible que par quelques spécialistes ; ils demandent des ordinateurs puissants et leur usage est souvent prohibitif ; malgré sa simplicité relative, l'introduction des données demande souvent des connaissances qui sortent du bagage technique normal de l'ingénieur civil ; enfin ils procurent une masse de résultats très longue à dépouiller car malheureusement beaucoup de ces programmes n'ont pas encore de sorties graphiques.

A l'opposé, l'imagination de certains ingénieurs-praticiens a permis d'établir, sur de tout petits ordinateurs, des programmes qui permettent d'analyser simplement des structures assez complexes à un prix défiant toute concurrence.

Si ces programmes de vérification des efforts dans les structures ont atteint une maturité certaine, il reste encore des applications de l'ordinateur assez peu usitées mais certainement très avantageuses. Signalons dans cette catégorie l'établissement des plans de coffrages qui facilitent notablement le dialogue entre l'architecte et l'ingénieur et permet ainsi d'éviter des « acrobaties » coûteuses.

Le domaine de la *mécanique des sols et des roches* est exemplaire car, à première vue, l'emploi de l'ordinateur ne paraît pas se justifier dans cette spécialité où les caractéristiques mécaniques des matériaux et leur géométrie sont connues avec une grande imprécision. C'est en fait un peu le contraire car, par des études paramétriques, l'usage de l'ordinateur permet de mettre en évidence les facteurs déterminants et ainsi d'agir en conséquence dans le projet.

L'ordinateur est surtout utilisé pour :

— le calcul des tassements, par exemple avec le programme SEPOL,

— l'évaluation de la stabilité de versants et d'ouvrage en terre par les modèles rigides — parfaitement plastiques, que sont par exemple les programmes LEASE et MORGEN (EPFL),

— la détermination des états limites de contraintes par les méthodes de Rankine ou de Sokolovsky dans des problèmes de poussée ou de butée sur des écrans de soutènement,

— le calcul des contraintes et des déformations dans des poutres appliquées sur un sol simulé par des batteries de ressorts (radier, semelle, écran ancré),

— le calcul des efforts dans les groupes de pieux,

— l'exploitation des résultats d'essais en laboratoire.

Dans ce domaine l'ordinateur permet aussi d'analyser l'interaction entre les fondations et les structures qu'elles supportent ; cette analyse est très importante car une bonne partie des désordres dans une structure d'ouvrage provient de la négligence ou d'une mauvaise évaluation des déformations de la fondation. Des déformations qui peuvent être admissibles pour la fondation proprement dite ne le sont souvent pas du tout pour la structure qu'elle supporte ; en outre, les interactions entre la structure et les fondations induisent souvent sur ces dernières des efforts beaucoup plus importants que ceux estimés de prime abord.

La mécanique des roches et des sols commence aussi à utiliser les gros modèles de calcul par éléments finis signalés dans le domaine des structures et c'est souvent les modèles les plus complexes qui l'intéressent — loi de contraintes — déformations non-linéaires en particulier — ce qui lui demande des efforts importants dans leur assimilation. Pratiquement, des analyses avec ces modèles ne se justifient que très exceptionnellement.

Les problèmes d'*implantation* et de *tracé* furent très rapidement, en Suisse, traités par l'ordinateur. Les géomètres ont vu rapidement les avantages de ce moyen de calcul et n'ont pas craint de voir certaines de leurs habitudes modifiées par ce nouvel outil ; il a par exemple demandé une digitalisation des représentations graphiques traditionnelles et rendu certaines méthodes de mensuration comme la triangulation beaucoup moins onéreuse et ainsi favorisé leur utilisation. Il a aussi permis des développements spectaculaires dans la restitution photogrammétrique.

Les études de *tracé de voies de communication* firent aussi très rapidement l'objet de programmes sur ordinateur ; on alla même jusqu'à élaborer des systèmes de programmes livrant les plans d'exécution et les métrés définitifs sur la base d'une esquisse de tracé et d'une digitalisation du terrain (semi de points). En Suisse, l'ingénieur paraît préférer des systèmes moins intégrés permettant un dialogue constant entre le projecteur et la machine tout au long du projet.

Dans le domaine de l'*hydraulique* les principales applications de l'ordinateur concernent : les calculs d'oscillation en masse, de courbes de remous et de coup de bélier, les études d'écoulement souterrain avec des modèles mathématiques aux différences finies ou aux éléments finis, les modèles hydrologiques où la statistique prend une part importante et enfin les calculs des réseaux de conduites en charge (distribution d'eau) ou à veine libre (égouts).

Lors des phases de préparation de l'*exécution des travaux* et de leur exécution proprement dite, l'ordinateur est

utilisé un peu de la même manière que dans une entreprise commerciale, il s'agit surtout de traitement de textes et de comptabilité. Cette application demande une organisation bien structurée et une normalisation poussée, ce qui est relativement facile à l'échelle d'une entreprise commerciale ou industrielle, mais difficile avec l'organisation un peu artisanale des professions de la construction ; nous avons déjà signalé ce fait et nous y reviendrons tout à l'heure. Les applications de l'ordinateur dans ce domaine ont donc de la peine à s'implanter en Suisse malgré quelques applications remarquables. Parmi elles, l'établissement des listes d'acier au moyen de l'ordinateur est une application très simple, efficace et psychologiquement intéressante car elle met en contact le dessinateur avec l'ordinateur.

Enfin il nous faut encore mentionner toutes les applications de *gestion des bureaux d'étude* et des entreprises. Dans les bureaux d'étude elles ne se justifient que pour des organisations relativement importantes, mais bien utilisées elles peuvent être d'une grande efficacité ; des solutions simples sont souvent mieux assimilées par l'ensemble du personnel d'un bureau que des solutions très intégrées modifiant profondément ses habitudes. Dans cette catégorie d'applications nous citerons comme exemples : le traitement des emplois du temps de chaque employé, la comptabilité industrielle par projet et élément de projet, le traitement des salaires, la tenue à jour du fichier du personnel et surtout le classement des plans et la documentation avec, comme exemple, la gestion du fichier des prix courants des travaux. Dans les entreprises du génie civil et du bâtiment cette gestion est semblable à celle des entreprises industrielles et commerciales et elle sort donc du cadre de cet article.

3. Caractéristiques du logiciel d'application et méthode d'approche de l'ingénieur

Un des rôles essentiels de l'ingénieur est d'élaborer et d'évaluer des variantes d'ouvrage ou de systèmes techniques, puis d'organiser et de contrôler la réalisation des objets retenus.

Disons d'emblée que les progrès spectaculaires réalisés au niveau de la technologie et des coûts de production des équipements informatiques ainsi que la grande variété des unités d'entrée-sortie permettent de faire l'hypothèse que les efforts consentis pour mettre en harmonie le logiciel ou l'outil informatique et les méthodes d'approche de l'ingénieur à chaque niveau d'intervention seront les mieux récompensés.

Il apparaît en effet de plus en plus que la conception et la structure du logiciel jouent un rôle déterminant pour lui assurer quelque chance de succès au niveau de l'application.

Nous tenterons de mettre en relation les différentes catégories de logiciel d'application existant et les divers aspects de l'activité de l'ingénieur caractérisée par plusieurs niveaux d'intervention (fig. 1).

Quelques critères usuels de classification de programme

Les deux caractéristiques principales d'un programme sont :

la fonction calcul qui découle de la qualité la moins contestable d'un ordinateur, c'est-à-dire sa rapidité d'exécution et

la fonction communication relative aux données et aux résultats dont la mise en place est nettement moins évidente.

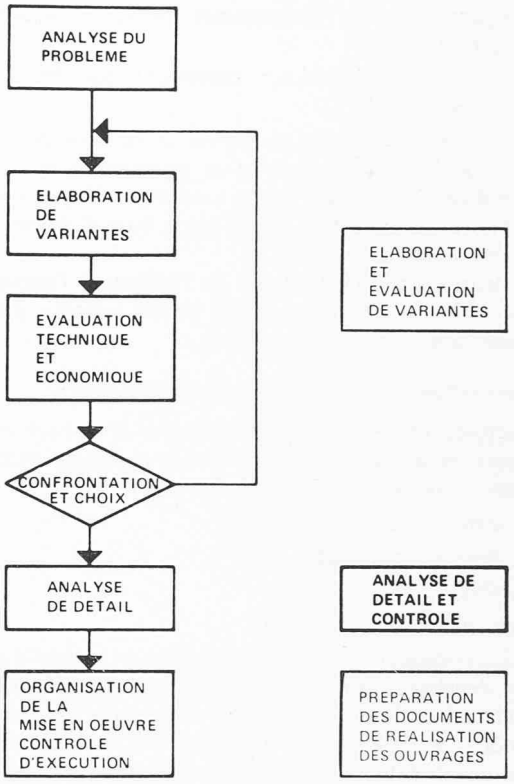


Fig. 1. — Niveau d'intervention de l'outil informatique.

La valeur d'un programme découle aussi bien de la qualité des modèles mathématiques, des méthodes numériques ou algorithmes sur la base desquels il est construit que des procédures de communication des données du problème et de présentation des résultats.

L'équilibre entre ces deux fonctions dépend du niveau d'intervention pour lequel le programme est conçu (fig. 2).

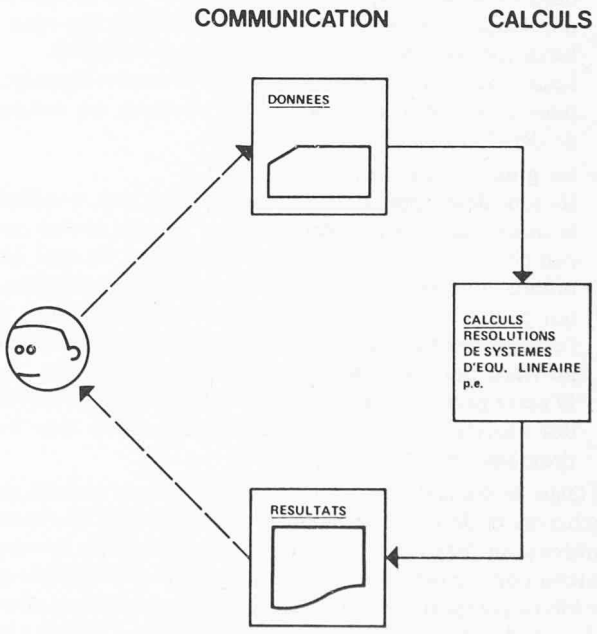


Fig. 2. — Les deux fonctions d'un programme.

Les critères usuels de classification de programmes découlent plus d'une intention descriptive que d'une analyse fonctionnelle précise.

On peut citer :

— la taille : les petits programmes, les grands systèmes ;

— l'organisation : les programmes isolés, modulaires ou intégrés ;

— le mode d'exploitation : traitement par lot, mode conversationnel.

Aucun de ces critères ne permet à lui seul de rendre compte de la nature exacte d'un programme et de son champ d'application. De même qu'il n'est pas raisonnable de porter un jugement de valeur sur la base d'une seule de ces caractéristiques.

A chaque stade de l'activité de l'ingénieur l'apport de l'informatique doit prendre une forme adaptée pour y apporter une contribution efficace.

Caractéristique du logiciel et méthode d'approche

L'activité de génération de variantes d'ouvrage ou de systèmes techniques mise en évidence ci-dessus comporte diverses étapes dont les principales sont :

— la conception ;

— le dimensionnement,

et parfois

— une phase d'optimisation.

Il faut constater que la presque totalité du logiciel d'application développé jusqu'à ces dernières années était destinée à la phase d'analyse. Ceci n'est pas surprenant : ce processus se prête parfaitement à une automatisation puisqu'il s'effectue selon des procédures bien définies et que la grande rapidité de l'ordinateur constitue un atout majeur. Les mathématiques appliquées ont constitué la pierre d'angle de ce développement, mais des efforts considérables ont été entrepris pour lever les obstacles à une généralisation de l'utilisation de l'ordinateur et pour permettre une communication homme-machine plus aisée.

Dans cette catégorie on peut distinguer :

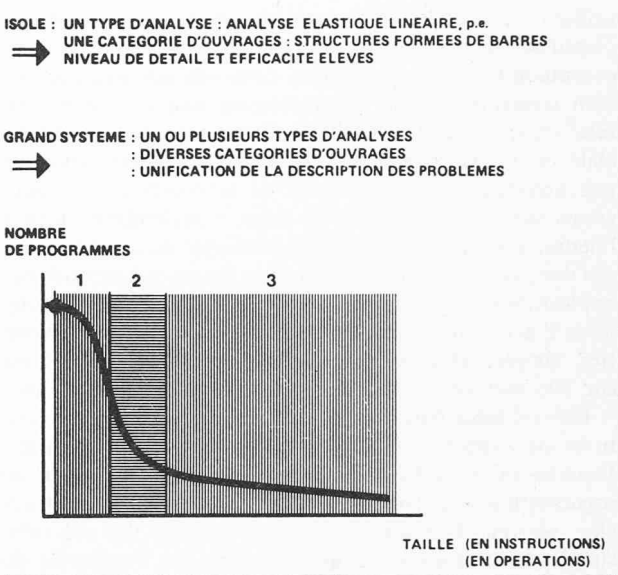
— les programmes isolés :
de tailles petites ou moyennes, ils sont généralement destinés à une étape de l'analyse pour une catégorie d'ouvrages, par exemple : analyse élastique des structures formées de barres — programme STRESS.
Leur champ d'application est relativement restreint, mais ceci leur permet souvent d'atteindre un niveau de détail et une efficacité très élevés.

— les grands systèmes :
Ils sont développés dans l'optique, d'une part, d'unifier la description des problèmes par un langage évolué qui comporte des similitudes d'un domaine à l'autre. Ils offrent donc généralement un large spectre d'utilisation, qui peut aller pour le génie civil de la géotechnique à l'analyse des structures et de la technique des transports au tracé des voies de communication (ICES) (fig. 3). D'autre part, ils offrent souvent la possibilité d'aborder des analyses plus diverses et plus complexes que les programmes isolés.

Dans le domaine des structures, une grande activité de recherche et de développement se déploie depuis quelques années pour dépasser le stade de l'analyse élastique linéaire et tenir compte des effets de la non-linéarité géométrique et de lois de comportement des matériaux plus complexes pour des cas de charges statiques et dynamiques (NONSAP, NASTRAN).

A l'aval de l'analyse, certaines procédures de représentation de résultats ont été poussées très loin ; elles aboutissent parfois à l'élaboration de plans et de documents de construction, par exemple : plan de ferraillage, liste fers, etc.

Les développements à l'amont sont plus rares parce qu'on touche au domaine de la conception et du dimensionnement qui se prête mal aux formulations mathématiques, ou alors les méthodes de résolution sont fort complexes ou peu connues, voire inexistantes.



TAILLE	ORGANISATION	NIVEAU	DIFFUSION
1	PROGRAMME ISOLE	AIDE AU CALCUL	FAIBLE
2	PROGRAMME ISOLE	CALCUL EVOLUE	MOYENNE
3	SYSTEME MODULAIRE	AIDE A LA CONCEPTION	TRES IMPORTANTE

Fig. 3. — Catégories de programmes.

Les programmes qui permettent ce traitement de l'amont à l'aval sont donc assez peu répandus. Ils englobent plusieurs phases du processus de conception et d'évaluation de variantes d'un ouvrage. Lorsque l'utilisateur n'intervient qu'au début du processus pour définir les données et les contraintes du problème, on parle de programmes intégrés. Les problèmes posés à l'ingénieur qui se prêtent à un tel traitement sont bien rares, c'est tant pis pour l'ordinateur et finalement tout à l'avantage de ces professions.

Dans la plupart des cas, le logiciel d'analyse se déroule de façon parfaitement séquentielle, cependant, son mode d'exploitation est parfois conversationnel, dans le but de faciliter l'introduction et la vérification des données, ou de faire intervenir l'analyste dans la recherche de la solution (exemple simple : calcul de stabilité de talus par la méthode de Morgenstern et Price).

De tels cas se rapprochent des types de problèmes rencontrés au niveau de la conception ou du dimensionnement, le processus n'est plus séquentiel, mais itératif. Un grand nombre de paramètres, de contraintes et de relations ne se laissent pas traduire en équation ou formuler de façon univoque.

Les difficultés résident :

— au niveau du choix des données initiales, le schéma constructif, le prédimensionnement, le niveau de détail à prendre ;

— au niveau de l'élaboration des critères quantitatifs de modification des paramètres (la vérification fait apparaître des écarts, sur quel paramètre de dimension faut-il agir et de combien, compte tenu du facteur technique de mise en place, du facteur économique, etc.) ;

— au niveau de la définition d'une fonction objective consistante, qui donne un sens à l'optimisation. Dans la plupart des cas, seule une analyse multi-critère a un sens.

Ces difficultés ne constituent pas un obstacle définitif à l'utilisation de l'ordinateur dans le cadre de l'aide à la conception et à la décision.

Mais les programmes et les méthodes ne peuvent pas être simplement transposés de la phase d'analyse à la phase de conception, même si en pratique la frontière n'est pas aussi nette.

La puissance de calcul de l'ordinateur et les possibilités de représentation de ses périphériques peuvent être associées aux capacités créatrices et de synthèse de l'homme et de l'ingénieur en particulier.

Il faut confier à l'ordinateur les étapes à caractère répétitif et à l'ingénieur les actions d'innovation, d'arbitrage et de choix.

L'utilisation de techniques interactives et graphiques va dans ce sens et permet de considérer l'ordinateur comme un outil précieux déjà au premier stade de l'activité de l'ingénieur, la conception et l'évaluation.

A ce niveau, le logiciel n'est pas encore très fourni. Les efforts portent aussi bien sur l'articulation des modules et l'élaboration d'un dialogue que sur des algorithmes plus rapides et plus rustiques, permettant de conserver un caractère conversationnel et d'être adapté à la pauvreté et à l'imprécision inévitables des données au début du processus de génération et d'évaluation de variantes.

Cette orientation peut être illustrée par deux exemples d'application réalisés ou en développement au département de génie civil de l'EPFL.

La première est opérationnelle, elle porte sur l'élaboration et l'évaluation de variantes de réseaux de transport en commun.[1] L'utilisateur est dans la mesure d'afficher sur un écran graphique les données du problème portant sur l'infrastructure existante du réseau étudié (fig. 4) la demande de transport et les caractéristiques des véhicules. Après l'examen détaillé des données, l'étape d'élaboration de variantes permet de définir en mode conversationnel le tracé des lignes de bus, de tram ou de métro, les types de convois ainsi que les fréquences de circulation.

Les variantes sont ensuite évaluées puis confrontées sur le plan des coûts d'exploitation et de la qualité de service offert ; par exemple les temps moyens de déplacement, d'attente, de marche, le nombre de transbordements, la probabilité de voyager assis (fig. 5).

Ces comparaisons peuvent amener des modifications et conduire aux solutions présentant un maximum d'avantages.

Le second exemple porte sur le développement de procédures similaires appliquées au domaine de la conception et du dimensionnement d'ouvrages. Les algorithmes de calcul par éléments finis adaptés à un processus itératif, d'un coût plusieurs fois inférieur à ce qui est offert actuellement et autorisant ainsi l'examen de nombreuses variantes, jouent avec les procédures de représentation graphique des résultats un rôle prépondérant (fig. 6 et 7).

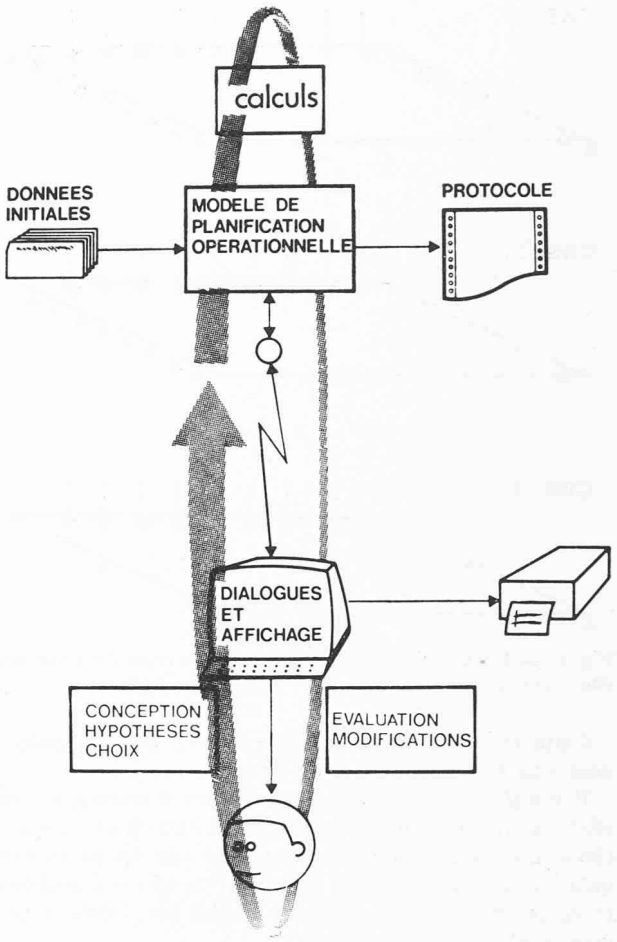


Fig. 4. — Schéma d'un programme d'élaboration et d'évaluation de réseaux de transport en commun.

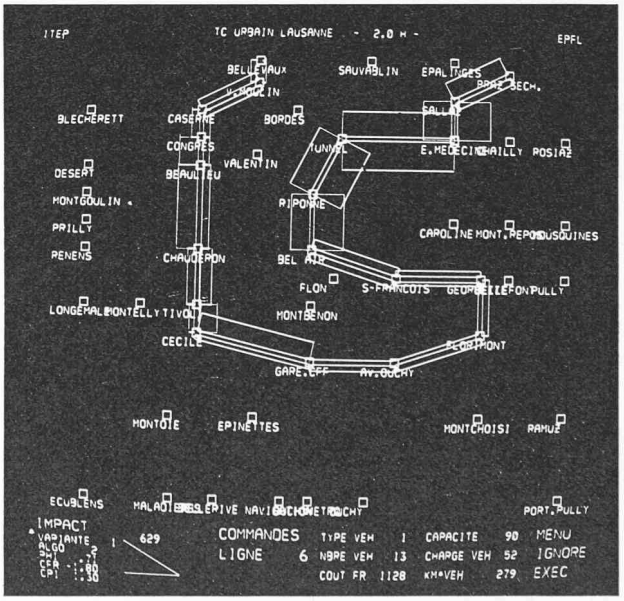


Fig. 5. — Affichage sur l'écran graphique de la charge d'une ligne d'un réseau de transport en commun.

4. Analyse de l'introduction de l'ordinateur dans les professions du bâtiment et du génie civil

Une enquête menée par la commission informatique de la section genevoise de la SIA auprès de quelque trente bureaux d'ingénieurs [2] a montré que si presque tous les bureaux interrogés ont utilisé au moins une fois l'ordinateur, il n'est de loin pas encore un moyen de calcul conventionnel. Relativement aux domaines commerciaux, administratifs ou bancaires, l'ordinateur est sans conteste encore très peu utilisé dans le domaine de la construction alors que la formation de l'ingénieur devrait lui rendre plus facile son accès qu'à son collègue juriste ou licencié ès sciences commerciales.

[1] Voir progr. NOPTS ITEP-W. et J. Rapp

[2] Voir *BTSR* nº 19 du 11.9.1975.

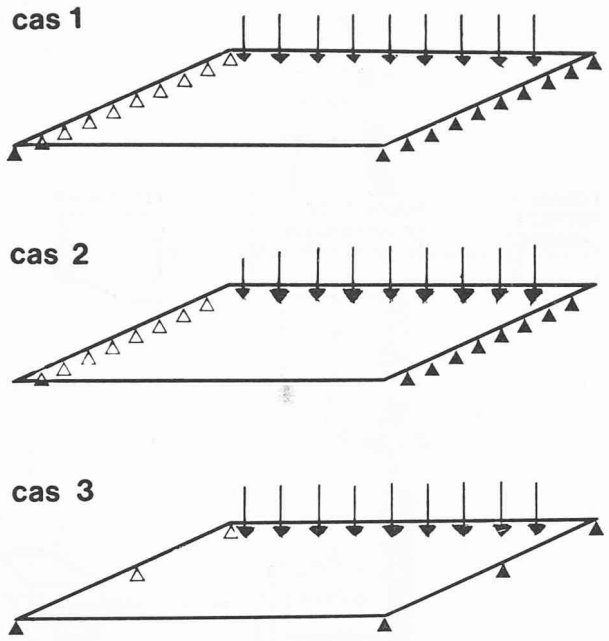


Fig. 6. — Dalle biaise : schéma des données pour l'analyse des conditions d'appui.

Cette réticence de l'ingénieur vis-à-vis de l'ordinateur peut s'expliquer en Suisse de diverses manières.

Il y a d'abord un phénomène d'ordre économique ; en effet, par rapport aux domaines administratifs et commerciaux, la grande diversité et la complexité des problèmes qu'a à résoudre l'ingénieur exige de gros efforts d'analyses et de programmations pour un emploi peu fréquent des programmes.

La deuxième raison est une conséquence de la première, l'ingénieur ne pouvant, en général, pas préparer lui-même les programmes dont il aurait besoin se voit dans l'obligation d'avoir recours à des produits élaborés par des tiers et dont il ne peut, le plus souvent, juger de la qualité ; c'est donc avec appréhension qu'il confie une grande partie de ses responsabilités à ces programmes. En outre, comme l'a montré l'enquête déjà citée, l'information sur le logiciel existant n'est pas suffisante et souvent peu objective. L'amélioration de cette information est actuellement un des sujets de préoccupation de la SIA.

La fragmentation des responsabilités dans la construction d'un ouvrage est la cause principale des échecs rencontrés dans l'usage des programmes de gestion et de contrôle des projets et des travaux. Il est en effet encore fréquent en Suisse de confier la réalisation d'un ouvrage à un bureau d'architectes, un bureau d'ingénieurs, un organisme de direction des travaux et à plusieurs entreprises. Les différentes phases du processus de gestion et de contrôle d'un projet sont ainsi confiées à diverses personnes sans lien organique et l'introduction d'un système intégré unique se heurte ainsi à de nombreuses difficultés inhérentes à ce découpage.

Un autre facteur intéressant à signaler est la difficulté que l'ingénieur civil a à utiliser les méthodes de calcul numérique modernes. A une époque où le délai entre une découverte et son application pratique tend à diminuer, le génie civil semble se comporter un peu de manière opposée. L'accès encore difficile à l'ordinateur ne favorise pas non plus l'emploi d'un logiciel important. L'intermédiaire que sont les sociétés spécialisées dans la mise à disposition de programmes et l'usage de plus en plus général du téléprocessing ou des mini- et micro-ordinateurs tendent à réduire cette difficulté.

Enfin, les méthodes de rémunération de l'ingénieur et de l'architecte ne sont pas adaptées à l'usage général de l'ordinateur. Le mandataire, rémunéré sur la base d'honoraires calculés au pro-rata du coût des travaux, n'a, en effet, aucun avantage pécuniaire à utiliser un moyen qui ne réduit que peu ou pas du tout ses prestations et qui par contre réduit dans bien des cas le coût de l'ouvrage. Il est par exemple anormal qu'un essai sur modèle physique puisse être facturé à part, alors que cela n'est pas le cas pour un calcul sur ordinateur procurant les mêmes résultats à l'ingénieur.

Il faut cependant relever que l'ingénieur ou l'architecte sont encore toujours des hommes de l'art et que dans bien des cas leur expérience et leur jugement font plus qu'un calcul sophistiqué ; pour cette raison la comparaison entre l'usage que fait de l'ordinateur une entreprise commerciale ou une banque et l'usage que peut en faire un bureau d'ingénieur ou d'architecte doit être nuancée.

5. Solutions d'emploi de l'ordinateur

Dans un bureau d'étude de petite à moyenne importance (moins de 100 collaborateurs) l'ordinateur peut être utilisé de différentes manières. L'ingénieur peut tout d'abord s'adresser à un organisme spécialisé qui possède le ou les

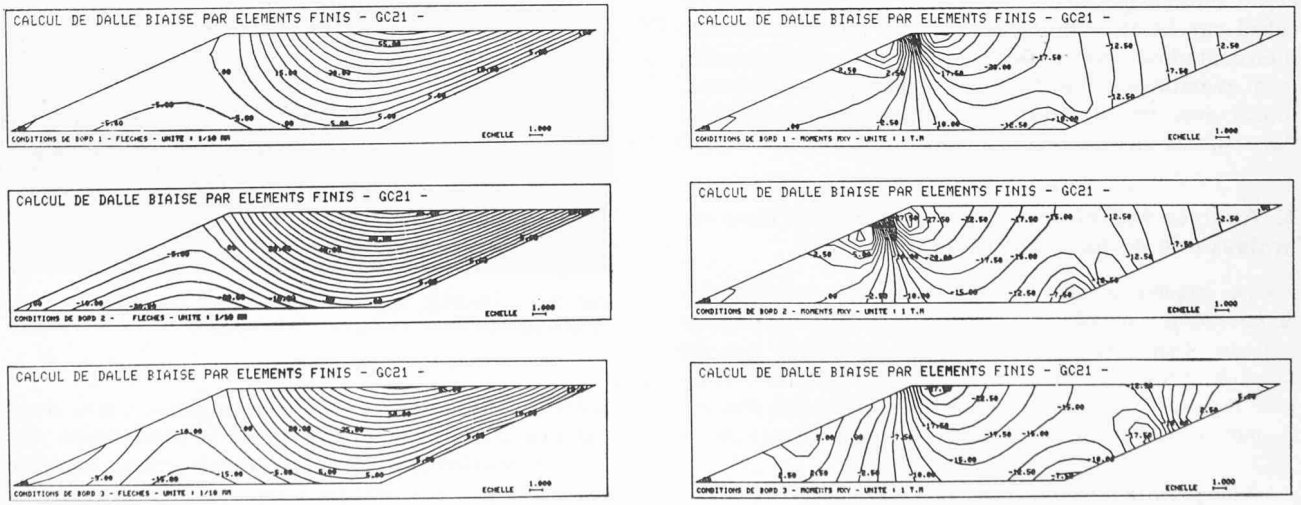


Fig. 7. — Affichage sur l'écran graphique de résultats de l'analyse des conditions d'appuis d'une dalle biaise.

programmes qu'il souhaite utiliser ; dans ce cas les données nécessaires aux programmes pourront être préparées soit par cet organisme sur la base de documents fournis par l'ingénieur, soit directement par ce dernier. Un grand nombre de bureaux d'étude procèdent aujourd'hui de cette manière qui permet à l'ingénieur d'ignorer la plupart des problèmes découlant de l'emploi d'un ordinateur mais qui a souvent l'inconvénient de lui faire utiliser des modèles mathématiques qu'il connaît mal et qui ne sont pas toujours adaptés au problème qu'il veut résoudre.

Un bureau peut aussi posséder un petit ordinateur, un micro-ordinateur ou un mini-ordinateur, qui va lui permettre d'entreprendre certains calculs « à la maison » au moyen de programmes qu'il a élaborés lui-même ou qu'il peut facilement bien connaître.

Les micro-ordinateurs sont aujourd'hui bien répandus dans les bureaux d'études et de géomètres. Ils sont très vite rentables car ils ne demandent que des connaissances très restreintes en matière de programmation.

L'acquisition d'une console reliée à un ordinateur par une ligne téléphonique, généralement publique, représente déjà un pas important dans l'introduction de l'informatique dans un bureau d'étude. L'investissement en matériel est faible pour une console à faible vitesse (machine à écrire), mais elle va mettre en relation directe son utilisateur avec un ordinateur de grande puissance ; cet utilisateur devra donc connaître les procédures d'emploi de l'ordinateur et si possible un langage de programmation. Avec ce moyen de communication le bureau pourra petit à petit élaborer ses propres programmes et fichiers tout en disposant de la bibliothèque de programmes du centre de calcul auquel il est relié.

La tendance actuelle est de lier les fonctions du micro-ordinateur et de la console à faible vitesse. Plusieurs équipements de ce type sont déjà disponibles sur le marché pour un coût inférieur à Fr. 50 000.—. Ils permettent l'exécution de petits programmes préparés par exemple avec le langage BASIC (FORTRAN simplifié), possèdent des supports magnétiques à accès séquentiel et peuvent donc aussi être utilisés comme moyen de liaison avec un gros ordinateur. Dans un bureau d'ingénieurs voire d'architectes, ces équipements devraient posséder un écran graphique et non pas seulement un écran alpha-numérique ou une petite imprimante.

Le dernier pas dans l'introduction de l'informatique dans un bureau d'étude de petite à moyenne importance est l'acquisition d'un véritable ordinateur (dénommé aujourd'hui mini-ordinateur) supportant des programmes écrits dans un langage comme le FORTRAN et possédant une ou des mémoires périphériques à accès direct. Il nécessite un investissement important et une ou quelques personnes rompues aux techniques de l'informatique.

Après ces quelques propos liminaires sur les divers moyens d'introduire les techniques informatiques dans un bureau d'étude, nous allons examiner plus en détail les équipements disponibles sur les marchés en 1976, ceci en fonction de quelques ordres de grandeur de budget.

Budget inférieur à Fr. 5 000.—

Dans cette catégorie de budget on peut acquérir de petites machines à calculer de table possédant les fonctions mathématiques les plus utilisées et programmables dans une certaine mesure. L'introduction des données se fait au moyen d'un clavier numérique et par des touches de fonction, les résultats sont affichés au moyen de tubes électroniques ou imprimés sur une bande de papier. Le programme consiste en une séquence d'instructions enregistrée dans une mémoire interne et/ou sur un petit support magnétique (carte, baguette).

En plus des opérations arithmétiques et de quelques fonctions mathématiques ces petites machines permettent la résolution de petites séquences d'opérations : système de trois équations, moyenne, écart type, droite de régression, petite géométrie, etc.

Budget compris entre Fr. 5 000.— et Fr. 25 000.—

Dans cette catégorie on peut acquérir un micro-ordinateur ou une console reliée à un ordinateur.

a) *Micro-ordinateur*

Introduction des données par clavier numérique, voire alpha-numérique.

Programmation par enregistrement dans des mémoires internes ou périphériques de séquences d'instructions beaucoup plus importantes que celles de la catégorie précédente avec cependant un choix réduit d'instructions.

Les mémoires périphériques peuvent être des cassettes magnétiques semblables à celles supportant des enregistrements musicaux.

Sortie des résultats par imprimante numérique, voire alpha-numérique, sur petit écran alpha-numérique.

Applications : calculs statiques de structures simples, listes de fers, métrés, calcul de stabilité de talus d'une géométrie peu complexe, statistiques, etc.

b) *Console*

Introduction des données par clavier de machine à écrire, bande papier perforée, cassette magnétique, voire lecteur de cartes perforées.

Programmation : une console n'est pas programmable, mais elle permet l'écriture et les tests de programmes dont la taille n'est limitée que par la capacité de l'ordinateur auquel la console est reliée par ligne téléphonique.

Sortie des résultats : par imprimante alpha-numérique genre machine à écrire (jusqu'à env. 30 caractères/seconde), sur écran alpha-numérique ou graphique (permettant le dessin de courbes et de traits), sur bande de papier perforée, ou sur cassette magnétique.

Applications : limitées seulement par la vitesse relativement lente d'introduction des données et de sortie des résultats. Des résultats volumineux peuvent cependant être imprimés au site de l'ordinateur et envoyés par la poste. Cet inconvénient est réduit par une représentation graphique des résultats sur un écran à mémoire et un dispositif de copie sur papier du contenu de l'écran ; l'adjonction de ce dispositif auxiliaire n'est cependant pas encore possible dans cette catégorie de budget.

Remarques

— La console est un moyen d'accès à un ordinateur généralement puissant pour lequel il faudra bien entendu payer le temps utilisé.

— La liaison de la console à la ligne téléphonique exige un MODEM (modulateur-démodulateur) loué par les PTT.

— L'utilisation d'une console connectée à un ordinateur exige la connaissance du langage de communication et de quelques instructions de contrôle du système d'exploitation propre à cet ordinateur (en général 3 à 5 jours de formation). Elle permet aussi la préparation de programmes et leurs tests ; dans ce cas la connaissance d'un langage de programmation tel que le FORTRAN est bien entendu nécessaire.

Budget compris entre Fr. 25 000.— et Fr. 100 000.—

Entre ces deux limites un bureau d'étude peut faire l'acquisition soit d'un mini-ordinateur (ou micro-ordinateur) avec une mémoire de faible capacité et des moyens d'entrée-sortie divers mais lents, soit d'une console intelligente dont nous avons déjà parlé plus haut.

a) *Mini-ordinateur*

Introduction des données par clavier alpha-numérique et au choix : lecteur de bandes de papier, lecteur de cartes perforées, lecteur de cassettes magnétiques, etc.

Programmation par un langage interprétatif comme le BASIC, voire par un langage genre FORTRAN, dans ce cas, la transformation du langage de programmation en un langage compréhensible par la machine exige des manipulations parfois un peu compliquées. La dimension des programmes est assez limitée du fait de la faible capacité de la mémoire.

Capacité des mémoires : jusqu'à 500 000 bits pour la mémoire centrale à accès très rapide (1 μ sec) (le plus souvent, dans cette catégorie d'ordinateur, un chiffre entier utilise 16 bits, un chiffre réel 32 bits, un caractère alpha-numérique 8 bits et une instruction machine, 8, 16 ou 32 bits), environ 90 000 caractères de 8 bits (bytes) pour une cassette magnétique standard (type musique) et quelque 250 000 bytes pour un disque souple soit un petit disque magnétique souple de la dimension d'un disque musical 45 tours ; il existe aussi des cassettes magnétiques pouvant contenir environ 200 000 caractères.

Sortie des résultats par imprimante alpha-numérique d'une vitesse d'environ 30 à 100 caractères par seconde, sur un écran alpha-numérique ou graphique, sur un traceur de courbes ou, encore mieux, sur un « printer-plotter » qui permet le dessin de courbes et/ou l'impression de caractères à grande vitesse (jusqu'à environ 400 lignes-minute dans cette catégorie de budget, mais ceci sur un papier électro-statique plus coûteux que le papier d'une imprimante à ruban encreur).

Les résultats peuvent aussi être sortis sur bande de papier perforée, sur cassette magnétique ou sur petit disque souple.

Applications : résolution d'une bonne partie des problèmes courants posés à l'ingénieur. Dans le domaine du calcul des structures en barres, il ne permet cependant pas le calcul de systèmes dépassant quelque 50 nœuds à 2 degrés de liberté ; pour dépasser cette limite, il faudrait adjoindre à ce mini-ordinateur une mémoire périphérique rapide à accès direct, assez coûteuse.

Dans un laboratoire ce mini-ordinateur pourra gérer plusieurs essais complexes en même temps et, dans une certaine mesure, élaborer les résultats selon les désirs de l'ingénieur.

b) *Console*

Avec ce budget on peut acquérir soit une console rapide sans ou presque sans fonction logique permettant la lecture des données à grande vitesse, sous n'importe quelle forme ou presque, et la sortie des résultats à grande vitesse par une imprimante en ligne (par exemple 600 lignes/minute), ou sur cassettes magnétiques, soit une console intelligente qui est en fait un micro-ordinateur ou un mini-ordinateur auquel on a ajouté un dispositif permettant d'utiliser une ligne téléphonique comme moyen d'entrée et de sortie.

La possession d'une console rapide, ou intelligente mais moins rapide, permet le traitement sur ordinateur de n'importe quel problème ; ses limites sont celles de l'ordinateur auquel elle est raccordée.

Budget compris entre Fr. 100 000.— et Fr. 200 000.—

Le choix des équipements est très vaste dans cette catégorie de budget. Il doit être l'aboutissement d'une étude approfondie portant notamment sur les périphériques d'entrée-sortie. Pour un bureau d'ingénieurs le cœur du dispositif est en principe constitué par un mini-ordinateur avec une mémoire interne comparable à celle de la catégorie précédente, mais avec en plus une ou deux mémoires périphériques à accès direct. Ces mini-ordinateurs peuvent tous être utilisés comme console d'un ordinateur de grande puissance.

Introduction des données par clavier alpha-numérique, lecteur de cartes, de bandes perforées, de cassettes, etc.

Programmation : FORTRAN étendu, BASIC, ALGOL, etc., etc. ; compilation (transformation du langage de programmation en un langage compréhensible par la machine) aisée grâce à la mémoire périphérique rapide à accès direct. Des programmes très importants peuvent être traités par ce mini-ordinateur car les mémoires périphériques rapides permettent la segmentation des programmes.

Des bibliothèques de programmes et de sous-programmes peuvent être stockées sur les mémoires périphériques rapides à accès direct, ainsi leur contenu peut être facilement et très rapidement (quelques milli-secondes) appelé. L'édition des programmes et données, la compilation des programmes et la gestion des fichiers supportés par les disques magnétiques sont contrôlés et facilités par un système d'exploitation déjà très sophistiqué.

Capacité maximale de la mémoire : en général les mémoires internes à tores magnétiques ou à semi-conducteurs ne sont pas beaucoup plus importantes que celles de la catégorie précédente, mais elles sont considérablement étendues par les mémoires périphériques rapides à accès direct. Pour le budget donné, ces mémoires périphériques peuvent atteindre 5 millions de caractères à 8 bits, ceci en général sous la forme de 2 unités de disques amovibles.

Sortie des résultats : les mêmes moyens que ceux de la catégorie précédente, mais en nombre plus grand ou plus rapide ; pour ce budget il est possible par exemple de disposer d'un printer-plotter permettant l'impression d'un texte alpha-numérique à une vitesse de quelque 400 lignes par minute et d'une console graphique avec grand écran. Un perforateur de cartes peut être envisagé, mais pas encore une imprimante rapide en lignes (600 à 1200 lignes/minute).

Applications : à l'exception de la résolution des très grands systèmes d'équations, presque tous les traitements relatifs à l'ingéniérie sont possibles avec ces mini-ordinateurs : calcul de structures complexes par des méthodes sophistiquées comme la méthode des éléments finis (système d'environ 1000 équations linéaires), gestion de chantier par la méthode PERT, comptabilité industrielle, calcul automatique de stabilité de talus, calcul de réseaux d'égoût ou de distribution d'eau, simulation et optimalisation de processus, etc., etc. Il faut cependant s'attendre à des temps d'exécution assez importants pour certaines de ces applications qui utilisent de façon intensive les mémoires périphériques pour le stockage intermédiaire de tableaux de valeurs ou d'éléments de programme.

Ces mini-ordinateurs sont particulièrement efficaces pour le traitement interactif et graphique qui est le mieux adapté à la démarche d'un projecteur.

Si la capacité du mini-ordinateur est insuffisante, il peut se charger des travaux préparatoires de formulations des données, transmettre ces données à un ordinateur de grande puissance, recevoir les résultats du traitement et

élaborer ces résultats sous différentes formes, notamment sous forme graphique.

6. Conclusion

Les métiers du bâtiment et du génie civil ont subi ces deux dernières années une régression qui ne sera probablement pas suivie d'une nouvelle expansion. Une des conséquences de cette régression est un chômage transitoire et, dans ces conditions, un effort pour une meilleure utilisation de l'informatique dans les bureaux d'étude et les entreprises est-il justifié? Par un raisonnement à court terme et en se plaçant au niveau suisse uniquement, cet effort n'est probablement pas très nécessaire ces prochaines années. Cependant, l'exportation de notre savoir-faire est depuis plus d'un siècle une tradition helvétique et, si la dernière période de folle expansion nous l'a fait un peu oublier, il est temps de se la rappeler.

Pour les bureaux d'étude les conditions des marchés extérieurs à nos frontières sont tout à fait différentes de celles un peu protectionnistes du marché suisse ; le choix des mandataires ne se fait plus avant tout sur la base de leur bonne réputation ou d'affinités personnelles mais sur celle des solutions et des méthodes qu'ils proposent, quand ce n'est pas seulement sur la base du taux de rémunération offert. En outre, c'est souvent après confrontation de divers avant-projets généraux que le mandat d'exécution, soit souvent le plus rémunérateur, est confié à un bureau d'étude.

Dans ces conditions l'architecte et l'ingénieur doivent pouvoir fournir très rapidement des prestations d'une qualité très élevée et ensuite participer à la réalisation du projet avec les méthodes les plus efficaces possibles. L'informatique est alors d'une utilité précieuse et est aussi un argument de vente à ne pas négliger. Un effort dans ce domaine n'est donc pas inutile et, à notre avis, cet effort doit surtout être porté au niveau des études de conception et d'évaluation où les techniques rendues possibles par l'usage de l'ordinateur permettent de mettre en évidence les meilleures solutions dans les plus brefs délais et au prix le plus bas pour le bureau d'étude.

Cet effort doit tout d'abord être concrétisé par une meilleure information des gens de la profession sur le logiciel existant et sur la façon de l'utiliser, puis peut-être par une certaine mise en commun des développements de ce logiciel, soit un peu un retour vers l'époque où une nouvelle méthode de calcul était très rapidement publiée et ne faisait que rarement l'objet d'une commercialisation.

Parmi ces développements, l'adaptation des méthodes d'introduction des données et de sortie de résultats au langage graphique de l'ingénieur devrait figurer en première priorité ; il est en effet malheureux de devoir encore transcrire manuellement sous forme digitale des données graphiques ou vice-versa des listes de chiffres de résultats sous une forme graphique alors qu'il existe depuis longtemps, tout au moins pour les résultats, des moyens pour le faire automatiquement à un prix bien moins élevé.

Adresse des auteurs :
Michel Dysli, chef de section au laboratoire de géotechnique de l'EPFL
Philippe Mattenberger, chef du centre informatique du département de génie civil de l'EPFL
Ecole polytechnique fédérale,
Avenue de Cour 33, 1007 Lausanne

Divers

Appel de soumissions

La direction des Constructions fédérales à Berne communique la mise en soumission, par le Bureau européen des brevets à Munich, de la livraison et du montage de 4000 m² de faux plafonds lumineux, de luminaires et suspensions pour ses nouveaux locaux, en deux lots.

La constitution de consortiums ad hoc sera appréciée.
Délai d'exécution : 375 jours ouvrables, samedis inclus.
Début des travaux : février/mars 1978.
Maître de l'ouvrage : Organisation européenne des brevets, p. ad. : Finanzbauamt München I.

Documentation jusqu'au 8 octobre 1976 contre versement de DM 150.— à l'adresse suivante : Finanzbauamt München I, Deroystrasse 22, 8000 München 2.

Renseignements ibid. Délai de remise des offres : 9 décembre 1976, 10 h.

Communications SVIA

Evolution du personnel technique dans les bureaux d'architectes et d'ingénieurs vaudois

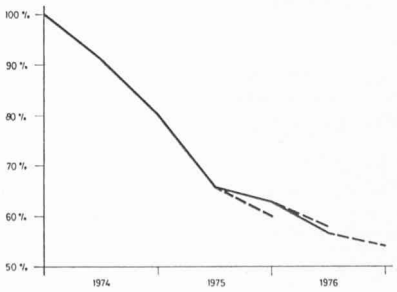
Dans un article consacré à l'évolution de la conjoncture dans les bureaux d'études vaudois (*BTSR* nº 25 du 4 décembre 1975, p. 433), le Comité de la SVIA avait publié les résultats d'enquêtes menées sur les effets de la récession sur l'industrie de la construction en pays de Vaud. Dans ses conclusions, il relevait le caractère permanent de cette situation, aucun indice d'amélioration ne pouvant être décelé.

Les chiffres de l'évolution du personnel technique jusqu'au 30 juin 1976, ainsi que les prévisions jusqu'au 31 décembre prochain, confirment ce pessimisme. Dans les bureaux d'architectes, tous les postes sauf les cadres supérieurs subissent de nouvelles diminutions par rapport à la fin de l'année dernière, le recul général s'établissant à 13,8 % pour l'ensemble des 79 bureaux ayant participé à l'enquête.

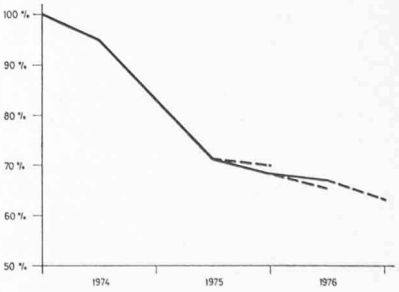
Dans le génie civil, la situation est moins grave, mais les 44 bureaux consultés accusent toutefois un recul du personnel technique de 7,9 %, seul le groupe des ingénieurs techniciens marquant une modeste hausse des effectifs.

Nos graphiques illustrent bien cette tendance persistante. On constate même que les chiffres s'établissent en dessous des prévisions du début de cette année pour les bureaux d'architectes. Si l'évolution est meilleure que ce qui était prévisible à fin 1975 pour le génie civil, force est de constater que la baisse continue là aussi.

Dans l'optique du redimensionnement dont on a tant parlé pour l'industrie de la construction, on en est toujours réduit à des conjectures en ce qui concerne le bâtiment. En effet, l'effectif actuel des bureaux d'architectes



architectes



ingénieurs civils