

Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht

Band: 8 (1968)

Artikel: L'optimisation des ouvrages courants sou route et autoroutes

Autor: Leray, J.C. / Langelo, C.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-8753>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 08.02.2025

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

L'optimisation des ouvrages courants sur routes et autoroutes

Optimierung gebräuchlicher Brücken über Strassen und Autobahnen

Optimization of Usual Structures over Roads and Highways

J.C. LERAY
Ingénieur des
Ponts et Chaussées

C. LANGELLO
Ingénieur des Travaux
Publics de l'Etat

les Ingénieurs de la Division des Ouvrages d'Art B
Service d'Etudes Techniques de Routes et Autoroutes
(Ministère de l'Equipement et du Logement)

1. CONSIDERATIONS PRELIMINAIRES.

Le problème de l'optimisation des ouvrages d'art courants nous est apparu vers 1960 du jour où a démarré la réalisation du réseau français d'autoroutes de liaison; ce programme, à lui seul, implique la construction annuelle de 200 ouvrages, dont 160 présentent entre eux des analogies étroites.

La pratique de l'étude et du contrôle des ouvrages d'art nous a permis d'acquérir un certain nombre de certitudes.

Tout d'abord, la solution la meilleure ne se trouve pas dans la réalisation d'un nombre très limité de modèles prêts à l'emploi, les raisons en étant les suivantes :

- un ouvrage doit s'adapter exactement à son site; organe de franchissement d'une route il doit en épouser le tracé et sa conception doit être adaptée aux particularités géotechniques du lieu.

- la réalisation systématique d'un nombre limité de modèles conduirait à des distorsions géométriques (sur la longueur des travées de rive par exemple) telles que les économies faites sur les études et la réalisation ne compenseraient pas les dépenses supplémentaires en matériaux et les défauts d'aspect.

La recherche d'une solution judicieuse ne peut ignorer certaines considérations :

- le groupement en lots des ouvrages et leur dispersion (à titre d'exemple, l'Administration des Ponts et Chaussées a lancé en 1964 un appel d'offres, qui portait sur un lot de 69 ouvrages répartis sur 2 autoroutes).

- la dimension des Entreprises pressenties;

- les facilités d'approvisionnement en matériaux et leur qualité;

- les délais et les moyens dont on dispose pour les études et le contrôle des travaux;

- le degré d'économie recherché (dépenses éventuelles pour l'aspect et la longévité).

Ces considérations conduisent à procéder à une standardisation dans laquelle on trouve les avantages suivants :

- possibilité d'organiser les chantiers d'ouvrages d'art sous une forme échelonnée avec des équipes spécialisées;
- faculté d'amortir des matériels particuliers tels que des coffrages métalliques;
- accélération des études et facilité du contrôle;
- enfin et surtout possibilité d'améliorer au cours des années un type d'ouvrage que l'on réalise à de très nombreux exemplaires.

La "standardisation" se trouve donc à mi-chemin entre la conception isolée et le prêt à l'emploi.

2. UNE PREMIERE APPROCHE DE L'OPTIMUM DANS LE CADRE DE LA STANDARDISATION.

La standardisation consiste à dégager un certain nombre de types parmi lesquels on peut ranger la plupart des ouvrages courants. Mais comme certaines parties entières d'ouvrages sont communes à plusieurs types - les appuis intermédiaires, ou encore les joints de chaussées - on peut dégager les notions "d'ouvrages-types" et même "d'éléments-types".

Les études sur la standardisation d'un élément ou d'un ouvrage type se traduisent par la mise au point d'un dossier-pilote. Ce dernier comprend, dans le cas d'un tablier ou d'un ouvrage monolithique, trois parties :

- les pièces-pilotes servant au dégrossissage du projet ;
- les bordereaux et les pièces explicatives nécessaires à la commande du calcul et éventuellement des dessins automatiques;
- un ou plusieurs exemples d'application à des fins purement pédagogiques.

L'ensemble pèse de 2 à 3 kilogrammes.

La liste des dossiers-pilotes figurés au tableau ci-dessous fait état du développement actuel de notre standardisation.

L'ensemble de ces dossiers-pilotes sont couronnés par deux documents généraux :

- un catalogue qui rend compte de l'avancement de cette standardisation.

- un manuel d'estimation par une méthode de prix composés.

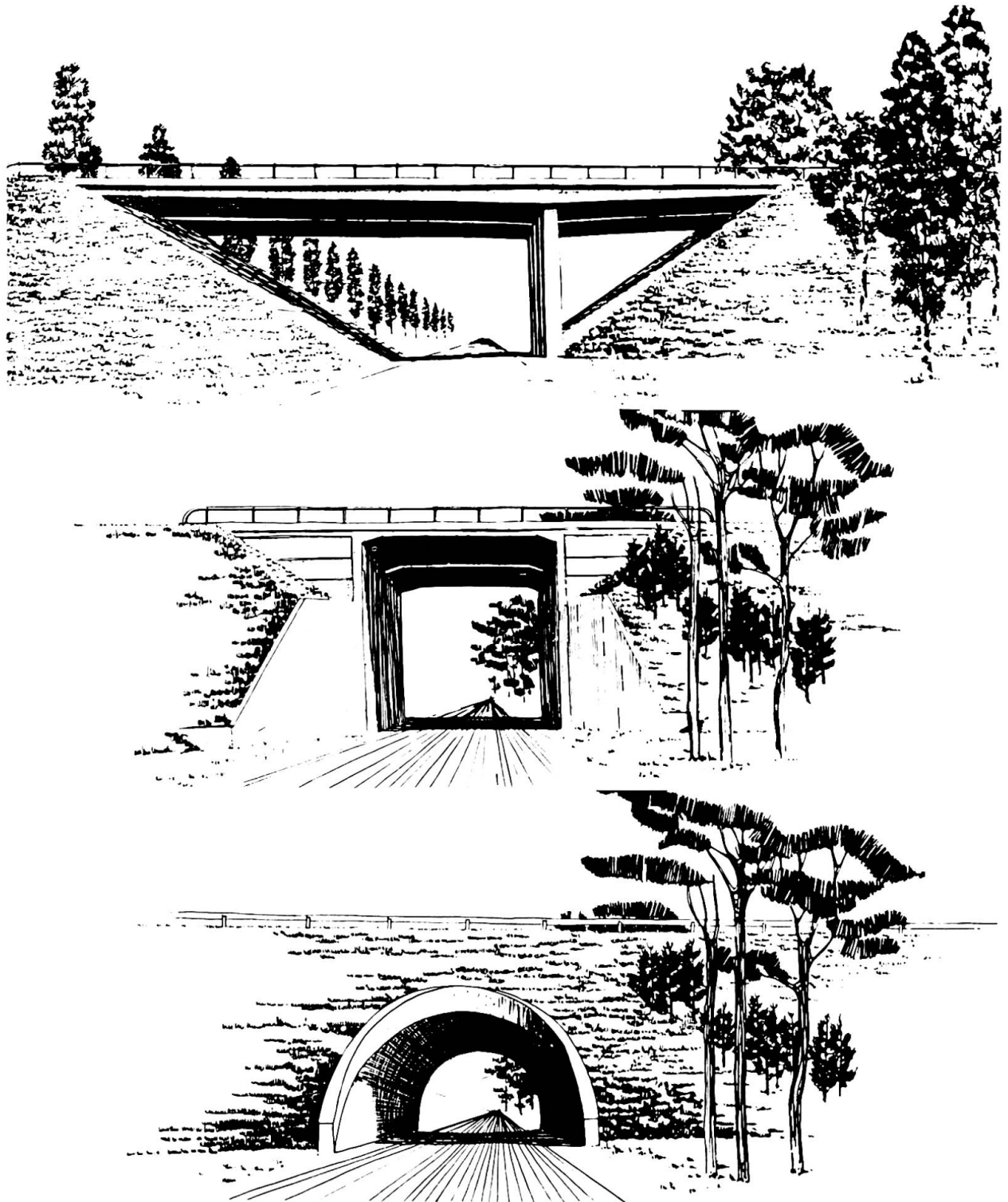
Un troisième, traitant de l'esthétique, est en préparation (fig.1)

Nous nous proposons de montrer comment l'utilisation des pièces-pilotes du dossier-pilote V.I.P.P., qui traite des Viaducs à travées Indépendantes en Poutres préfabriquées de béton Précontraint, permet de s'approcher efficacement de la solution la meilleure.

2.1. LE CHOIX DE LA STRUCTURE.

D'une façon générale, un chapitre du catalogue situe ce type de tablier parmi l'ensemble des tabliers-types.

Classe d'élément-type	Elément-type ou ouvrage-type	Sigle	Niveau d'automatisation. cf 8 3.2
Fondations	Fondation des ouvrages courants sur semelles	FOCS	-
	Fondations profondes (en préparation)		
Appuis	Piles et palées	PP	1
	Culées types	CT	-
Tabliers de passages supérieurs et inférieurs	Travées solidaires à poutres de hauteur constante de béton armé	PSI-BA	3
	Travée indépendante à poutres de hauteur constante de béton armé	TI-BA	3
	Travées solidaires en dalle pleine d'épaisseur constante de béton précontraint	PSI-BP	4
	Travées solidaires en dalle pleine d'épaisseur constante de béton armé	PSI-DA	3
	Travées solidaires en dalle élégie de hauteur variable de béton précontraint	PSI-DE	3
	Plaques en dalle d'épaisseur constante de béton précontraint (par la méthode des réflexions biharmoniques)	MRB-BP	1
	Plaques en dalle d'épaisseur constante de béton armé (par la méthode des réflexions biharmoniques)	MRB-BA	2
	Travées solidaires ou indépendantes en ossature mixte	OM	2
	Viaduc à travées indépendantes à poutres préfabriquées de béton précontraint	VIPP	2
Ouvrages monolithiques	Passage inférieur en cadre fermé de béton armé	PICF	3
	Passage inférieur en portique ouvert de béton armé	PI-PO	3
	Passage supérieur à béquille de béton précontraint	PS-BQ	1
Equipements	Garde-corps, glissières, corniches, grilles centrales	GC	-
	Joint de chaussée, appareils d'appui, dalle de transition, évacuation des eaux.	JADE	-
	Surfaçage des tabliers, étanchéité, couches de roulement	STER	-



Figures 1. Extrait d'un guide esthétique pour ouvrages courants actuellement en préparation. Le franchissement d'une route à deux voies est traité sous trois formes différentes qui font toutes appel à des ouvrages-types du S.E.T.R.A. Le guide précise leur coût respectif.

La notice générale du dossier-pilote précise plus particulièrement le domaine d'application technique et économique du V.I.P.P.

La pièce intitulée "dimensionnement du tablier" indique les quantités de bétons, d'aciers et de coffrages qui ont été utilisées pour la réalisation d'un certain nombre d'ouvrages du même type - sept au total - et débouche sur des résultats statistiques.

La méthode des prix composés évoquée plus haut, permet d'apprécier rapidement et très simplement une estimation avec une marge d'erreur de quelques % à indice de prix donné.

2.2. LE CHOIX DES DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES.

Le dossier permet de traiter un large éventail de dispositions constructives. Leurs descriptions sont suivies de discussions et finalement de recommandations sur leur choix de façon à permettre une approche statistique de la solution optimale.

Les questions sont envisagées sous les aspects les plus divers.

Ainsi la sécurité des usagers est-elle envisagée dès le début à propos de la disposition des poutres de rive, lesquelles ne doivent pas coïncider avec l'emplacement des glissières pour ne pas rendre impossible la fixation de celles-ci sur platine.

Les problèmes liés à la manutention des poutres et à leur assemblage sont évoqués à propos de la forme de l'amorce des entretoises.

La volonté d'intégrer exactement l'ouvrage dans son site se traduit par l'énoncé d'une série d'adaptations en relation avec la courbure en plan du tracé, avec le biais des lignes d'appuis par rapport à l'axe de la chaussée, et avec une variation du dévers de la chaussée (fig. 2).

Par souci esthétique, des variantes pour la forme des poutres de rives sont suggérées, et cinq types d'appuis intermédiaires sont proposés.

2.3. LES PROCÉDES D'EXECUTION.

La notice générale énonce un certain nombre de règles dont le respect au niveau de l'exécution est nécessaire à la réussite; elles concernent l'installation du chantier, la constitution des coffrages la disposition des armatures, la mise en oeuvre du béton et des différentes phases de précontrainte, la manutention des poutres, l'exécution du hourdis et des entretoises, les opérations de finition.

3. L'OPTIMISATION DES ETUDES D'OUVRAGES D'ART COURANTS PAR LE TRAITEMENT AUTOMATIQUE DES INFORMATIONS

L'incidence du coût, de la qualité des études et du contrôle sur l'optimum n'a pas été évoquée de façon explicite dans le Rapport préliminaire malgré son importance relative dans le prix de revient final, qui est de l'ordre de 5 à 10 %.

De surcroît, considérant que l'on dispose d'une masse d'Ingénieurs généralement limitée, il est souhaitable de délivrer au maximum ces derniers des tâches purement mécaniques comme l'établissement manuel d'une note de calcul détaillée pour leur permettre de reporter leur activité sur les problèmes où leur intervention est irremplaçable : la conception, l'exécution et son contrôle.

L'effort que nous avons consenti en matière d'automatisation des études est extrêmement important parce qu'il est poursuivi de

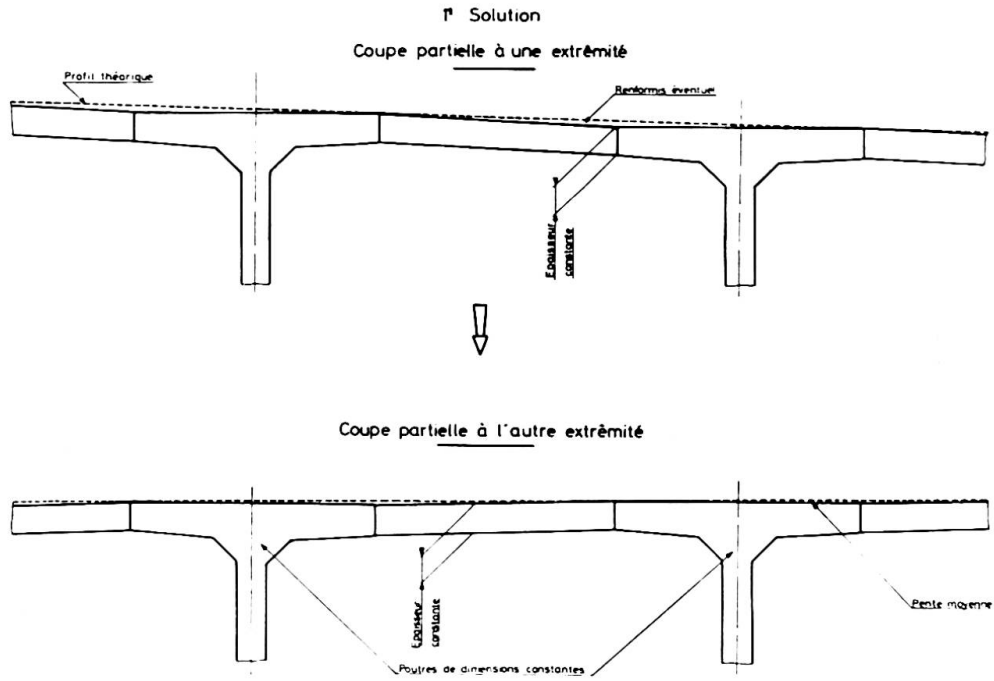


Figure 2. Extrait du sous-dossier 1 "Pièces-pilotes" du dossier-pilote VIPP 67. L'une des trois dispositions constructives qui tiennent compte d'un dévers variable de chaussée.

COUPE TRANSVERSALE

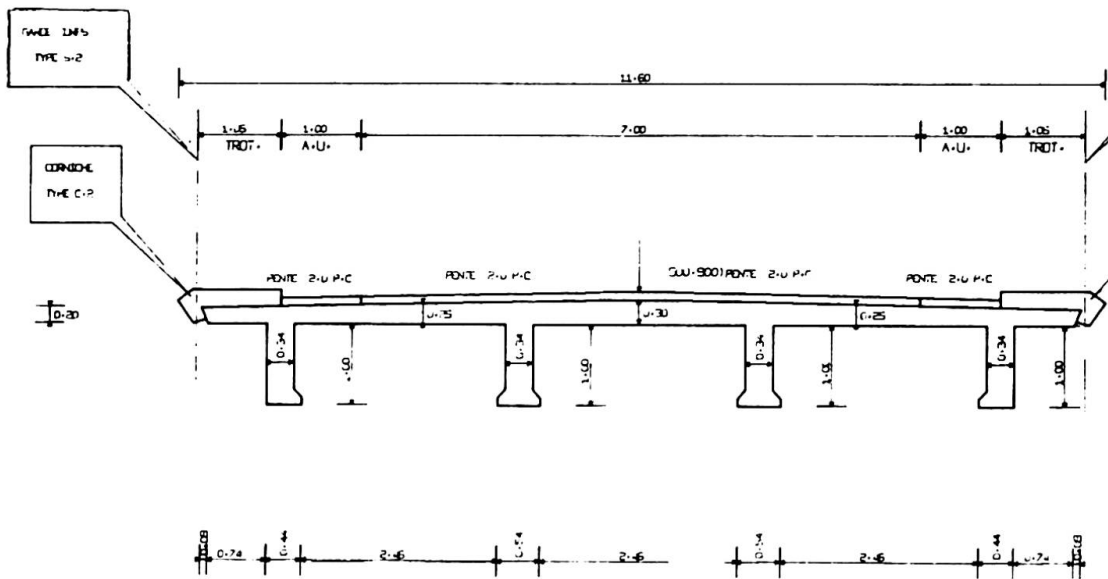


Figure 3. Coupe transversale de tablier à poutres sous chaussée automatiquement dessinée par traceur de courbes.

façon homogène et appliqué à l'ensemble des structures-types.

Le but poursuivi est l'automatisation des différentes tâches qui ne sont pas reconnues comme conceptuelles.

3.1. LES ETUDES D'AVANT-PROJET DETAILLE.

Ainsi désigne-t-on le dégrossissage du projet. Ce dégrossissage comprend les opérations suivantes :

- le choix du type d'ouvrage,
- le prédimensionnement,
- les dessins d'implantation et de coffrage.

Les deux premières opérations sont accomplies par l'Ingénieur comme indiqué aux § 2.1. et 2.2.

Les travaux de dessins consistent à démarquer certaines pièces de la troisième partie où l'on trouve un modèle d'application complètement traité. Cette opération a été accomplie manuellement jusqu'à présent; nous l'avons automatisée dans le cas de la représentation de passages à travées multiples et nous comptons l'étendre au cas des cadres fermés, des portiques ouverts et des viaducs du type V.I.P.P. (fig. 3)

Ce mode d'étude aura atteint sa pleine efficacité le jour où les "entrées" ne devront plus être préétablies dans leur ensemble ni être formulées sous formes numériques, mais où le dialogue avec l'ordinateur sera possible y compris sous forme graphique par utilisation d'une unité d'affichage en time-sharing.

3.2. L'ETUDE DEFINITIVE.

A ce stade, qui est généralement préalable à l'appel d'offres, il est souhaitable de dimensionner et d'implanter exactement l'ouvrage et d'assortir cette définition du schéma des armatures principales.

L'automatisation de toutes ces tâches est une entreprise de longue haleine que nous accomplissons par étapes.

Niveau 1 : automatisation des calculs de résistance des matériaux de la structure supposée prédimensionnée (calcul des lignes et surfaces enveloppes des efforts et des contraintes; cf les figures de la référence (4)).

Niveau 2 : automatisation des armatures de B.A. et de B.P. et établissement d'un avant-métré.

Niveau 3 : automatisation du dimensionnement complet.

Niveau 4 : tracé automatique des schémas de coffrage et de ferrailage.

Le niveau d'automatisation des programmes associés aux dossiers pilotes de structures-types est indiqué tableau 1. Le programme V.I.P.P. est automatisé jusqu'au niveau 2, non compris toutefois le dimensionnement des armatures transversales (fig.4)

4. LES RECHERCHES D'OPTIMUM SUR OUVRAGES-TYPES EN B.P. PAR LE SYSTEME "EUGENE".

Malheureusement, la standardisation des ouvrages a jusqu'à présent été limitée dans le domaine des structures par des difficultés de calcul. Quant aux recherches sur les procédures de dimensionnement et de tracé des câbles, préliminaires au traitement auto-

matique, elles sont déplorables de lenteur parce que menées de façon entièrement manuelle : ainsi, la mise au point d'un dossier - pilote et du programme associé poussé jusqu'au niveau 4 demande de quatre à six ans sous forme d'une version tous les deux ans.

"EUGENE", système d'analyse élastique des structures hautement complexes et d'optimisation des structures en béton précontraint aura, entre autres mérites, celui de lever ces deux hypothèses.

4.1. STRUCTURES ELASTIQUES CALCULABLES PAR "EUGENE".

Les structures dont l'analyse élastique est envisageable doivent appartenir à l'ensemble des corps composés des corps élémentaires suivants :

- des poutres à caractéristiques géométriques et mécaniques, à rayon de courbure et torsion constants ou variables; il est tenu compte de l'influence d'une réaction élastique du milieu environnant aussi bien vis-à-vis des déplacements que des rotations, ainsi que d'une déformabilité à l'effort tranchant;

- des plaques homogènes isotropes à bords parallèles, rectilignes, tous deux libres ou tous deux simplement appuyés ou tous deux encastés;

- des plaques homogènes isotropes à bords parallèles circulaires et libres;

- des plaques infinies homogènes et isotropes.

Les coefficients d'influence de ces corps ont été étudiés en faisant abstraction des conditions d'appui par les techniques mathématiques les plus modernes (transformation de Laplace et méthode de réflexions dans le cas des plaques).

L'application systématique du principe de réciprocité fait que les assemblages entre corps élémentaires, les efforts extérieurs et les déformations sont présentés et traités de façon identique. On peut donc englober ces trois notions sous le terme d'efforts-déformations.

Les natures des efforts-déformations envisageables sont : force-déplacement, couple-rotation, déformateur-déformation pure.

Leurs domaines de définition doivent être limités par des polygones pouvant dégénérer en segments ou en points.

Leurs distributions doivent être de la forme exponentielle - polynôme.

Les lignes et surfaces d'influence sont exploitées jusqu'à la détermination des enveloppes de contraintes induites par le poids propre et par les surcharges réglementaires.

4.2. OPTIMISATION DES OUVRAGES EN BETON PRECONTRAIT PAR LES METHODES DE RECHERCHE OPERATIONNELLE.

L'optimisation en question porte sur la détermination des variables continues qui interviennent dans le dimensionnement d'un ouvrage précontraint.

Il est bien entendu que cette recherche ne peut être envisagée qu'une fois réglés les problèmes de conception.

4.2.1. LES VARIABLES ENVISAGEES.

Nous trouvons, tout d'abord, les variables attachées au dimen-

sionnement des coffrages. Précisons, toutefois, que la recherche correspondante respecte la forme générale et que son objet vise seulement à parfaire certaines dimensions.

Les variables qui ont été retenues pour la définition de la précontrainte sont le couple d'excentrement et les forces d'ancrage. On distingue les variables attachées aux précontraintes respectivement isostatiques et hyperstatiques.

4.2.2. LES CONTRAINTES ENVISAGEES.

Moyennant ce choix des variables, nous avons démontré que la recherche de l'optimum pouvait relever de la programmation linéaire sous réserve d'introduire la notion de "déformateur" (1).

Les différentes classes de contraintes automatiquement prises en compte sont :

- les tensions admissibles (compression et cisaillement),
- les couvertures de béton admissibles,
- les courbures admissibles des câbles.

Mais il est possible d'introduire d'autres contraintes.

4.2.3. LA FONCTION ECONOMIQUE.

Elle permet de rechercher aussi bien un optimum économique que technique (minimisation d'une dimension géométrique).

4.2.4. LE SOFTWARE.

La procédure, qui est schématisée sur l'organigramme, fait appel au programme linéaire OPHELIE II et au générateur de rapport en clair OPHEDIT mis aux point à la Société d'Informatique Appliquée et exploitables sur CDC 6.600. (fig.6)

4.2.5. LES DIFFERENTES PROCEDURES D'EXPLOITATION D'EUGENE (cf. ORGANIGRAMME).

L'exécution des procédures numérotées sur l'organigramme (1) (3) (4) et (6) permet de dégrossir un projet en donnant une approximation de la précontrainte et du tracé correspondant. (fig. 7, 8, 9a et 9b).

Le dimensionnement exact d'un ouvrage particulier se fait par appel aux procédures (1) (2) (3) (4) et (6). Dans le cadre d'une justification détaillée, on peut vérifier la validité de la linéarisation des pertes par un recyclage sur (7) (fig. 9c).

L'exécution de l'ensemble des procédures, y compris l'analyse post-optimale, permet de connaître l'incidence sur le coût final de différentes options prises au niveau de la conception, ce coût pouvant représenter un objectif économique ou simplement technique.

C'est donc bien un outil de recherche très complet applicable aussi bien à l'étude des ouvrages exceptionnels qu'à l'étude systématique des ouvrages-types.

5. CONCLUSIONS.

L'optimisation des ouvrages courants ne va pas sans moyens de dégrossissage ni sans moyens perfectionnés d'études approfondies.

Un moyen de dégrossissage rapide et sûr des paramètres à variation discontinue existe dans la standardisation des ouvrages-types.

Deux moyens d'étude approfondie sont préconisés qui font appel

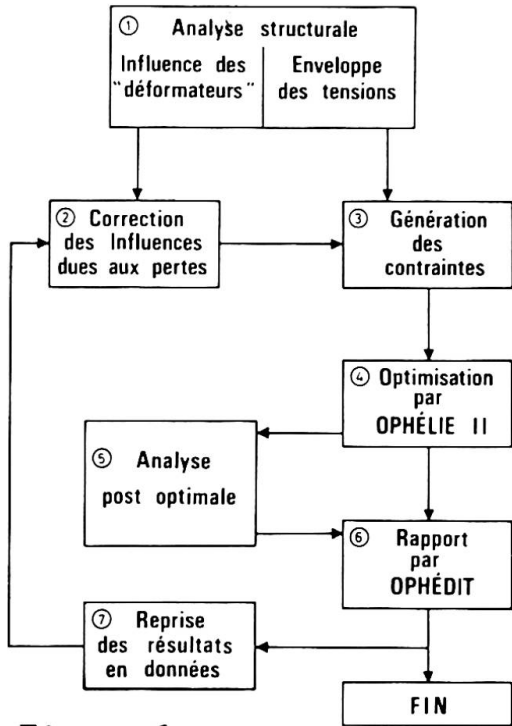


Figure 6

Figure 7

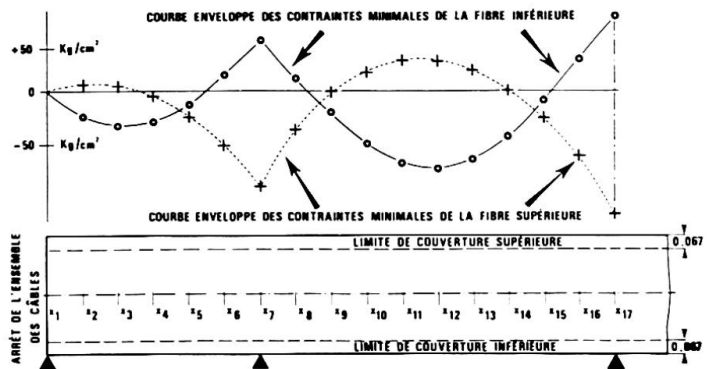
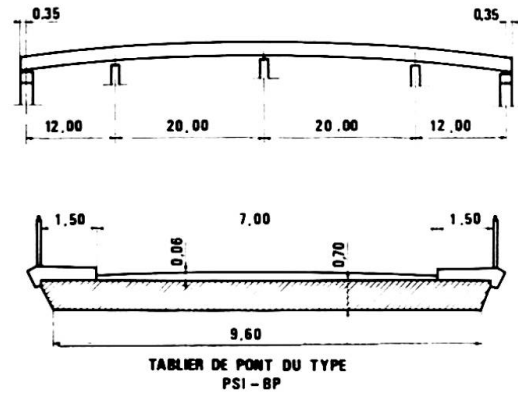


Figure 8

Figure 6. Organigramme d'EUGENE, système d'analyse élastique et d'optimisation des structures spatiales en béton précontraint.

Figure 7. L'exemple d'application: un PSI-BP à 4 travées solidaires.

Figure 8. Les données de l'exemple d'application: enveloppe des tensions, limites de couverture, arrêt des câbles.

Figure 9a. Tracé optimal non compte tenu des courbures admissibles des câbles et des pertes; force optimale: 2171 t.

Figure 9b. Tracé optimal non compte tenu des pertes; force optimale: 2171 t.

Figure 9c. Tracé optimal compte tenu des pertes; force optimale: 2411 t.

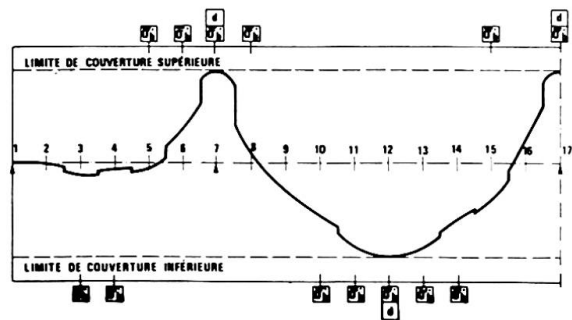


Figure 9a

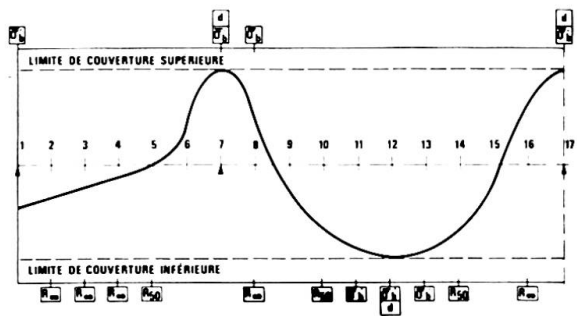


Figure 9b

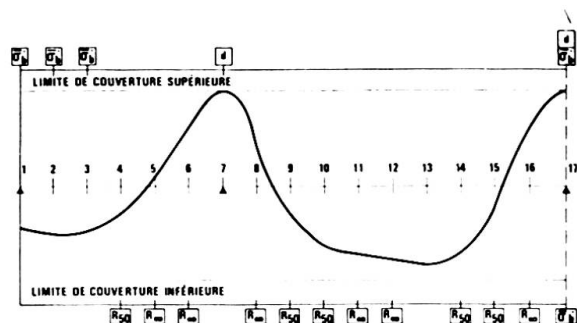


Figure 9c

l'un et l'autre au traitement automatique des informations et à la recherche d'un optimum sur un ensemble de variables continues :

- les études par programmes de calcul électronique entièrement automatiques applicables aux ouvrages-types réalisés en grand nombre;

- les programmes d'analyse structurale, sous réserve qu'ils soient d'une grande généralité et qu'ils débouchent sur des programmes de recherche opérationnelle.

Ces méthodes ont été progressivement introduites en l'espace d'une décennie dans la définition des ouvrages d'art courants du réseau routier et autoroutier français. Rapidement elles se sont révélées efficaces, et le développement des moyens à traiter l'information les ~~rendra~~ de plus en plus fécondes. Nous pensons qu'elles ont vraiment valeur générale.

BIBLIOGRAPHIE.

- (1) J.C. LERAY, C. LANGELLO, L'utilisation de la programmation linéaire dans l'optimisation des structures de Génie Civil, Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, Janvier 68, n° 241, p. 49.
- (2) J.C. ALBOUY, A. BONNET, J.C. LERAY, Automatic design on electronic computers of standard bridges in reinforced concrete, Journal of A.C.I. Mars 65.
- (3) A. THIEBAULT, J.C. ALBOUY, J.L. DELIGNY, J.C. LERAY. Le calcul électronique dans les projets d'autoroutes, Annales de l'I.T.B.T.P., Mai 67, n° 233.
- (4) J.C. LERAY, les Ingénieurs du S.E.T.R.A. Les ponts courants bisés et courbes, VIIIème Congrès de l'A.I.P.C., Sept. 68.

RÉSUMÉ

Pour définir les ouvrages routiers courants tout en approchant d'un optimum, deux moyens sont successivement appliqués: la standardisation et l'exploitation de programmes de calcul entièrement automatiques. Un système de programmation pour l'analyse élastique des structures complexes (poutres et plaques) et pour l'optimisation de la précontrainte nous permettra de vérifier les structures standardisées et d'accélérer la formulation de programmes de calcul entièrement automatiques.

ZUSAMMENFASSUNG

Um die gebräuchlichen Strassen- und Autobahnbrücken in Annäherung an ein Optimum festzulegen, werden zwei Mittel, eines aus dem andern folgernd, angewandt: Die Vereinheitlichung und die Ausschöpfung des Elektrorechners. Ein Programmsystem für die elastische Berechnung verwickelter Tragsysteme (Träger mit Platte) sowie für die Optimierung der Vorspannung wird uns erlauben, die vereinheitlichten Tragwerke zu kontrollieren und die Ausarbeitung der völlig automatischen Programme zu beschleunigen.

SUMMARY

In order to define the usual bridges over the roads and motorways and come near to a given optimum, two methods are used successively: the "standardization" and the utilization of wholly automatic programs for computers. A programming system for the elastic analysis of sophisticated structures (beams with slabs) and for the optimization of pre-stressed structures will allow us to diversify the standardized structures and to speed up the formulation of wholly automatic programs.

Leere Seite
Blank page
Page vide