

## **Jean-Pierre CHANARD**

Responsable du service C.A.O.  
Campenon Bernard

## **Bruno MARCE**

Etudes et développements  
informatiques  
Campenon Bernard

---

## **CAO à Campenon Bernard** **Conception de ponts**

ABSTRACT : C.A.D. OF CONCRETE STRUCTURES AT CAMPENON BERNARD

CAMPENON BERNARD is a french major company of concrete civil engineering among the first worldwide design companies. Spread of CAD system use is a leading part of its developpement. Along studies a big amount of specific softwares have been developped in the design office to perform more accurate calculations wich enable the erection of the most daring structures. The choice of INTERGRAPH CAD system laid on the ability to mix easily drafting routines with home-maid design softwares.

Bridge design was choosen as first try for a complete graphic design software. It can be summarized as follow:

- 1) A 3D line is erected from 2D plane view and profile line.
- 2) Characteristic sections are defined and placed at the proper orientation. Volumes are generated between sections taking into account specific variations.
- 3) Prestress cables are placed along each section or directly defined in the model.
- 4) Anchor blisters are placed in accordance with the tendons orientation and automatically adjusted to feet concrete environment.
- 5) External and internal connections are input to the model.

The resulting 3D model is used as common data base for drawings and computations. Reinforcement bars placement can be performed inside the model, leading to automatic detailing and bar extraction. Many automatic cotation fonction have been developped to use the best informations input in the file through the creation process.

The aim of such a software is mainly:

- SAFETY by a centralized common data base used by the draftman as well as by the engineer.
- SPEED by reduction of unnecessary entries and automation of cotation process.
- COST for both reasons.

RESUME : CAO A CAMPENON BERNARD - CONCEPTION DE PONTS

CAMPENON BERNARD dans un constant souci d'allier l'efficacité et la technicité a axé son développement sur la voie de la CAO. La maîtrise de l'outil CAO conjugué aux développements antérieurs dans des programmes d'analyse de structure a permis la réalisation d'un programme de conception de ponts, ouvrages qui ont toujours été l'expression privilégiée de l'avance technique de l'entreprise.

Ce logiciel suit les différentes phases de l'implantation d'une structure linéaire à partir des deux définitions planes de son axe directeur. Le volume du pont est généré ensuite par la définition des différentes sections aux points particuliers de l'ouvrage. Les cables de précontraintes sont modélisés et leur rendement calculé. Les parties locales sont assemblées conformément à l'orientation prise par le corps de l'ouvrage ou les abouts des cables.

Tout au long de la création graphique des éléments, une base de donnée alphanumérique est automatiquement remplie. La maquette du pont ainsi générée associée à cette base peut être interrogée par les programmes graphiques permettant la réalisation de plans d'exécution, autant que par les programmes d'analyse de structures. La maquette 3D réalisée va servir aussi de référence pour le placement assisté des armatures du béton, permettant l'édition de plans de ferrailage en parfaite concordance avec le coffrage.

Une parfaite homogénéité est ainsi obtenue entre les calculs et l'ensemble plans. Ceci apporte une sécurité au projet, tout en diminuant l'échange de données entre les intervenants et donc les coûts d'exécution.

D'autre part la rapidité de conception et la qualité des résultats permet d'étudier dans les mêmes contraintes de budget et de temps, plusieurs solutions éventuelles et d'en proposer la meilleure. Le problème d'optimisation vient inévitablement à l'esprit, cependant l'étude de ponts de grande portée se résoud la plus part du temps par une solution prototype dont le mécanisme d'optimisation, en plus de sa complexité, comporte souvent des contraintes totalement extérieures au bureau d'études.

La CAO a été introduite chez CAMPENON BERNARD pour résoudre tout d'abord un problème de dessin. Le choix d'un système évolué comme ceux proposés par INTERGRAPH a cependant été décidé pour permettre une évolution sans heurts vers la conception.

Il reste que le produit principal du bureau d'étude reste le plan. La CAO étant un instrument de dessinateurs, les développements ont pour but premier d'informatiser les échanges de données entre dessinateurs et concepteurs. Le plan, base de données essentielle pour la conception, devient alors base de donnée informatique, directement interrogeable par les programmes de calcul, sans erreur de transmission.

Une différence apparaît cependant entre la maquette de référence servant à alimenter les plans d'exécution et le modèle informatique de calcul. Dans le premier tous les détails doivent figurer alors que dans le second des simplifications sans répercussions mécaniques sont faites pour s'adapter aux exigences des programmes.

Le but de nos développements a été de rendre responsable le dessinateur, de la modélisation d'une maquette commune sous le contrôle du concepteur.

Un tel programme se devait de faciliter au maximum la tâche du dessinateur et de mettre à son insu les repères nécessaires pour la saisie automatique des données de calcul.

## I IMPLANTATION DE L'OUVRAGE (fig. 1)

L'ouvrage est implanté dans l'espace par le biais de deux composantes planes, la courbe en plan et le profil en long.

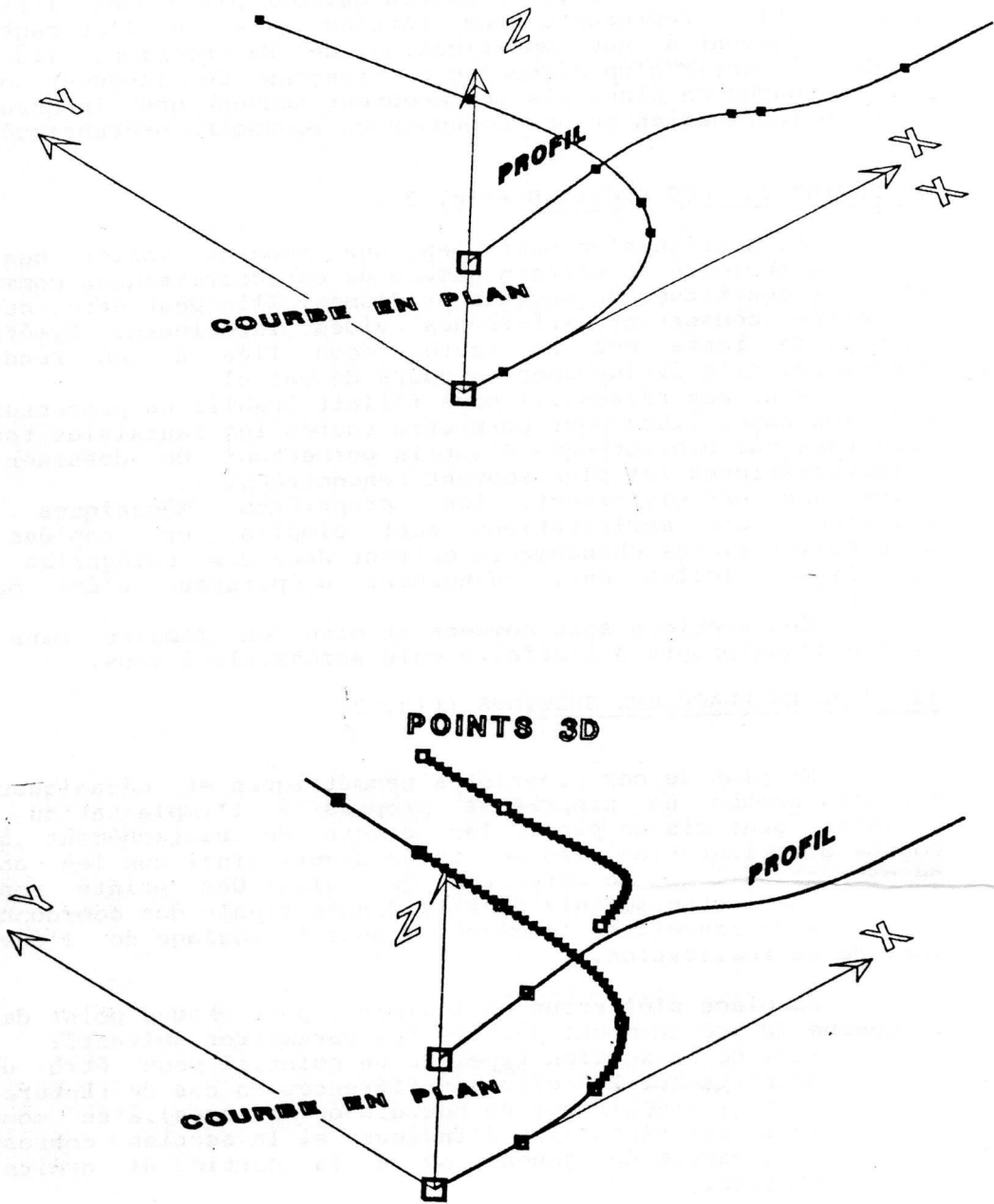
La courbe en plan est une projection de l'axe de référence de l'ouvrage sur un plan horizontal. Il contient les coordonnées d'un certain nombre de points fixes reliés par des courbes élémentaires (droites, cercles) ou des raccords (parabole, clothoïdes), définis analytiquement ou encore géométriquement par leur propriété de tangence et de perpendicularité. Les calculs nécessitent une grande précision et les résultats doivent être donnés au mm pour des rayons d'arc de l'ordre du Km.

La courbe de profil donne en tout point de la courbe précédente son altitude. Elle est généralement définie par des droites, arcs de cercle et paraboles.

Le travail est effectué dans un même fichier de dessin 3D, dans 2 plans perpendiculaires.

Sur chaque courbe, les points particuliers de l'ouvrage sont définis tels les emplacements des piles et culées.

Fig. 1 - Courbes d'implantation



La génération de la courbe 3D est automatique. En fait plus qu'une courbe, c'est un ensemble de points qui est placé dans l'espace. Chaque point représente une particularité de l'ouvrage qui conduit souvent à une modification de sa section. Ils sont générés à partir d'un découpage en tronçons de longueur donnée sur la courbe en plan. Ils représentent souvent une interruption dans la fabrication ou un découpage en voussoirs préfabriqués.

### II DEFINITION DES SECTIONS (fig. 2 )

La section d'un pont bien que pouvant varier beaucoup comporte toujours un certain nombre de caractéristiques communes. Elle est constituée de hourdis et d'âmes. Elle peut être ouverte ou fermée, comportant parfois des vides intérieurs. Symétrique ou pas, sa forme est de toute façon liée à son rendement mécanique. Elle évolue donc en cours de calcul.

Pour ces raisons, il nous fallait établir un processus de création assez libre pour permettre toutes les fantaisies tout en apportant une bibliothèque d'outils permettant de dessiner les caractéristiques les plus souvent rencontrées. Avant son enregistrement, les propriétés mécaniques sont calculées. Les modifications sont simples et rapides en particulier si les changements entrent dans des catégories bien spécifiques telles que, changement d'épaisseur d'âme ou de hourdis.

Ces sections sont nommées et mise en mémoire dans une bibliothèque propre à l'affaire mais accessible à tous.

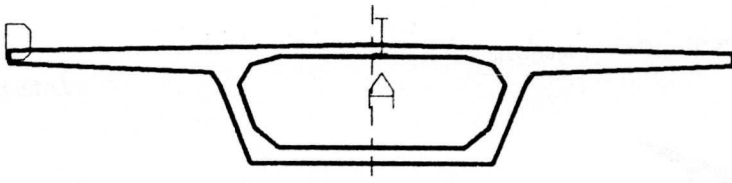
### III MISE EN PLACE DES SECTIONS (fig. 3)

En plus de ces propriétés géométriques et mécaniques un certain nombre de propriétés propres à l'implantation sont définies. Sont mis en place, les points de rattachement à la courbe d'implantation, les points de devers ainsi que les points de passage de l'axe de référence de calcul. Des points repères peuvent aussi être définis dont la donnée finale des coordonnées, permettra de renseigner le géomètre pour le réglage de l'ouvrage lors de sa réalisation.

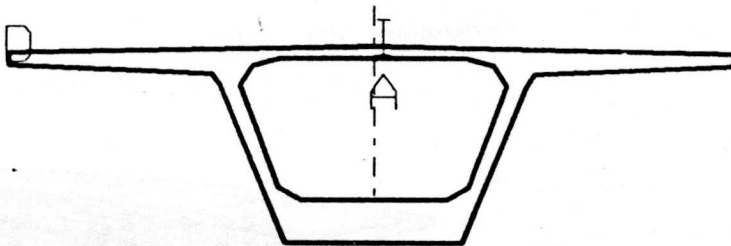
La mise en place s'effectue en indiquant pour chaque point de la courbe 3D précédemment décrite les paramètres suivants:

- nom de la section type. En un point, il peut être utile de rattacher 2 sections différentes en cas de rupture de forme (surépaisseur du hourdis ou des âmes), à ce moment-là il est nécessaire d'indiquer si la section correspond à la partie de gauche ou à la partie de droite du tablier.

Fig. 2 - Generation des sections



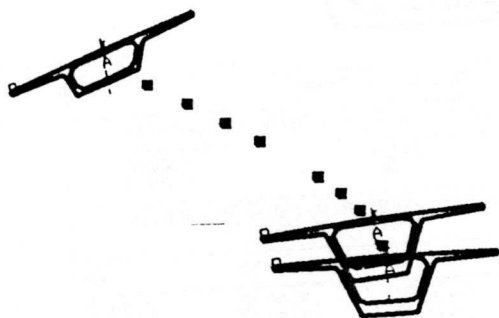
SECTION : SECT1		MIDDLE OF SPAN			
POINT DE DEVERS		POINT D'AXE	CENTRE DE GRAVITE		
	-9.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
	-0.1800	-1.3705	-1.0540	-1.0540	
SURFACE		ROTATION DES AXES PRINCIPAUX D'INERTIE			
	12.2900	0.000 DEGRES			
INERTIES		V1	V2	SR	ZG
X	13.3460	1.0540	-1.9460	3.3572	2.3467
Y	243.5845	9.0000	-9.0000	9.8795	10.3479



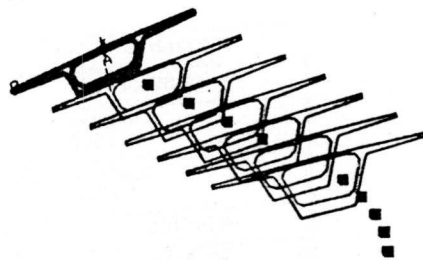
SECTION : SECT2		SECTION ON PIER			
POINT DE DEVERS		POINT D'AXE	CENTRE DE GRAVITE		
	-9.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
	-0.1800	-1.3705	-1.0540	-1.0540	
SURFACE		ROTATION DES AXES PRINCIPAUX D'INERTIE			
	12.2900	0.000 DEGRES			
INERTIES		V1	V2	SR	ZG
X	13.3460	1.0540	-1.9460	3.3572	2.3467
Y	243.5845	9.0000	-9.0000	9.8795	10.3479

*Fig. 3 - Sections et volumes*

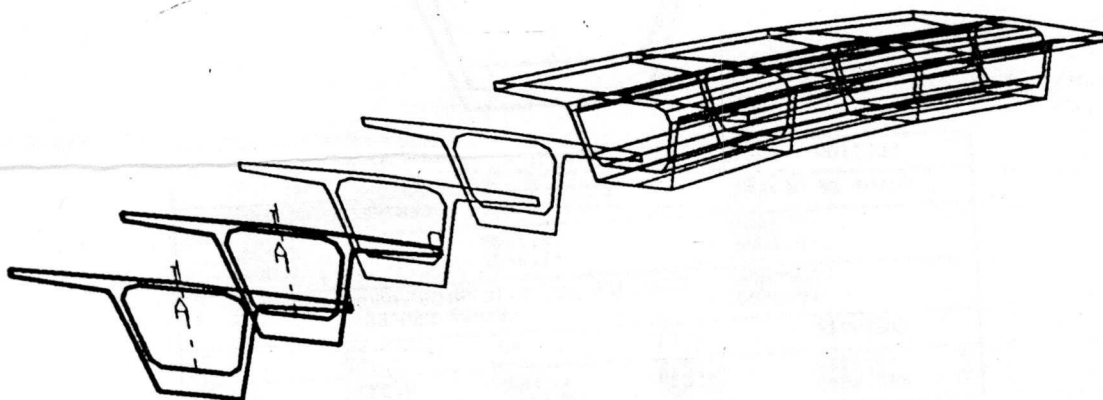
*Placement des sections*



*Interpolations*



*Generation des volumes*





- inclinaison ou devers par rapport à l'horizontale
- nom de la section mise en place.

A partir de deux sections mises en place un ensemble de sections interpolées peut être généré. Les lois de variation sont linéaires ou encore circulaire ou paraboliques. Les sections ainsi créées sont automatiquement enregistrées dans la bibliothèque de section type, et peuvent servir de base à un autre endroit du pont.

#### IV GENERATION DES VOLUMES (fig. 3)

A partir des sections mises en place, les volumes sont générés automatiquement de section en section. Ils sont constitués par des raccords linéaires, pouvant seuls être fabriqués. Il est nécessaire pour cela que les sections encadrant un volume possèdent le même nombre de sommets même si plusieurs d'entre eux sont confondus en un même point géométrique.

La mise en place des piles s'effectue de la même manière. Elles peuvent en fait être comparées au tablier dans leur conception, tube à section variable.

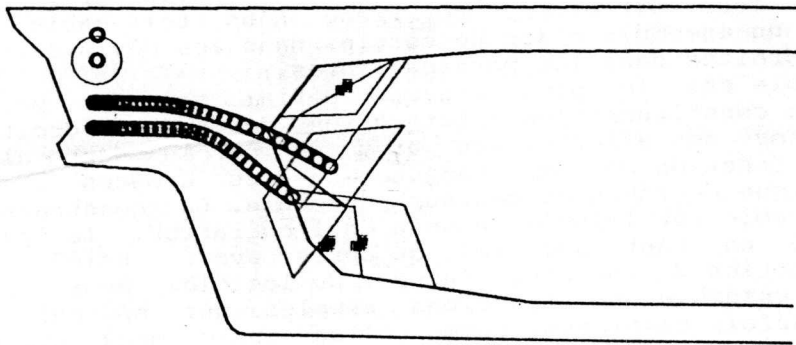
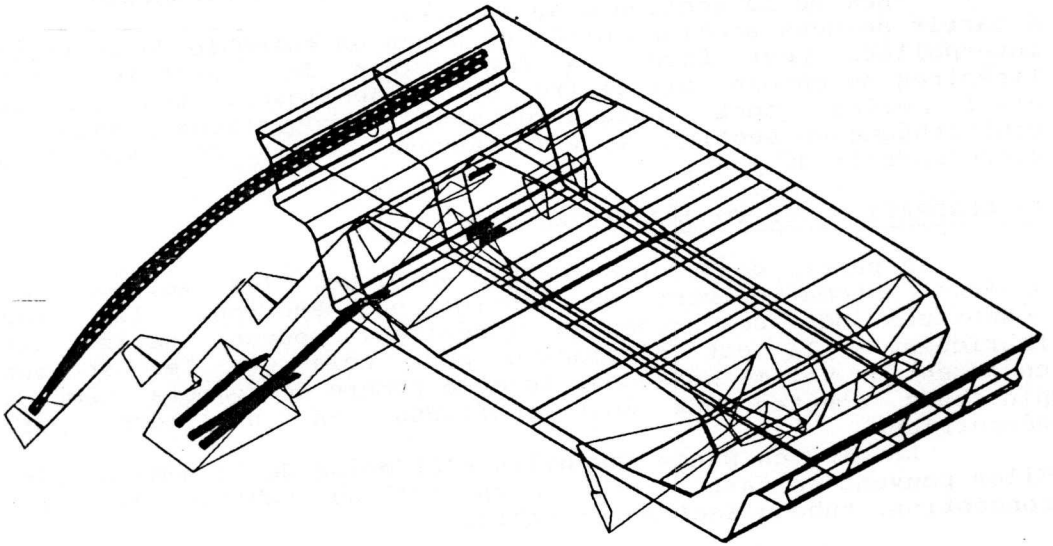
#### V CABLAGE DE PRECONTRAINTE (fig. 4)

Il existe deux types de précontrainte dans les ponts, qui de part leur différence de conception nécessitent des processus séparés de mise en place.

-Le cablage extérieur ou haubans intérieurs est peut être le plus facile à étudier. Les câbles sont rattachés au tablier en un certain nombre de points, appelés déviateurs, qui infléchissent leur direction. Le tracé d'un tel câble est constitué par un ensemble d'arc de cercles dans les déviateurs en béton, et de droites dans les parties libres.

Ce type de câble est le plus souvent défini par les points théoriques que constituent les intersections des parties droites, points de report des efforts, les arcs de cercle sont alors déterminés en fonction de leur tangence à ces droites et la donnée spécifique du rayon de courbure du câble. La construction du modèle du câble est laissée au soin de l'opérateur, le câble n'est déclaré en tant que tel qu'après avoir chaîné les différentes parties de son axe. L'apport du logiciel pour cette partie est un ensemble de fonctions simples qui opèrent les connections parfois complexes, comme celles entre deux droites non coplanaires

Fig. 4 - Placement des cables



-Le cablage intérieur est défini d'une manière tout autre. Son tracé possède certaines contraintes de passage dues au processus de fabrication. Les interpolations entre ces points doivent suivre des règles imposées de courbures. La forme de ses extrémités est souvent répétitive de câble en câble. Il nous a paru intéressant d'assister au maximum l'opérateur dans la définition d'un tel câble, contrairement au cas précédent. Les points imposés de passage appartiennent la plus part du temps à des sections qui ont été définies au préalable. Les départs des câbles dans les bossages sont étudiés à part et leur tracé est approximé dans cette partie, par un courbe d'interpolation sur cinquante points. A partir de fichiers où se trouvent les données des départs des câbles et les coordonnées relatives dans chaque section, un tracé interpolé par cubiques est généré automatiquement et donne en fin de calcul la valeur minimum du rayon de courbure obtenue après interpolation.

Dans les deux cas, des paramètres sont associés au câble, ce qui permet de calculer immédiatement la valeur finale de la tension espérée suivant plusieurs réglages. Le câble tracé, toutes les modifications ponctuelles sont possibles. Soit un nouveau point de passage peut être imposé ou encore un point déjà défini modifié. A la suite de chaque modification la tension finale espérée est calculée indiquant de manière interactive à l'utilisateur les effets de sa modification.

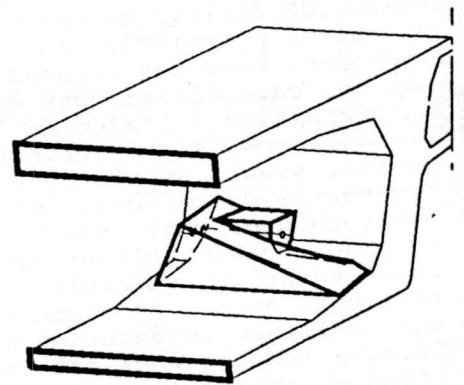
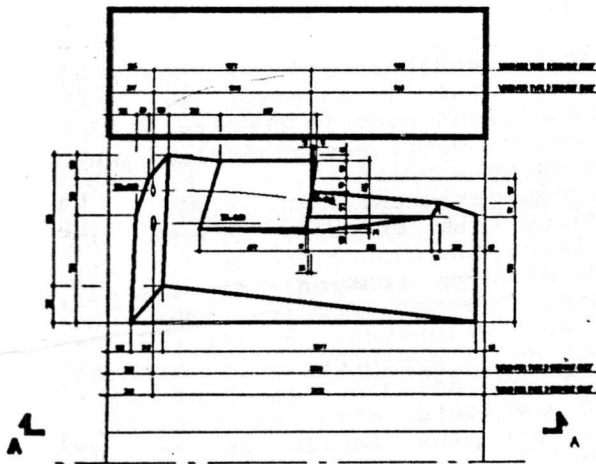
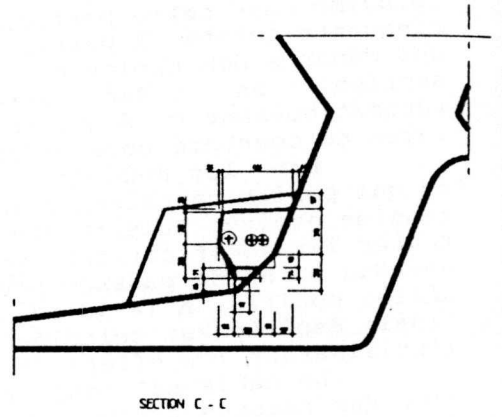
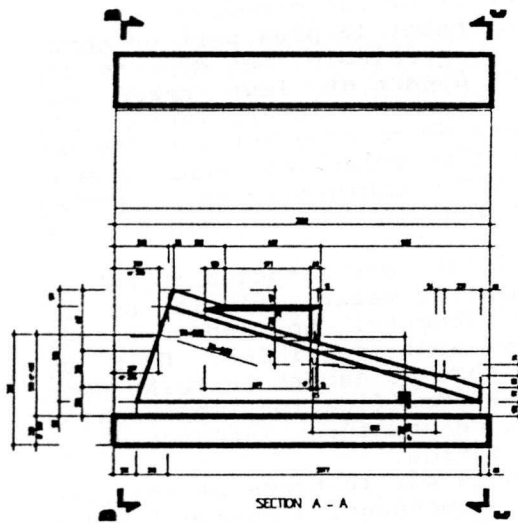
Le câble est toujours représenté par le tracé de son axe pour des raisons d'économie de place. Cependant, à chaque instant l'encombrement réel de la gaine peut être obtenu sur tout ou partie de ce câble, permettant ainsi au dessinateur de vérifier la non intersection des différentes parties du tablier avec le câble.

#### VI DEFINITION DES BOSSAGES (fig. 4)

La construction des bossages a toujours été un problème difficile à traiter de manière traditionnelle. En effet si l'on essaye de définir ce qu'est un bossage, on peut le décrire comme un volume pyramidal, dont les formes géométriques générales sont imposées. Pour des raisons évidentes de simplicité, les bossages ont des caractéristiques communes géométriques.

La définition à l'aide du logiciel se fait en deux étapes. La première consiste à définir ses dimensions générales, telles que la face avant, appuis du verrin de mise en tension, et l'angle des pentes de raccord. Ces bossages, mis en mémoire dans une bibliothèque, sont ensuite placés automatiquement à l'extrémité de chaque câble suivant les données de l'opérateur. Le bossage constituant un ensemble graphique ou cellule, il peut être réorienté autour de l'axe du câble à volonté, afin de permettre une meilleure intégration et un passage plus facile du verrin. Lorsque les bossages ont leur orientation définitive, le logiciel prend en charge la modification des pans des cotés afin de réaliser la jonction avec l'âme et le hourdis.

*Fig. 5 - Plans de coffrage*



### VII MISE EN DONNEE DE CALCUL

A ce point le travail exécuté par le dessinateur a été identique à ce qu'il était au paravant si ce n'est avec une grande facilité. Cependant, tout au long de son processus d'édification les informations nécessaires ont été enregistrées. Sur les directives de l'ingénieur, il va définir les caractéristiques propres aux programmes d'analyse de structures. Les barres et leur découpage en tronçons est défini par rapport aux sections. La numérotation des noeuds est choisie; enfin les différentes liaisons internes et externes sont mise en place. Les données sont alors regroupées sous un format directement compréhensible par le logiciel de calcul qui permet à l'ingénieur de s'assurer de la stabilité de la structure.

### VIII EXTENSIONS GRAPHIQUES (fig. 5,6 & 7)

Le modèle ainsi formé, associé à sa base de données va pouvoir aussi être exploité pour la fabrication de plans. D'un point de vue purement graphique d'abord, ou le modèle va servir de référence au plan de coffrage, et sera habillé par de la cotation assistée. Des vues en perspective des pièces compliquées apporteront une clarté au plan, qui en feront des documents de travail pour tous, sans effort de compréhension.

La réalisation des plans de cablage est peut-être la plus assistée. Toutes les informations enregistrées dans la base de donnée, sont employées pour la simple cotation, comme pour l'extraction automatique de coupes.

Enfin le modèle est utilisé, pour la mise en place du ferrailage qui s'effectue grâce au logiciel 3D d'INTERGRAPH, CDP.

Ce logiciel en plus d'assurer une parfaite cohérence entre le coffrage et le ferrailage, prend en charge un certain nombre de vérifications réglementaires et géométriques.

Une base de donnée est gérée lors de la mise en place des aciers, son exploitation permettant d'éditer des bordereaux d'aciers ainsi que des plans de façonnage de manière automatique.

### CONCLUSION

Ce développement a demandé un effort important, puisque réalisé en un peu plus d'une année-homme. IL faut noter cependant que cet effort comporte l'étude préalable des possibilités offertes par le logiciel du matériel acquis, travail qui sera mis a profit dans les développements suivants.

L'éventualité d'un automatisme plus grand peut se poser. Ainsi pourquoi ne pas envisager une optimisation informatique du schéma de précontrainte ainsi qu'une génération automatique des armatures ?

*Fig. 6 - Plans de precontrainte*

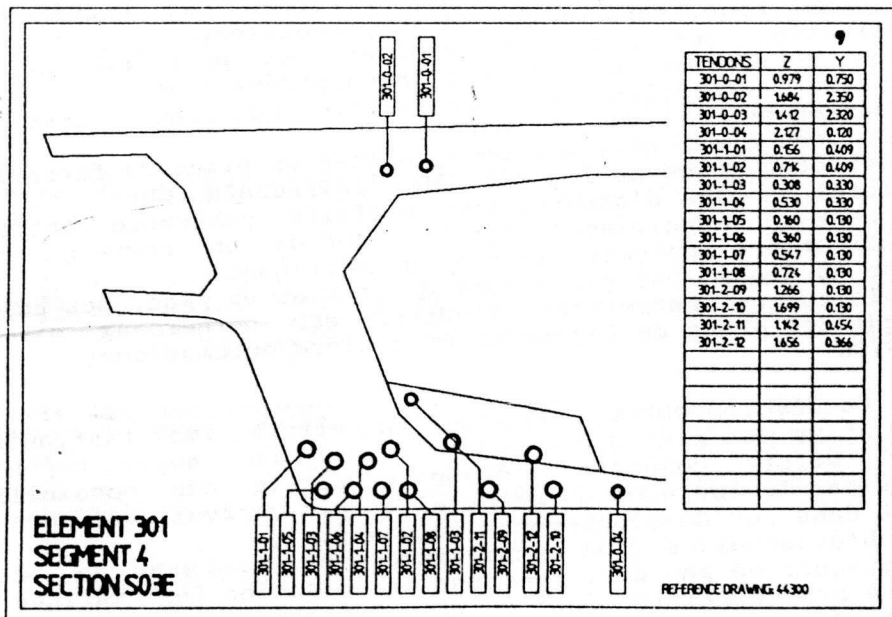
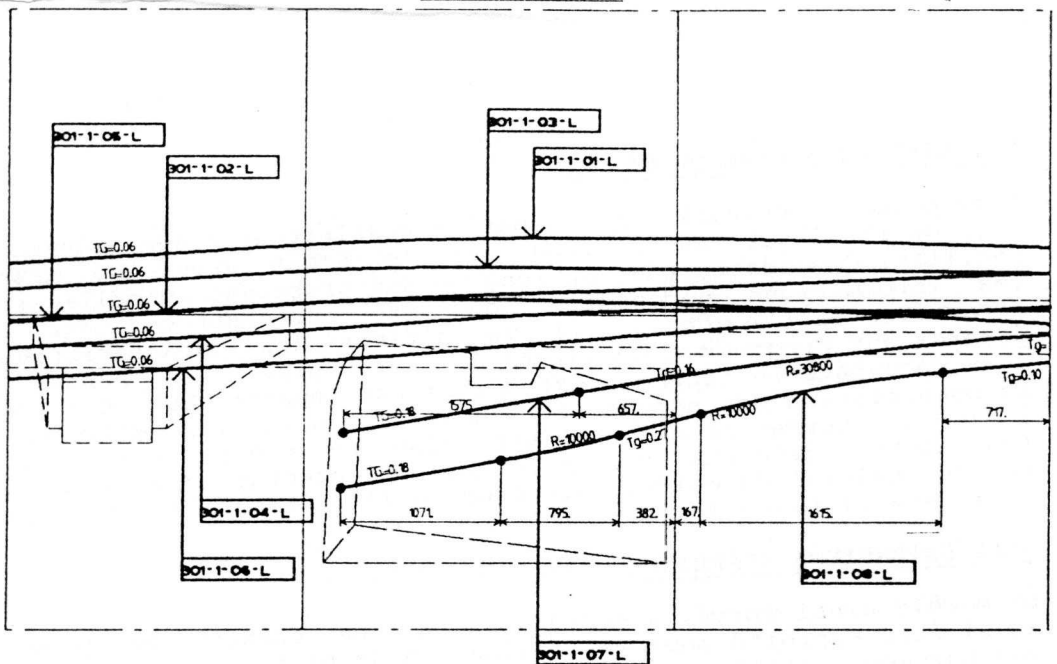
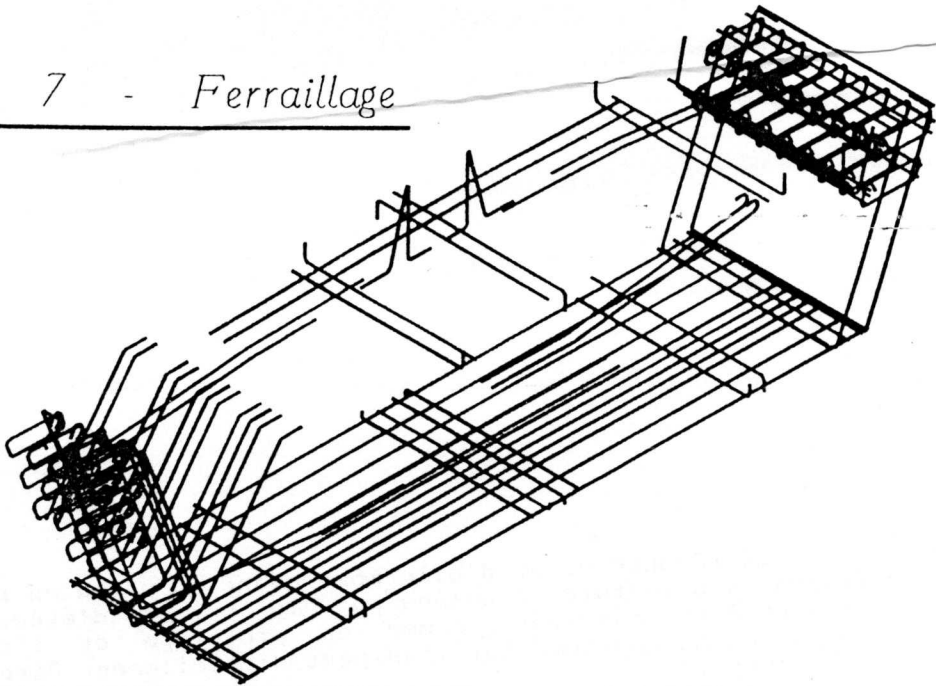


Fig. 7 - Ferrailage



INDIVIDUAL BAR MARK ON FFI DRAWING	NUMBER	DIAMETER			BAR QUANTITY	BENDING SCHEDULE	BAR LENGTH	TOTAL LENGTH
		D	R	S				
AB	1041	10			20		145	2830
AB	1083	10			6		2400	14400
AB	1211	10			8		1104	8832

La réponse vient d'elle-même quand on passe en revue les différentes structures étudiées par le bureau d'étude. Chaque pont peut être considéré comme un prototype et l'algorithme d'optimisation appliqué sur l'un peut difficilement être envisagé sur un autre.

Ce logiciel apporte, en fait, tous les outils nécessaires pour étudier rapidement les différentes variantes qui peuvent se présenter au concepteur. La cohérence obtenue entre les plans et les études assure une fiabilité qui était difficile à atteindre. En résumé, pour un coût identique, la solution proposée est une des plus économiques. La clarté des plans produits permet en outre d'espérer un meilleur déroulement du chantier sans surprise de dernière minute.

Jean-Pierre CHANARD  
Responsable du service C.A.O.  
CAMPENON BERNARD

Bruno MARCE  
Etudes et développements informatiques  
CAMPENON BERNARD

92/98 Boulevard Victor HUGO  
92115 CLICHY  
FRANCE

Tel:43-34-17-35 Tlx:CBTRA 610 221 F