Ecole Nationale des Ponts et Chaussées

Cours de conception et de construction des ponts

LES OUVRAGES CONSTRUITS SUR CINTRE

CLAUDE SERVANT

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS

CHAPITRE I

LES PONTS CONSTRUITS SUR CINTRES APPUYES AU SOL

O - PREAMBULE

Quand le tablier à construire est situé à faible hauteur au-dessus d'un sol de bonne capacité portante, la méthode de construction la plus simple et en principe, la plus économique, consiste à couler le tablier sur un échafaudage ou sur un cintre directement appuyé sur le sol.

Cette méthode couvre une part très importante des ouvrages d'art courants construits en France chaque année

Parmi les techniques employées pour construire les ponts, une, assez courante, consiste à prévoir des structures continues, bétonnées en place à l'avancement, travée par travée. Chaque phase correspond à l'exécution d'une travée avec une partie en porte-à-faux dans la travée suivante, ceci afin de pouvoir disposer les ancrages des câbles de précontrainte et leur raboutage ultérieur, dans une section à moment fléchissant réduit.

Cette méthode de construction du tablier par phases successives présente les avantages suivants :

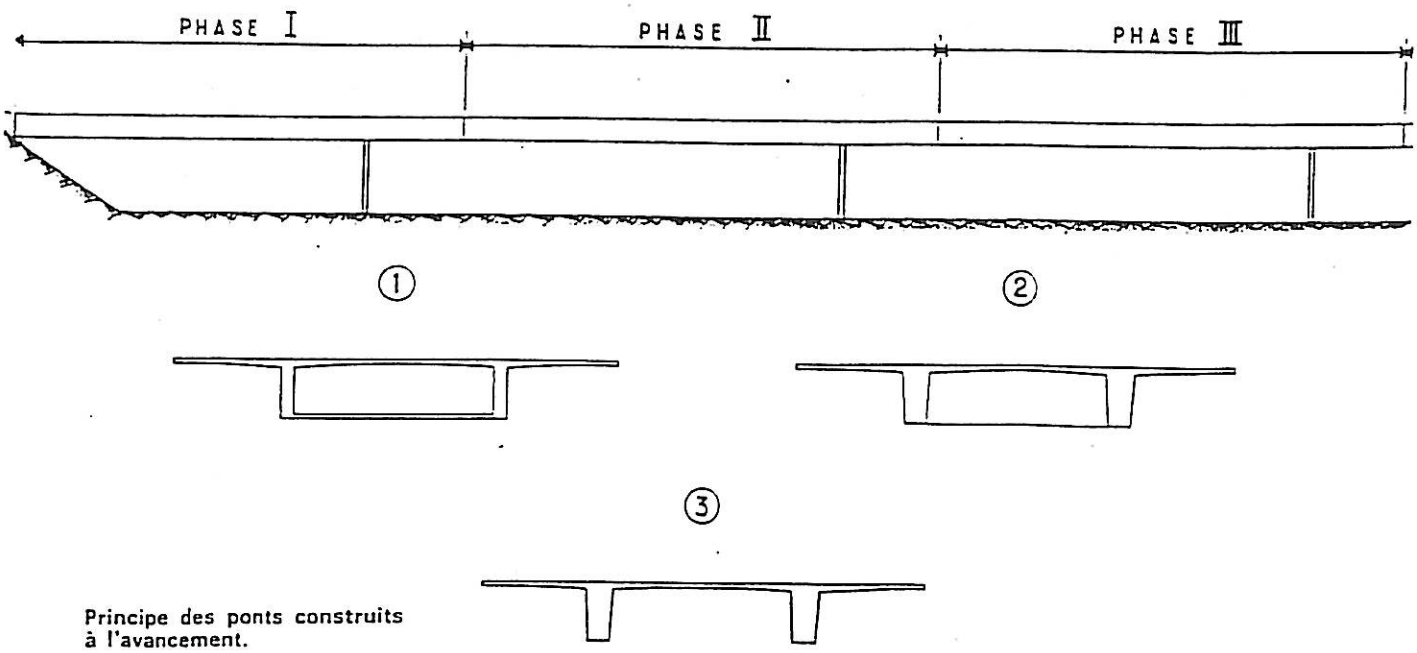
- la durée d'un bétonnage, qui doit être inférieur à une douzaine d'heures pour ne pas multiplier les équipes, limite le volume à couler

- le phasage de construction permet un meilleur réemploi des coffrages et des étaiements.

La section transversale du tablier dont la hauteur est le plus souvent constante peut être constituée d'un ou plusieurs caissons à deux âmes ou plus, d'un profil à poutres sous chaussée comportant deux ou plusieurs nervures entretoisées, ou enfin d'une dalle nervurée sans entretoise. . .

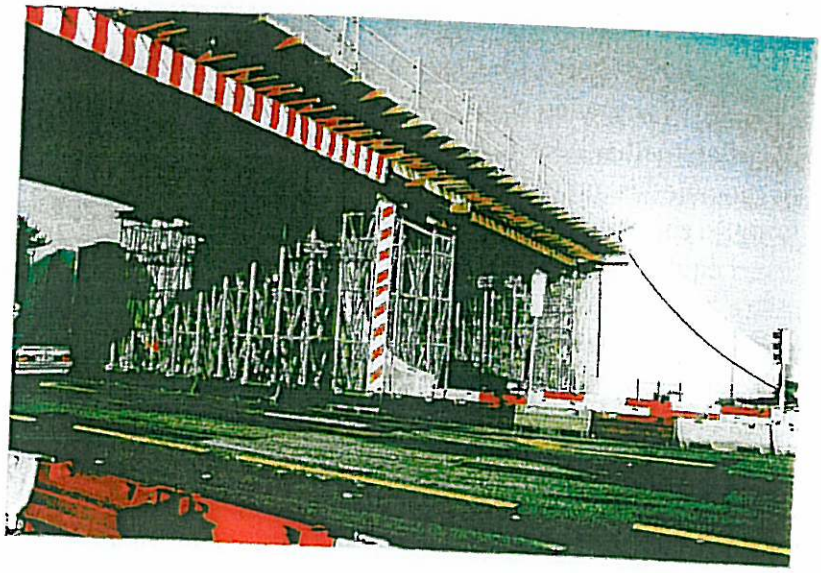
En outre, si l'ouvrage est large, mais de longueur modeste, on peut le construire par phases transversales successives.

Ce type de structure est évidemment limité en portée ; des considérations de quantités mises en ceuvre et de méthodes d'exécution conduisent à penser qu'au-delà d'une cinquantaine de mètres, il est préférable de concevoir des tabliers de hauteur variable.



Principe des ponts construits à l'avancement.

Echafaudage général d'un pont dalle



Maintien des circulations pendant les travaux

1. CONCEPTION GENERALE DES OUVRAGES

Des facteurs d'ordre naturel et d'ordre fonctionnel interviennent dans la conception générale d'un ouvrage. Le concepteur doit concilier les impératifs du Maître d'Ouvrage avec ceux d'autres intervenants concernés par al construction du pont (problèmes de gabarit, par exemple).

La largeur du tablier dépend essentiellement des caractéristiques de la voie portée, dont le projeteur n'est pas maître.

En ce qui concerne la longueur de l'ouvrage, son profil en long et son tracé en plan, si ces données sont fixées à priori, le projeteur peut être amené à proposer des modifications légères afin d'améliorer le comportement mécanique de la structure et les dispositions constructives (ouvrage moins biais, moins courbe, élancement plus économique), éventuellement l'aspect esthétique (hauteur des remblais d'accès, pente trop accentuée).

L'environnement de l'ouvrage permettra une plus ou moins grande liberté pour le choix des appuis au sol et du mode de construction et donc de la structure même (gabarit au sol à dégager pendant la construction, possibilités ou non d'aires de préfabrication et de lancement, pont sur une rivière navigable ou non...).

La longueur totale de l'ouvrage dépend :

- du tracé en plan de la voie portée,
- de la géométrie en plan des appuis par rapport à l'axe de l'ouvrage,
- de la conception des culées et de abords, sous le double point de vue économique et esthétique.

La longueur définitive de l'ouvrage est souvent un compromis entre différents facteurs que sont :

Coût du tablier, inconvénients de soulèvements d'appuis, coût des remblais d'accès, coût des culées, techniques de construction des fondations des culées (par exemple économie de batardeaux en allongeant le tablier), stabilité des abords (affouillement, stabilité des pentes sous le poids des remblais d'accès), chocs de véhicules ou de bateaux sur les culées, débouché dans le cas d'un franchissement fluvial, exploitation, esthétique...

Dans le cas d'un ouvrage continu, le mode de construction et l'équilibrage des travées interviendront également.

Profil en long

La pente de l'ouvrage doit être suffisante pour permettre un bon écoulement des eaux

Il peut être intéressant de relever le profil en long, dans le cas d'un gabarit à respecter, ce qui permettra la réalisation d'un ouvrage moins coûteux - par exemple hauteur constante au lieu de hauteur variable, structure à poutres au lieu de structure en caisson -ou au contraire de l'abaisser pour diminuer la hauteur des remblais d'accès.

Conditions topographiques et géotechniques

Les positions possibles des appuis peuvent être limitées :

- par les emprises existantes au sol (voies SNCF, routes, constructions, ...),
- par les très mauvaises caractéristiques géotechniques à certains endroits (failles...)
- par le coût de piles de grande hauteur.

Les gabarits à respecter en plan peuvent amener à concevoir des piles minces ou des piles marteaux, surtout si l'on veut éviter le biais mécanique de l'ouvrage.

Les caractéristiques topographiques et géotechniques peuvent déterminer le système statique de l'ouvrage. Par exemple, en cas de risques d'affaissement, on pourra être amené à prévoir des articulations dans les zones dangereuses. .

Fondations

Les structures sur appuis simples ne posent en général pas de problèmes difficiles de fondation, lorsque la nature du terrain permet une assise superficielle de l'ouvrage sur semelles ou une fondation à faible profondeur sur pieux. Dans ce dernier cas, on peut utiliser des pieux forés en béton, des pieux battus en béton ou en tube métallique ou des barrettes en paroi moulée en béton. Lorsqu'il est nécessaire de recourir à des fondations sur pieux, il est préférable d'éviter les types de structure utilisant des murs de soutènement classiques. En effet, les fondations de ces murs sont très onéreuses, du fait de l'importance des efforts horizontaux appliqués. Si malgré tout, la réalisation de murs de soutènement est prévue, une bonne solution consiste à les exécuter en "terre armée".

Dans les terrains médiocres, les portiques en cadre fermé constituent une solution s'adaptant bien aux risques de tassement.

Les structures à béquilles, du fait des poussées importantes transmises aux appuis, ne sont utilisables que lorsque les fondations peuvent être réalisées superficiellement sur semelles.

2 - GENERALITES SUR LA CONCEPTION DU TABLIER - DOMAINE D'EMPLOI

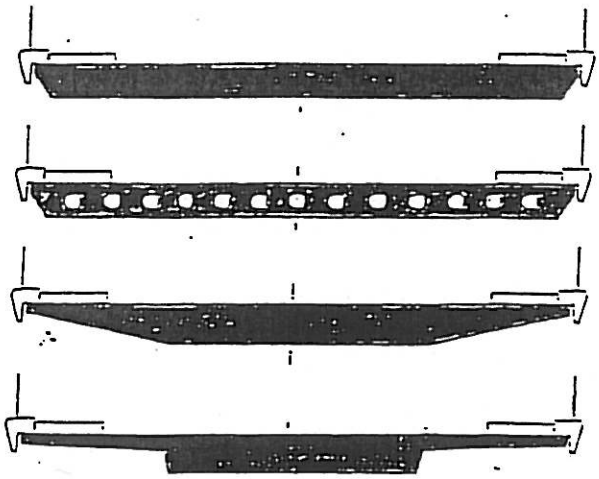
2.1 - Coupe transversale

La conception du tablier est le plus souvent conditionnée par le dessin de la coupe transversale.

Les sections transversales des ouvrages en béton armé ou précontraint les plus couramment utilisées sont les suivantes :

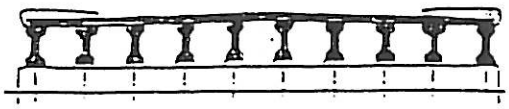
- dalles rectangulaires
- dalles à larges encorbellements,
- dalles nervurées,
- dalles élégies,
- ponts à nervures (à deux ou plusieurs),
- ponts à poutre sous chaussée
- ponts en caisson

Les tabliers des ouvrages dits courants sont généralement de hauteur constante dans le sens longitudinal. Cependant, il peut être intéressant de disposer des goussets sur appuis afin de donner au tablier une hauteur variable (avec une hauteur maximale dans les zones les plus sollicitées sur appuis).

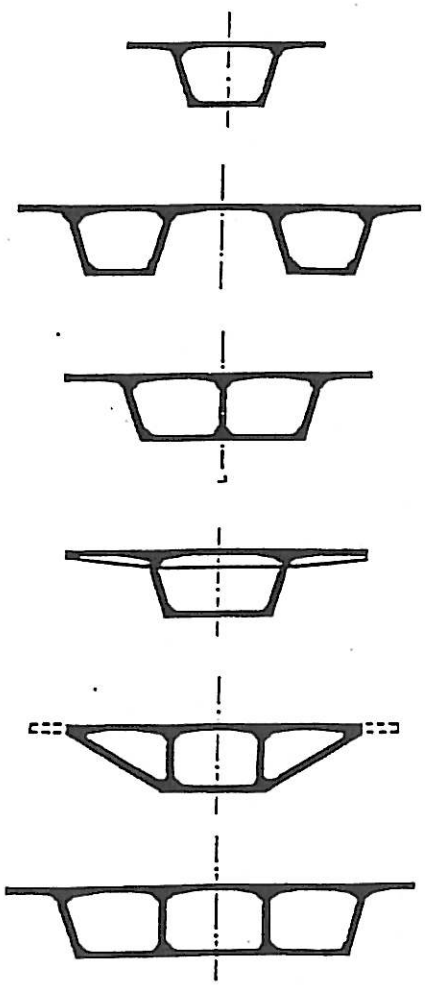


STRUCTURES EN DALLE EPAISSE EN B.A ou EN B.P

DALLE NERVUREE SANS ENTRETOISE



STRUCTURES A POUTRES SOUS CHAUSSEE



STRUCTURES EN CAISSON

INTERET DES SECTIONS EN CAISSON ET DOMAINE D'EMPLOI

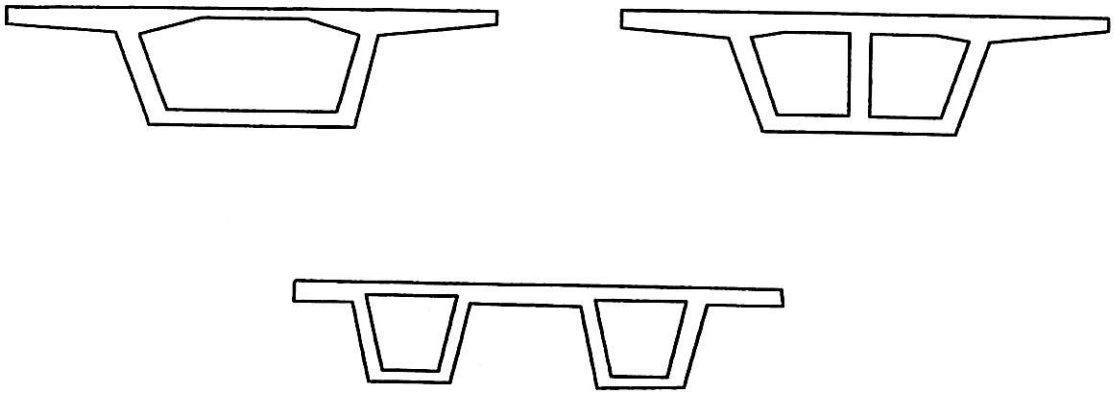
Lorsque la portée des ouvrages augmente ($\geq$ 35 m), il devient intéressant de réaliser des caissons pour :

- alléger les sections et obtenir une épaisseur équivalente faible,
- améliorer le rendement des sections : $\rho \simeq 0{,}60$ à $0{,}65$,
- résister à la torsion.

Les caissons peuvent être simples ou doubles, à deux ou trois âmes. Le domaine d'emploi de chaque type de caisson dépend en grande partie des moyens des entreprises.

On peut toutefois réaliser :

- des caissons à deux âmes verticales ou inclinées de 10m jusqu'à 25 m de largeur,
- des caissons à trois âmes entre 15m et 25 m de largeur. Très utilisés il y a une vingtaine d'années, les caissons à trois âmes tendent cependant à disparaître.
- des doubles caissons reliés par un hourdis en béton armé ou précontraint entre 20 et 35 m de largeur.



Le dimensionnement des âmes dépend de l'importance de l'effort tranchant, de la hauteur de la section, et de la technologie retenue pour l'arrêt des câbles, selon que l'on ancre ou non des câbles dans les âmes (cas des ponts construits par encorbellements successifs).

Le dimensionnement de la dalle intermédiaire est effectué sous charges locales. Elle peut être réalisée :

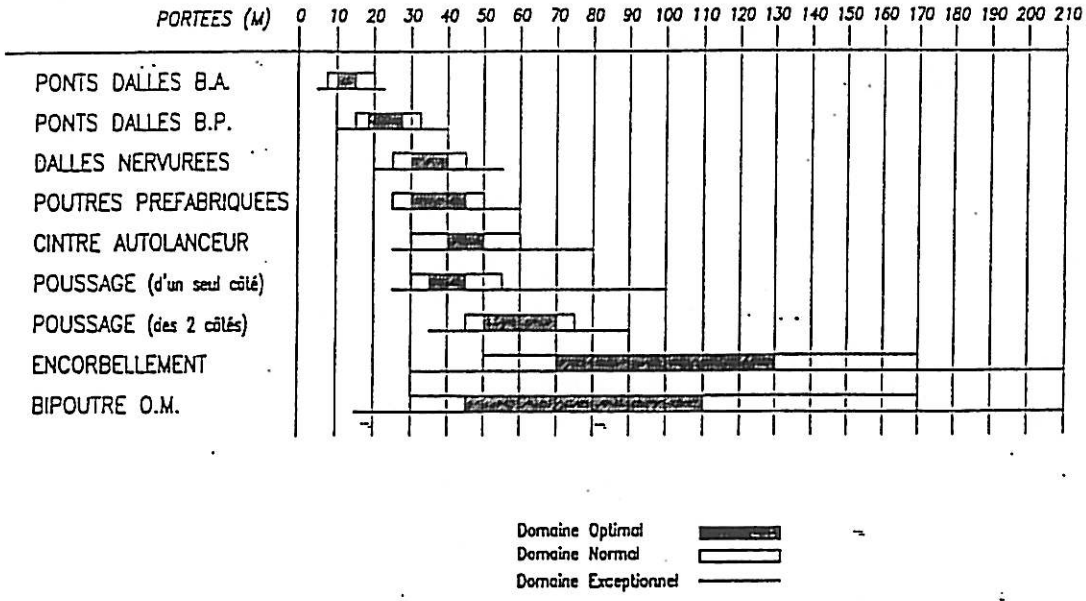
- en dalle pleine de béton armé,
- en dalle pleine de béton, précontrainte transversalement. En ce cas, la précontrainte est réalisée à l'aide de câbles 4T15.S, mis en œuvre à raison de 1 ou 2 par mètre linéaire,
- en dalle nervurée, lorsque la portée entre âmes devient grande ou lorsqu'un effet architectural est recherché : $18 \leq \ell \leq 25$ m.
- en dalle pleine, braconnée, dans la même gamme de portée.

2.2- Nombre de travées - Choix des portées - Elancements

Le nombre de travées est déterminé par :

- le domaine de portée,
- l'élancement possible,
- les contraintes de gabarit et de profil en long
- les conditions topographiques et géotechniques
- le bilan économique : coût du tablier + coût des appuis,
- l'esthétique.

Domaine de portée



Elancement

A titre indicatif, nous donnons ci-après les élancements les plus courants adoptés suivant leur mode de construction pour les ouvrages d'art routiers et autoroutiers.

a) Ouvrages courants

OUVRAGES TYPES CONSTRUITS SUR CINTRE AU SOL

TYPE D'OUVRAGE	GAMME DE PORTEE	ELANCEMENT		OBSERVATIONS	α optimal
		sur pile	à la clé		
PICF PIPO - POD	< 10 - 12 m 8-10 à 20-22 m	1/25 1/25	Id Id		- -
PSIBA	< 25 - 30 m < 20 - 25 m	1/15 1/20	Id. Id.	travée isostatique travées continues ou plus	0.8
PSIDA	6-8 m à 18-20 m	1/20 1/26 1/28	Id. Id. Id.	travée isostatique deux travées trois travées ou plus	0.8
PSIDP dalle pleine	18 à 25-30 m	1/25 1/28 1/33	Id. Id. Id.	travée isostatique 2 travées 3 travées	0.65 à 0.7
PSIDP larges encorbellements	20 à 30 - 35 m	1/22 1/25 1/28	Id. Id. Id.	travée isostatique 2 travées 3 travées	0.65 à 0.7
PSIDE	25 à 35-40 m	1/22 1/25 1/30	Id. Id. Id.	travée isostatique 2 travées 3 travées	0.65 à 0.7
PSBQ	20 à 40 m	1/25	1/35	trois travées (portée en tête de béquilles)	0.6

$$\alpha = \frac{\text{Longueur de la travée de rive}}{\text{Longueur de la travée adjacente}}$$

b) Ponts en béton précontraint de portées moyennes ou de grandes portées

PONTS CONSTRUITS SUR CINTRE

TYPE D'OUVRAGE	GAMME DE PORTEE	ELANCEMENT		OBSERVATIONS	α optimal
		sur pile	à la clé		
Dalles nervurées de hauteur constante	25 à 30 m	1/30 1/20	Id. Id.	Nervures larges Nervures étroites	0.65 à 0.7
Dalles nervurées de hauteur variable	30 à 45 m	1/24 1/18	1/42 1/35	Nervures larges Nervures étroites	0.65 à 0.7
Caissons	45 à 60-70 m 60 à 100-120 m	1/22 1/16 à 1/18	Id. 1/30 à 1/40	Hauteur constante Hauteur variable	0.65 à 0.8 0.65 à 0.8
Cintres autolanceurs	30 à 60 m	1/18 1/17	Id. Id.	Caisson Nervures	0.65 à 0.8

Cas particulier des ouvrages ferroviaires

La conception des ouvrages ferroviaires doit satisfaire à certaines exigences :

- caractère particulier des sollicitations des ponts-rails : fréquences des circulations, répétitivité de l'application des charges, sécurité et confort du voyageur. Dans le cas de L.N. conditions particulières d'exploitation des lignes,

- possibilités réduites d'intervention des équipes d'entretien et de surveillance ou réparation.

Ces critères, auxquels la SNCF attache une grande importance, sont essentiellement les suivants :

- fiabilité, non seulement des structures définitives, mais également des procédés de construction :

    - des procédés de construction : l'inadaptation ou la défaillance des matériels spéciaux ou des ouvrages provisoires pouvant évidemment se traduire par un affaiblissement des qualités des structures définitives.

    - Des structures définitives : toute réparation à effectuer inopinément pouvant affecter profondément la régularité des circulations.

- Durabilité, qualité traditionnelle des ouvrages ferroviaires qui doivent avoir une longue durée de vie et ne pas exiger de réparations importantes susceptibles d'avoir des conséquences gênantes pour la circulation des trains ;

- Facilité des opérations d'inspection périodique et d'auscultation, du fait des possibilités réduites d'intervention en-dehors de courtes périodes de nuit ;

- Facilité des opérations de réparation et de maintenance, qu'il est souhaitable de pouvoir effectuer avec maintien de la circulation ferroviaires, ou pendant des interceptions de durée limitée ;

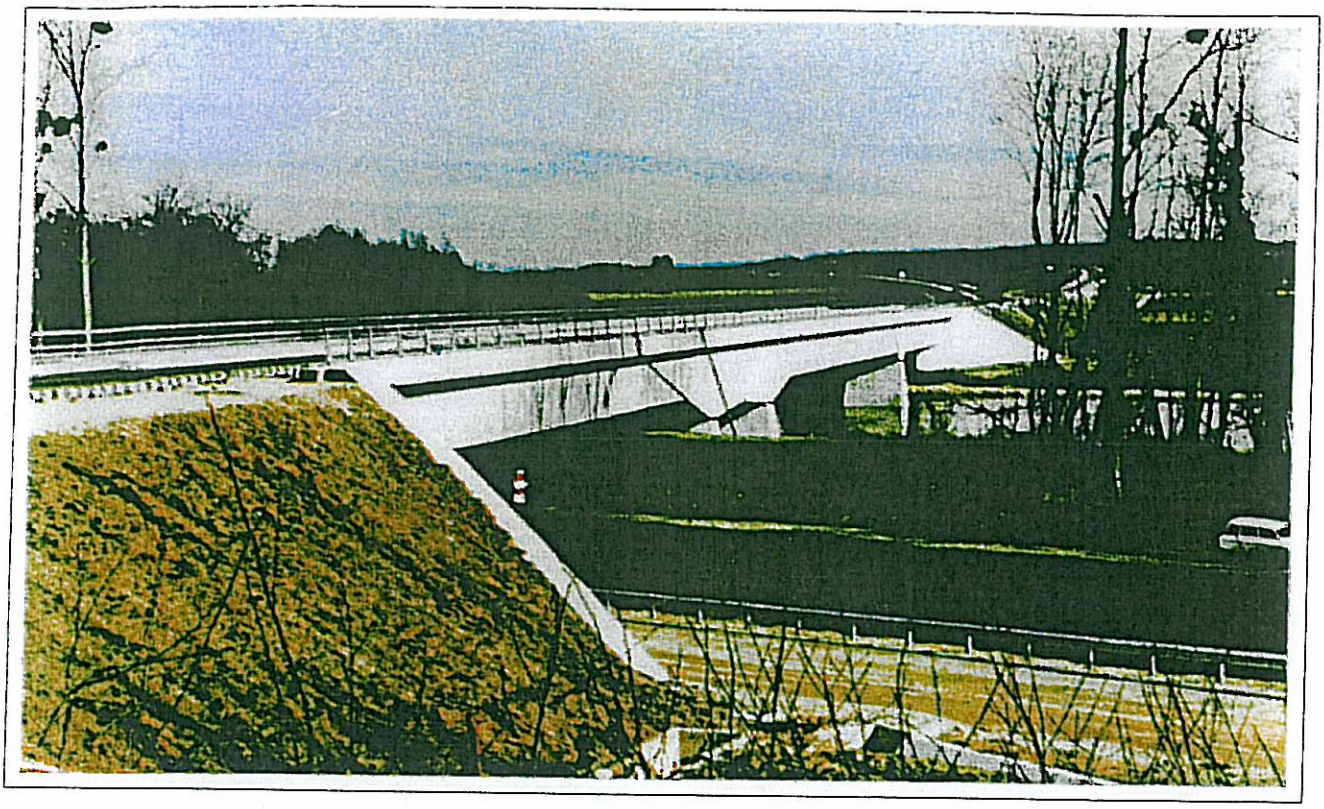
- Recherche des moindres coûts de construction et d'entretien.

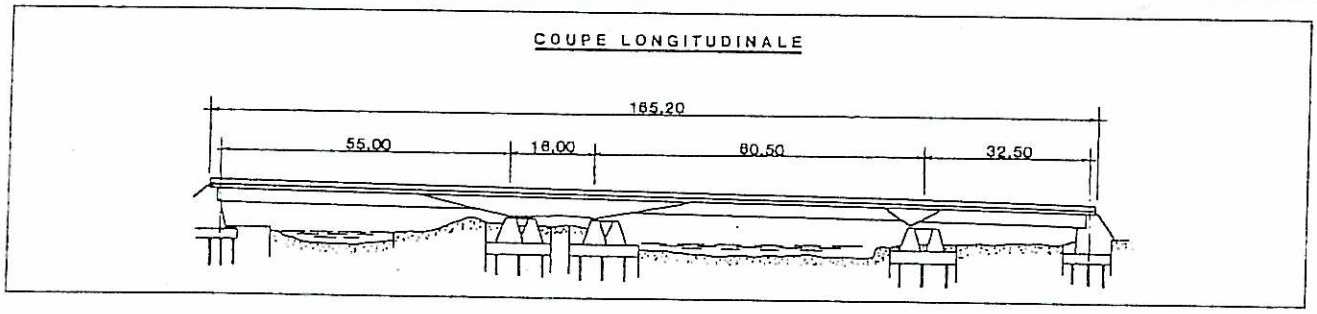
L'expérience acquise par la SNCF, suite à la construction de cinq lignes TGV (Paris Sud – Est, Atlantique, Nord, Méditerranée Est), ainsi que celle de près de trente années d'exploitation du TGV Sud – Est a permis de limiter les types d'ouvrages courants et de constituer un catalogue permettant de résoudre la majorité des cas de franchissement par des solutions simples et répétitives.

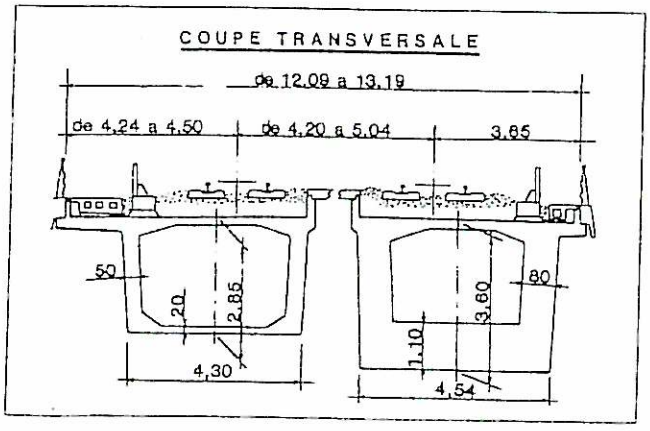
10

GROVE

PONT SUR L'ARMANÇON ET LE CANAL DE BOURGOGNE
BRIDGE OVER ARMANÇON RIVER AND BOURGOGNE CANAL







CARACTÉRISTIQUES DE L'OUVRAGE

Longueur: 165 m.
Portées: 55 m, 16 m, 60,50 m, 32,50 m.
Largeur du tablier: tablier voie 1: 6,58 m, tablier voie 2: 5,88 m.
Hauteur du caisson: 2,85 m en travée courante et sur appuis extrêmes, 4,10 m au droit des piles P2 et P3, 3,60 m au droit de la pile P4.

MAIN FEATURES

Length: 165 m.
Spans: 55 m, 16 m, 60.50 m, 32.50 m.
Deck width: deck lane 1: 6.58 m, deck lane 2: 5.88 m.
Box-girder depth: 2.85 m typical span and on abutments, 4.10 m on piers P2 and P3, 3.60 m on pier P4.

RÉALISATION

Maître d'Ouvrage: SNCF, Direction des lignes nouvelles.
Maître d'Œuvre: SNCF, Groupe d'études et travaux.
Etablissement du projet de base: SNCF, Département des Ouvrages d'Art.
Etablissement du projet d'exécution: Spie Batignolles.
Entreprise: CITRA-France.
Assistance Technique du Maître d'Œuvre: SNCF, Département des Ouvrages d'Art.
Architecte: Mr J. Doulcier.

REALIZATION

Owner: SNCF, Direction des lignes nouvelles.
Consultant and works controller: SNCF, Groupe d'études et travaux.
Basic design: SNCF, Département des Ouvrages d'Art.
Design project: Spie Batignolles.
Contractor: CITRA-France.
Client technical assistance: SNCF, Département des Ouvrages d'Art.
Architect: Mr J. Doulcier.

QUANTITÉS MISES EN OEUVRE

Surface du tablier: 2 056 m^2.
Béton du tablier: 2 250 m^3.
Aciers passifs du tablier: 214 tonnes.
Précontrainte: 110 tonnes.

QUANTITIES

Deck area: 2 056 m^2.
Deck concrete: 2 250 m^3.
Reinforcement: 214 t.
Prestressing steel: 110 t.

3. ETAIEMENTS ET CINTRES - DEFINITIONS

Le terme de "ponts construits sur cintre" est employé de façon très générale et parfois un peu impropre. On devrait -et surtout dans un exposé concernant les méthodes de construction- distinguer les cintres et les étaiements.

Dans les deux cas, il s'agit d'ensembles qui permettent de supporter les charges dues au poids propre de la structure, avant qu'elle n'ait acquis la résistance suffisante pour les supporter elle-même.

Mais un étaiement est constitué de pièces élémentaires qui reportent directement les charges, point par point jusqu'au sol, alors qu'un cintre est lui-même une structure porteuse, formant un tout, et qui peut reporter les charges, soit au sol, soit sur des structures préexistantes.

Le manque de résistance de la structure pendant la construction provient de deux causes principales :

- la structure est incomplète
- les matériaux constitutifs de la structure n'ont pas atteint la résistance suffisante.

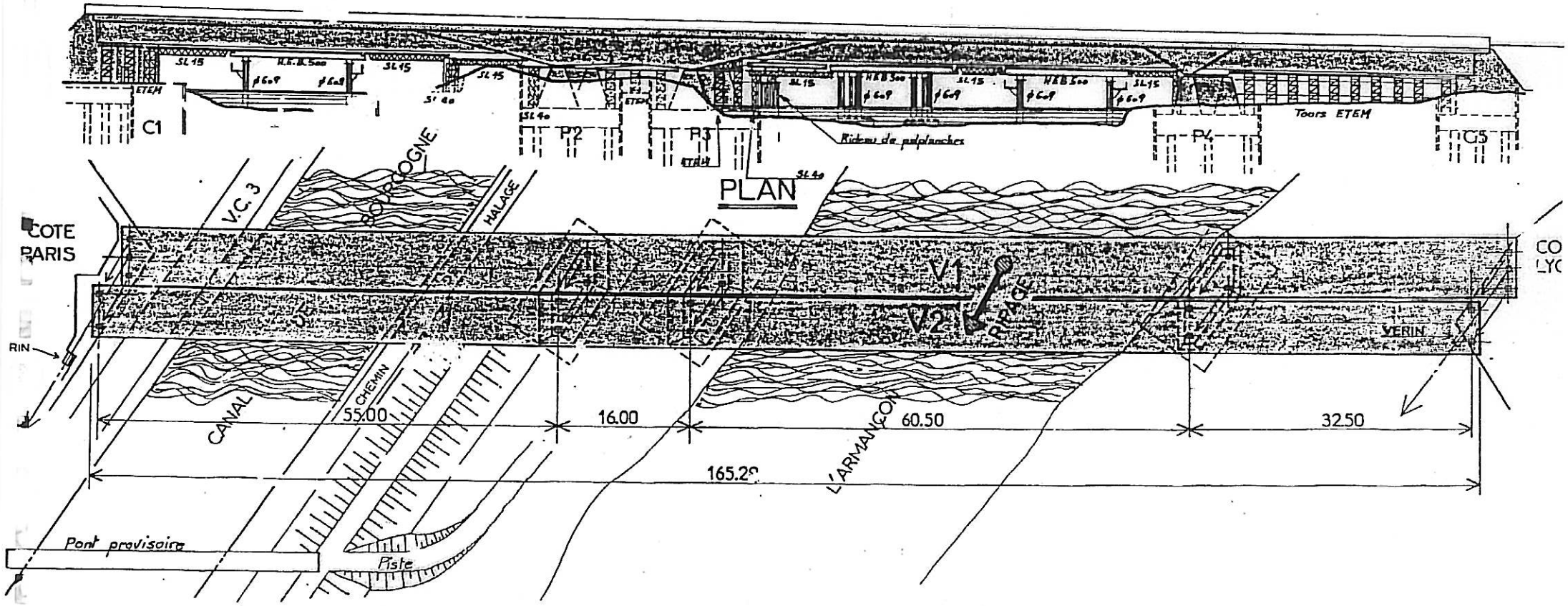
L'exposé sera limité à la construction des ouvrages en béton, mais nous retiendrons qu'il y a beaucoup d'autres domaines d'emploi des cintres, par exemple :

- la construction des ponts en maçonnerie
- la construction de certains ponts mixtes pour lesquels les poutres en acier sont posées sur étais avant bétonnage de la dalle, afin que l'acier seul n'ait pas à reprendre la totalité du poids du béton frais.

Pour le béton, il y a deux familles de constructions, celles qui sont coulées en place, pour lesquelles le cintre ou l'étaiement auront à porter le béton frais, non résistant ainsi que les coffrages et celles qui sont constituées d'éléments préfabriqués, pour lesquelles le cintre ou l'étaiement n'aura que la première de ses fonctions : porter une structure incomplète (par exemple non précontrainte), mais pas les coffrages.

Il importe cependant de distinguer les ouvrages coulés en une seule fois sur étaiement ou cintre général, les ouvrages construits par morceaux mais décintrés en une seule phase et enfin les ouvrages construits et décintrés par phases successives. Les deux premières catégories font appel à des étaiements ou cintres fixes. La troisième catégorie nécessite le déplacement de l'étaiement ou du cintre, par démontage et remontage ou par des méthodes plus élaborées.

ECHAFAUDAGE ET CINTRE



4. GENERALITES RELATIVES AUX MODES DE CONSTRUCTION DES TABLIERS SUR ECHAFAUDAGE AU SOL OU SUR CINTRE

4.1. Echafaudages

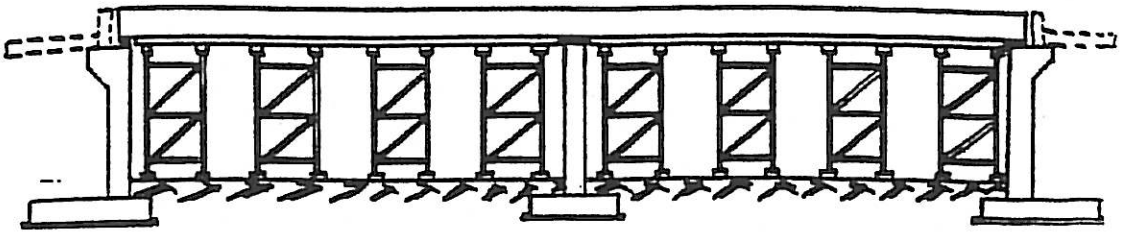
Dans le cas d'une construction sur échafaudage, les descentes de charges provenant des poids propres des coffrages et aussi des charges d'exploitation supportées (poids du ferraillage et du béton frais, poids des matériels et des intervenants en cours de bétonnage, ...) sont directement transmises au sol au moyen de tours d'étaiement.

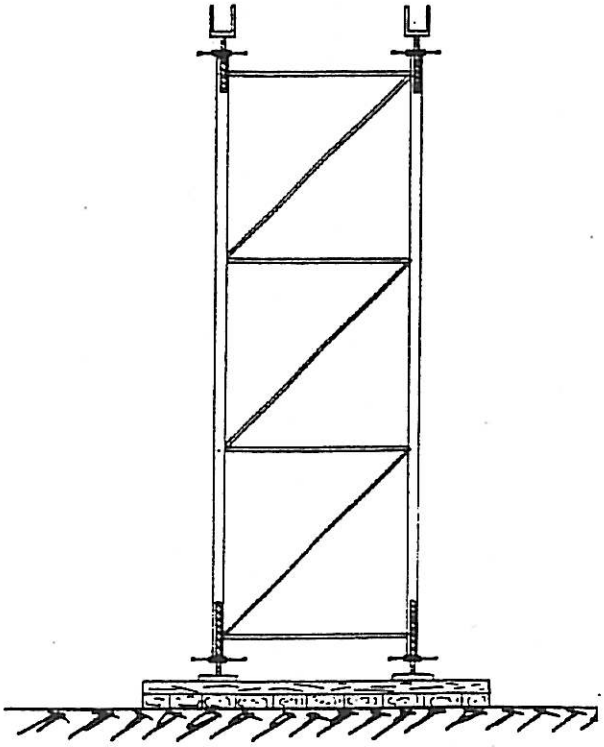
Les tours sont couramment constituées par des systèmes métalliques, réticulés, assemblés sur le chantier et comprenant des pieds (4 pieds en général) et des éléments de contreventement. Certains fabriquants proposent des modèles de tours auxquels on peut adjoindre des pieds supplémentaires en fonction des descentes de charges à supporter.

En partant du sol vers le tablier on distingue :

- Le sol, support de l'étaiement et les dispositions de répartition des charges concentrées transmises par les pieds des tours.

- Les pieds des tours. Chaque pied est équipé d'une embase qui assure une première répartition des charges. La tour doit comporter un système permettant un décoffrage facile et rapide. A cet effet, chaque embase est en général munie d'un système vis/écrou sur lequel repose le pied.





- Les tours. Le flambement des pieds est empêché par les montants et les diagonales. La stabilité externe (déversement, ...) doit être assurée par un contreventement général qui relie les tours entre elles.
  Les pieds sont équipés à leur extrémité supérieure par des fourches permettant leur réglage fin en altitude (au moyen d'une liaison par filetage) et le maintien des dispositifs de têtes de tours.

- Eventuellement des dispositifs de transfert de charges coiffant les tours. Ils assurent la répartition des charges à parts égales entre les différents pieds si cette répartition ne peut pas être obtenue directement par la conception du platelage du coffrage.

4.2 Cintres

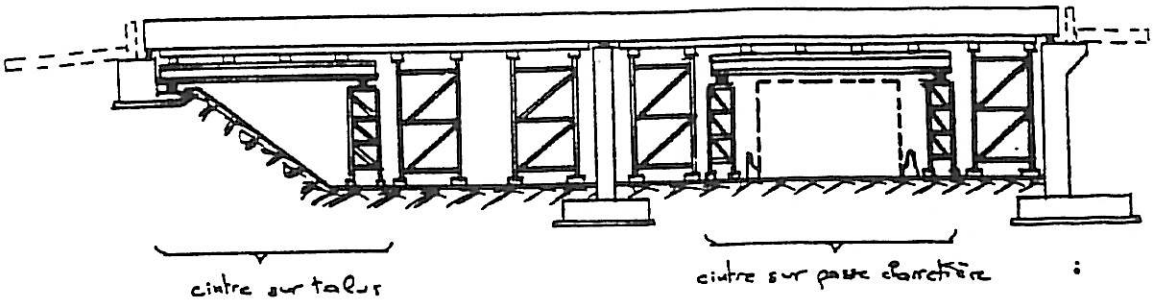
Dans certains cas la surface au sol située à l'aplomb du tablier n'est pas disponible. C'est notamment le cas :

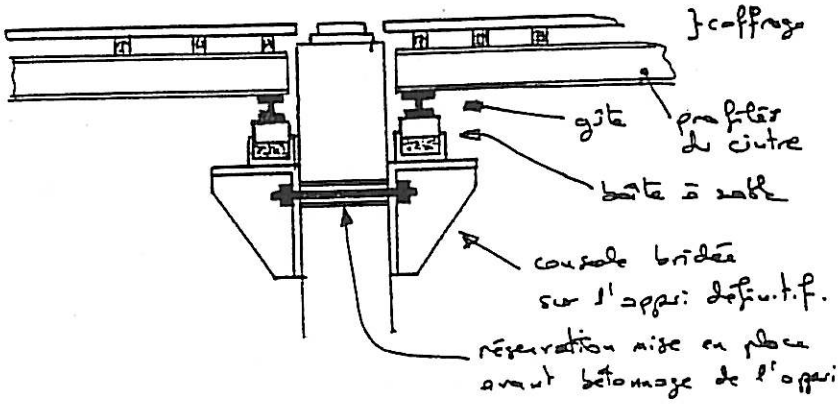
- lorsqu'il est nécessaire de réaliser une passe charretière,
- quand il s'agit de coffrer un tronçon de tablier situé au dessus d'un terrain taluté,
- lorsque le sol support est localement non apte à supporter les charges des tours,
- .....

On réalise alors un « cintre » qui est un pont provisoire conçu pour supporter les charges appliquées lors de la réalisation du tablier définitif.
La structure porteuse des cintres est constituée par des profilés mis en place à l'aplomb du futur tablier. Pour des cintres de petites dimensions il s'agit souvent de profilés métalliques du commerce (HEB, ..).
Pour des cintres de plus grandes portées ce sont des poutrelles spécifiques, souvent en treillis, qui sont utilisées.

Les profilés du cintre reposent sur des poutrelles transversales, appelées « gîtes », elles mêmes posées :

- sur des palées d'étaiement.
- ou sur des appuis provisoires solidarisés aux appuis définitifs de l'ouvrage à réaliser (consoles métalliques, ...).


cintre sur talus
cintre sur passe charretière


coffrage
gîte
profilés du cintre
boîte à sable
console bridée sur l'appui définitif.
réservation mise en place avant bétonnage de l'appui

Les pièces à assembler doivent être orientées suivant le profil en long et le profil en travers du tablier à réaliser. Les poutrelles longitudinales ne sont ainsi en général pas coplanaires aux gîtes et des cales en forme de coin doivent être prévues au droit de chaque jonction.

Des dispositifs doivent être prévus à la conception du cintre pour permettre sa dénivellation sur une hauteur de quelques centimètres pour le décintrement du tablier.
Il peut s'agir :

- de pieds vissés en base des étais (système analogue à celui des tours),
- de vérins à vis mis en place entre les têtes d'étais et les gîtes,
- de boîtes à sables utilisés comme appuis des gîtes,

Un cintre est constitué à partir d'éléments empruntés pour la durée du chantier au stock de l'entreprise. Pour faciliter les opérations de montage et de démontage les assemblages des éléments les uns sur les autres doivent être les plus simples et les plus économiques possibles :

- on préfère autant que possible les liaisons par bridage aux liaisons par soudures.
- les raidisseurs devant être mis en place au droit des liaisons pour éviter les déformations des profilés sont constitués par des éléments de bois dur (faciles à enfoncer par force et à extraire) plutôt que par des plats soudés. Il en est de même des cales en forme de coin servant à rattraper les différences de coplanéité.
- les cintres sont en général constitués sous forme de structures isostatiques.

La géométrie des cintres doit tenir compte de la flèche qu'ils prennent au moment du bétonnage en plus des contreflèches nécessaires pour compenser la déformabilité du tablier à réaliser.
Des cintres trop souples peuvent provoquer des désordres dans le tablier au moment du décintrement et leur flèche doit respecter la condition suivante :

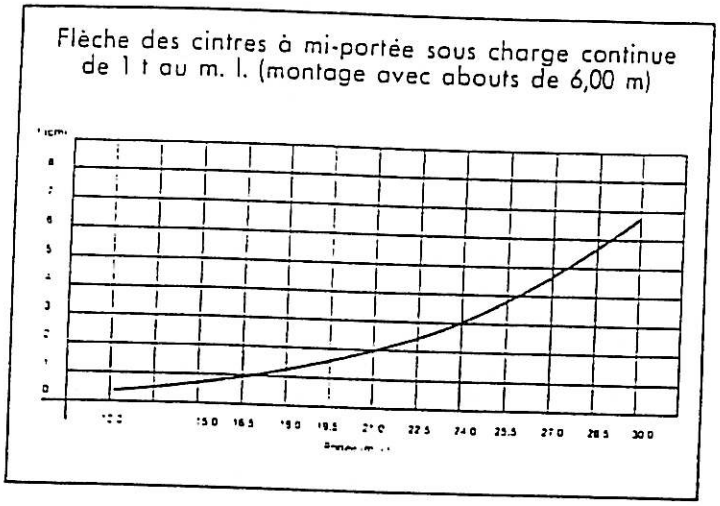
Flèche du cintre < max (L/200 ; 2cm) avec L = portée du cintre

Des problèmes ont en particulier été observés lorsque des cintres trop souples ont été utilisés pour la réalisation de tabliers précontraints.

Appelons : Fcintre la flèche prise par le cintre sous l'effet du poids propre du tablier
Ftablier la flèche prise par le tablier à la mise en tension des câbles de précontrainte

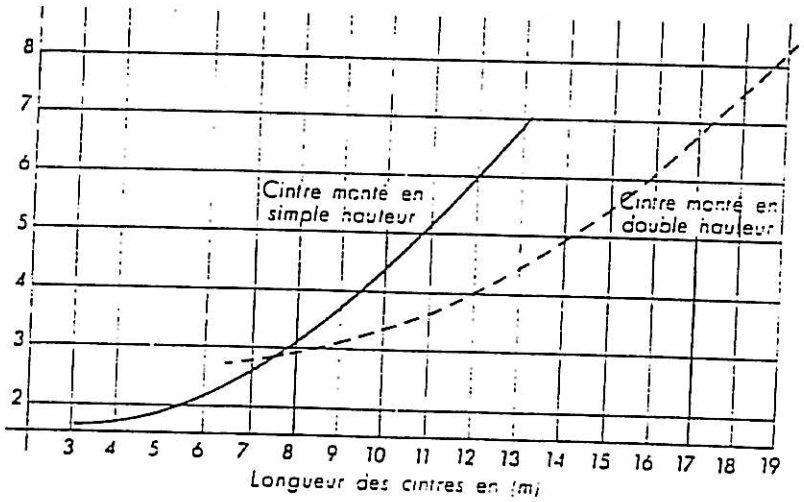
Si Fcintre > Ftablier , alors le cintre est encore partiellement en charge à la fin de la mise en précontrainte et la part de charge passant par le cintre n'est pas appliquée à la structure du tablier. Cet état peut provoquer une rupture par excès de précontrainte, s'il n'a pas été prévu dans les calculs.

Cintre H33 - Cintre SL 15



Abaque de contreflèche des cintres H33.

La contreflèche donnée aux cintres s'obtient en agissant sur les boulons longs de la membrure inférieure, les boulons courts de la membrure supérieure restant serrés.



Abaque de contreflèche des cintres SL 15.

La contreflèche donnée aux cintres s'obtient en agissant sur la longueur des différents tendeurs de la membrure inférieure.

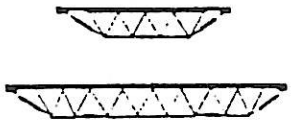
Les cintres doivent être en position de travail (Sur tréteaux par exemple).

Cintre SL 15

SL 15 Simple hauteur

M = 15 Tm

A = 12.5 T



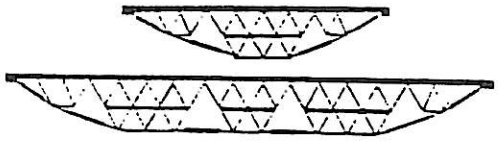
1. COMPOSITION ET CHARGE ADMISSIBLE PAR MÈTRE LINÉAIRE DES CINTRES SL 15 MONTÉS EN SIMPLE HAUTEUR

Portée en m.	Pièces d'about	Eléments intermédiaires					Tendeur	Broches		Poids	Charge admissible
		0.75	1.50	2.25	3.00	3.75	N° I	310	200	kg	en t/ml
3,13 - 3,90 m	2	—	—	—	—	—	1	1	2	208	6,67
3,88 - 4,65	2	1	—	—	—	—	2	2	4	248	5,57
4,63 - 5,40	2	—	1	—	—	—	2	2	4	268	4,35
5,38 - 6,15	2	—	—	1	—	—	2	2	4	289	3,33
6,13 - 6,90	2	—	—	—	1	—	2	2	4	313	2,64
6,88 - 7,65	2	—	—	—	—	1	2	2	4	333	2,14
7,63 - 8,40	2	—	—	2	—	—	3	3	6	371	1,77
8,38 - 9,15	2	—	—	1	1	—	3	3	6	395	1,48
9,13 - 9,90	2	—	—	—	2	—	3	3	6	419	1,27
9,88 - 10,65	2	—	—	—	1	1	3	3	6	439	1,1
10,63 - 11,40	2	—	—	—	—	2	3	3	6	459	0,95
11,38 - 12,15	2	—	—	1	2	—	4	4	8	501	0.835
12,13 - 12,90	2	—	—	—	3	—	4	4	8	525	0,74
12,88 - 13,65	2	—	—	—	2	1	4	4	8	545	0.66
13,63 - 14,40	2	—	—	—	1	2	4	4	8	565	0.59

SL 15 Double hauteur

M = 30 Tm

A = 12.5 T



1. COMPOSITION ET CHARGE ADMISSIBLE PAR MÈTRE LINÉAIRE DES CINTRES SL 15 MONTÉS EN DOUBLE HAUTEUR

Portée en m.	Pièces d'about	Eléments intermédiaires				Tendeur		Broches		Poids	Charge admissible
		1.50	2.25	3.00	3.75	ONEL	N° III	310	200	kg	en t/ml
5,38 - 6,15 m	2	1	1	—	—	2	—	4	2	350	4,17
6,13 - 6,90	2	—	1	1	—	2	—	4	2	395	3.70
6,88 - 7,65	2	—	—	1	1	2	—	4	2	439	3.34
7,63 - 8,40	2	2	2	—	—	2	1	7	4	489	3.05
8,38 - 9,15	2	1	2	1	—	2	1	7	4	534	2.78
9,13 - 9,90	2	—	2	2	—	2	1	7	4	579	2.57
9,88 - 10,65	2	—	1	2	1	2	1	7	4	623	2.2
10,63 - 11,40	2	—	—	2	2	2	1	7	4	668	1.9
11,38 - 12,15	2	1	3	2	—	2	2	10	6	718	1,67
12,13 - 12,90	2	—	3	3	—	2	2	10	6	763	1,48
12,88 - 13,65	2	—	2	3	1	2	2	10	6	808	1,32
13,63 - 14,40	2	—	1	3	2	2	2	10	6	852	1,18
14,38 - 15,15	2	—	—	3	3	2	2	10	6	896	1,07
15,13 - 15,90	2	—	4	4	—	2	3	13	8	947	0,965
15,88 - 16,65	2	—	3	4	1	2	3	13	8	992	0.88

Cintre H33

Cintre H 33 système de base avec pièces d'about de 6,00 m				
Portee m	Charge utile au m.l.	Moment flechissant t/m	Reaction d'appui t	Poids du cintre kg
12,0	5,55	100	33,3	1195
15,0	4,33	122	32,5	1320
16,5	3,73	127	30,8	1670
18,0	3,30	134	29,7	1820
19,5	2,96	141	28,9	2000
21,0	2,68	148	28,1	2150
22,5	2,42	153	27,2	2300
24,0	2,12	153	25,5	2450
25,5	1,87	152	23,9	2630
27,0	1,67	152	22,6	2780
28,5	1,50	152	21,4	2930
30,0	1,36	153	20,4	3080
avec pièces d'about de 4,50 m				
9,0	12,07	122	54,3	1112
12,0	8,35	150	50,1	1440
13,5	6,80	155	45,9	1590
15,0	5,45	153	40,9	1740
16,5	4,46	152	36,8	1915
18,0	3,76	153	33,9	2070
19,5	3,21	153	31,3	2220

Le cintre H33 offre de multiples possibilités d'emploi. Les membrures supérieures et inférieures présentent des résistances à la compression et la traction identiques ; les liaisons entre les membrures permettent la transmission des efforts de compression et de traction ainsi que des efforts tranchants. Ainsi, les cintres H33 peuvent être utilisés en poutres sur appuis simples, en poutres continues, en encorbellement...

Moment résistant : 153 T/m
Réaction d'appui admissible : 33 T avec pièce d'about de 6,00 m;
55 T avec pièce d'about de 4,50 m

Effort tranchant admissible : 22 T sur éléments courants;
33 T sur élément 1,70 m;
33 T sur pièce d'about de 6,00 m sur une longueur de 3,00 m depuis l'appui et 22 T ensuite;
55 T sur la totalité de la pièce d'about de 4,50 m.

Le montant de 0,30 m permet de créer un appui du cintre sous la membrure inférieure.

4.3 Sécurité

Malgré les dispositions rustiques adoptées notamment pour les assemblages, les étaiements et les cintres doivent être stables pour éviter tout risque au moment du bétonnage.
Un intervenant désigné par l'entreprise appelé COP (Chargé des Ouvrages Provisoires) réceptionne le cintre ou l'étaiement avant le bétonnage du tablier et fait rectifier les dispositions qui lui semblent risquées (ajout d'un complément de contreventement, ...).

Les préoccupations liées à la sécurité doivent concerner :

- a) les phases de montage des échafaudages et des cintres
- b) les phases de bétonnage
- c) les phases de dépose des échafaudages et des cintres

Les phases c) posent en général des problèmes beaucoup plus délicats à résoudre que les phases a) et b) du fait de la présence du tablier qui empêche, à ce stade d'avancement du chantier, un accès direct par les moyens de manutention.

4.4 Phasage de réalisation du tablier

Les déformations du cintre se font progressivement en fonction de l'avancement des opérations de bétonnage.
Il convient d'établir le phasage du bétonnage de façon à bétonner les zones proches des milieux des cintres avant celles situées au droit des appuis pour éviter de solliciter le béton jeune et peu résistant sous l'effet des déformations du cintre.

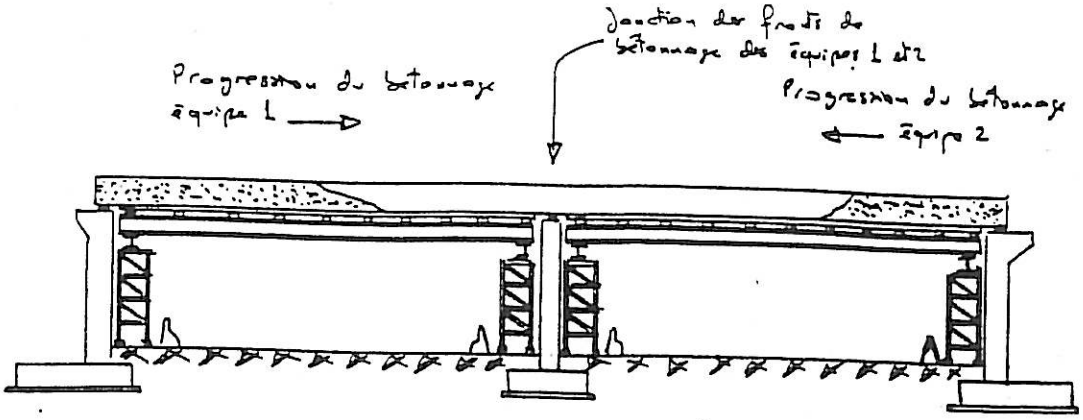
Le tablier est souvent construit par phases successives, pour les raisons suivantes :

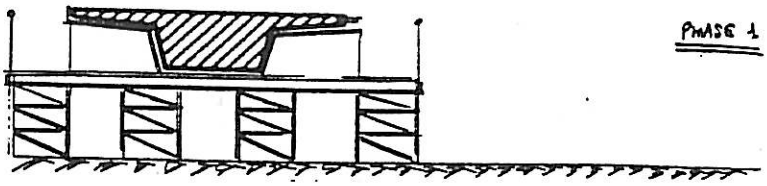
- la durée d'un bétonnage doit de préférence être inférieure à une dizaine d'heures pour ne pas multiplier les équipes. Ceci limite le volume à bétonner,
- le phasage de la construction permet un meilleur réemploi des coffrages et des échafaudages.

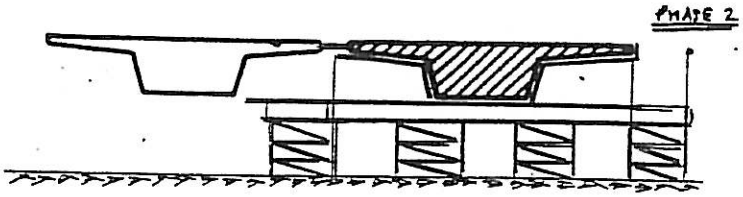
Si l'ouvrage est large, mais de longueur modeste, on peut le construire par *phases transversales* successives

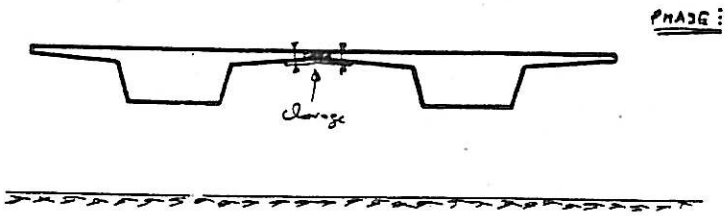
Mais, plus généralement, l'ouvrage est construit à pleine section par *phases longitudinales*. La méthode la plus fréquente est la construction travée par travée, à l'avancement.

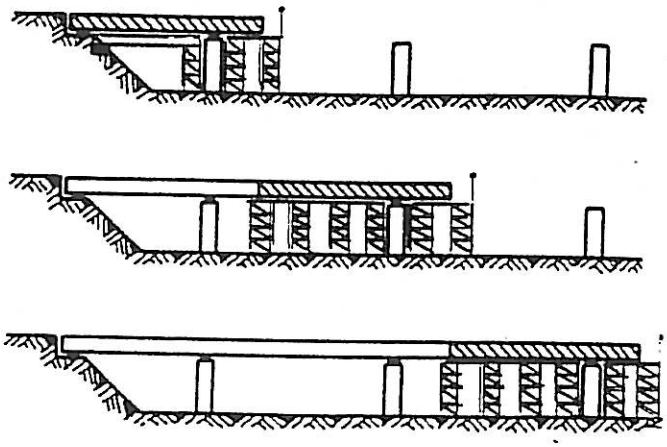
Le découpage des phases est toujours conçu de manière à obtenir une distribution des efforts de flexion dans le tablier, voisine de celle d'une construction sur cintre général. Ceci conduit à placer les *reprises de bétonnage* au voisinage des *points de moment nul* de la structure.


Jonction des fronts de bétonnage des équipes 1 et 2
Progression du bétonnage équipe 1
Progression du bétonnage équipe 2


PHASE 1


PHASE 2


PHASE 3
clavage



4.5 Autres modes de construction des tabliers

La construction sur cintre ou sur échafaudage devient toutefois difficile et coûteuse (utilisation d'échafaudages de grande hauteur ou de cintre en rivière de grande portée) quand le tablier franchit une vallée profonde ou une rivière.

D'autres modes de construction sont alors plus adaptés :

- on peut envisager l'utilisation d'un cintre, non plus appuyé au sol, mais appuyé en tête des appuis définitifs.
  Cette méthode de construction sera traitée au chapitre « Ponts construits sur cintres autolanceurs »

- on peut éviter l'emploi d'un échafaudage en constituant la structure du tablier de voussoirs, coulés sur place ou préfabriqués, et mis en place à partir des appuis.
  Cette méthode de construction sera traitée au chapitre « Ponts construits par encorbellements de voussoirs »

- on peut aussi éviter la construction d'un échafaudage en réalisant la structure porteuse du tablier en dehors de la zone difficilement accessible. Le tablier peut être :

  - constitué par des poutres préfabriquées en dehors de l'emprise du tablier et mise en place par lançage. Cette méthode de construction sera traitée au chapitre « Ponts à poutres préfabriquées »

  - construit à l'arrière des culées et mis en place par poussage. Cette méthode de construction sera traitée au chapitre « Ponts poussés »

  - construit parallèlement à l'axe de la brèche posant problème et mis en place à son emplacement définitif par rotation autour de ses appuis

- une autre possibilité consiste à construire certaines structures par parties à l'aplomb des appuis et de les mettre à leur emplacement définitif par basculement autour d'un axe horizontal. Ce mode de construction a en particulier été utilisé pour la réalisation d'arcs.

5. METHODE DE CALCUL : PRINCIPE DE CABLAGE

Les méthodes exposées ci-dessous sont tirées des travaux de Jacques Fauchart, publiés dans les Annales des Ponts de chaussées (2ème trimestre 1978) et Annales ITBTP – TMC 182.

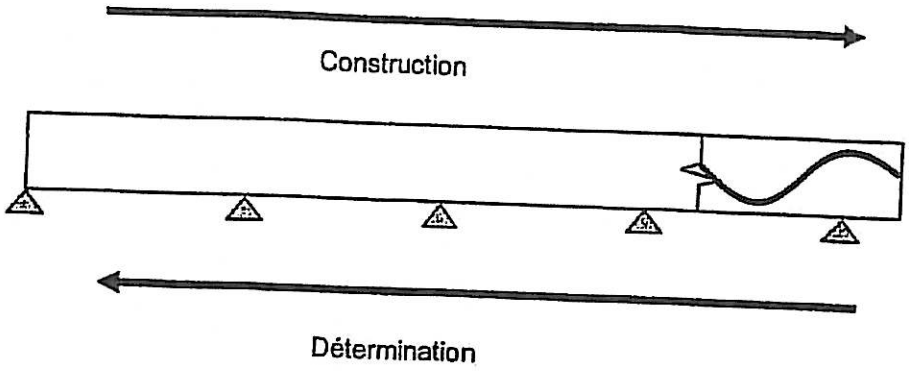
5.1 Principes :

La poutre connaît au cours de sa construction plusieurs schémas statiques :

La précontrainte appliquée dans une travée j au cours de sa mise en œuvre a des effets sur les travées 1 à j-1.

Pour déterminer la précontrainte appliquée dans les travées précédant la travée j (travées 1 à j-1) il faut donc tenir compte des effets des câbles mis en tension lors de la mise en œuvre de la travée j et des travées qui suivent : j à n-1, n.

La détermination du câblage est donc effectuée dans l'ordre inverse de celui de la construction, c'est-à-dire en partant de sa dernière phase d'exécution. Cela permet de prendre en compte dans les sollicitations de chaque tronçon les effets hyperstatiques de la précontrainte appliquée aux tronçons construits ultérieurement, mais connus, puisque calculés dans une étape précédente.



5.2 Rappels sur le calcul des poutres continues

Equation des trois moments :

$$b_i M_{i-1} + (c_i + a_{i+1}) M_i + b_{i+1} M_{i+1} = \omega'_{i+1} - \omega''_i \quad (1)$$

Foyers de droite et foyers de gauche

Foyers de gauche :

$$\varphi_{i+1} = \frac{b_{i+1}}{c_i + a_{i+1} - b_i \varphi_i} \quad (2)$$

$$\varphi_{i+1} = -\frac{M_i}{M_{i+1}} \quad (3)$$

Foyers de droite :

$$\varphi'_i = \frac{b_i}{c_i + a_{i+1} - b_{i+1} \varphi'_{i+1}} \quad (4)$$

$$\varphi'_i = -\frac{M_i}{M_{i-1}} \quad (5)$$

A partir de l'équation des trois moments appliquée sur les appuis i-1 et i, et des définitions des foyers de droite et de gauche, on détermine les expressions des moments sur appuis à partir des rotations de la travée rendue isostatique.

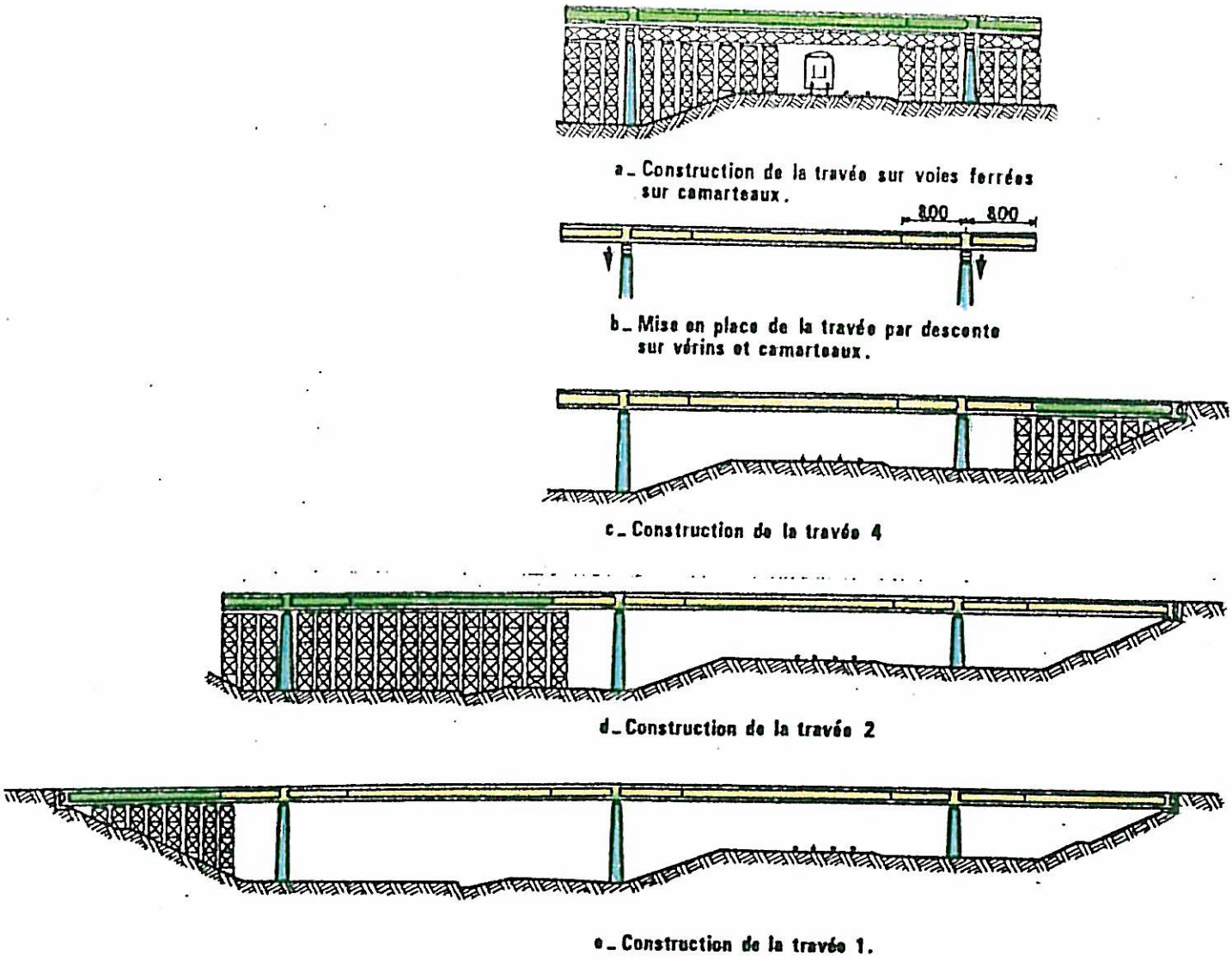
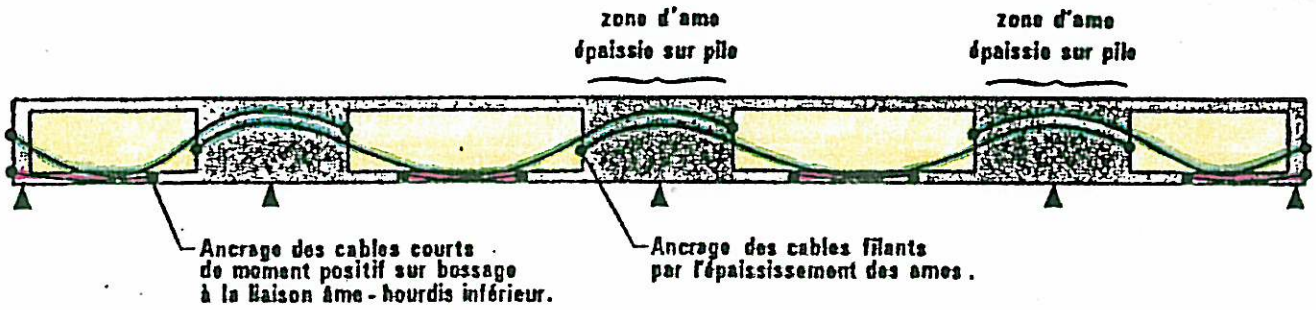
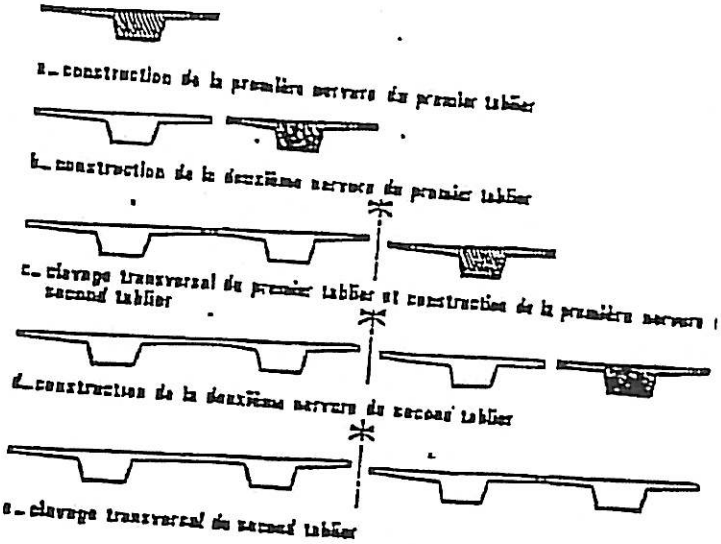


Figure ... : Phases de construction envisagées pour le viaduc d'Avignon sur les voies Paris-Marseille.

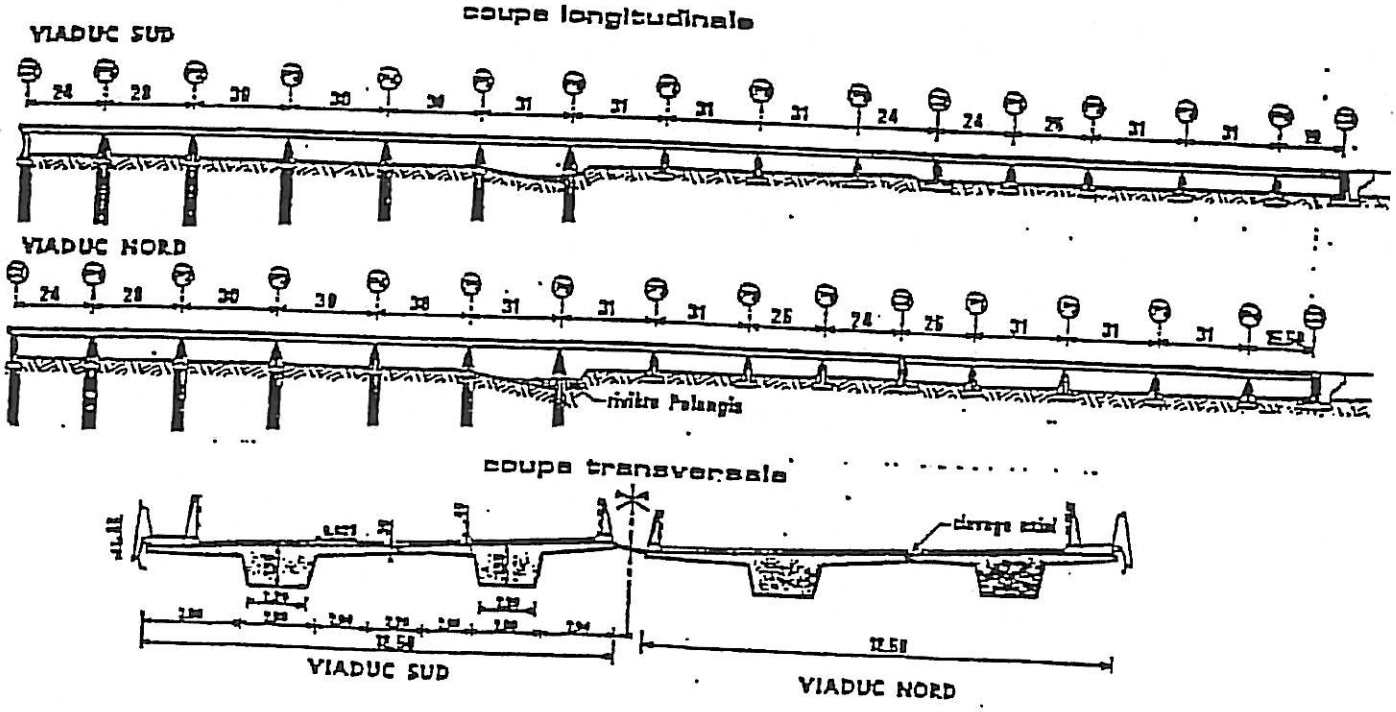


Principe de câblage envisagé pour le viaduc d'Avignon.

6. EXEMPLES DE CONSTRUCTION DE PONTS REALISES SUR CINTRE PAR PHASES SUCCESSIVES



Phasage transversal de la construction, nervure par nervure, des viaducs de Joinville, portant l'autoroute A.4.



Coupes longitudinales et coupes transversales des viaducs de Joinville, portant l'autoroute A.4.

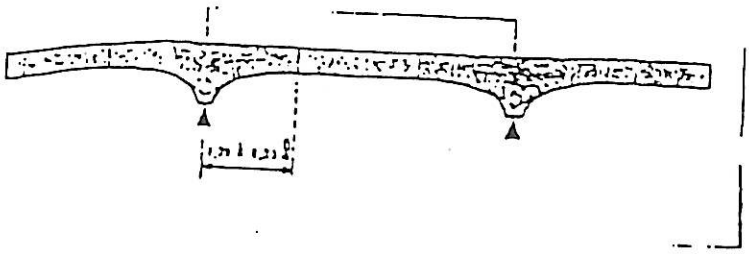
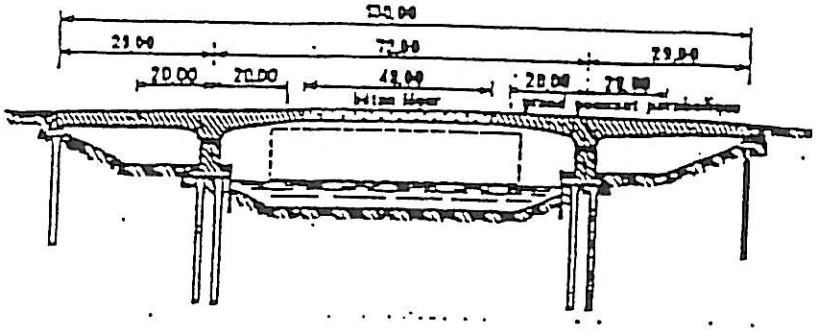
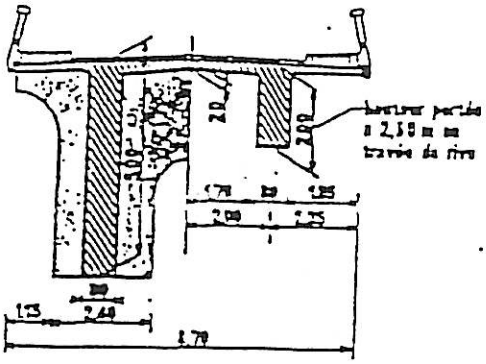


Schéma de principe des grands goussets paraboliques.

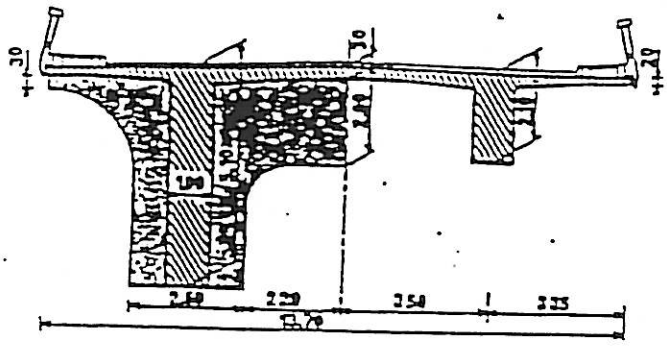
COUPE LONGITUDINALE



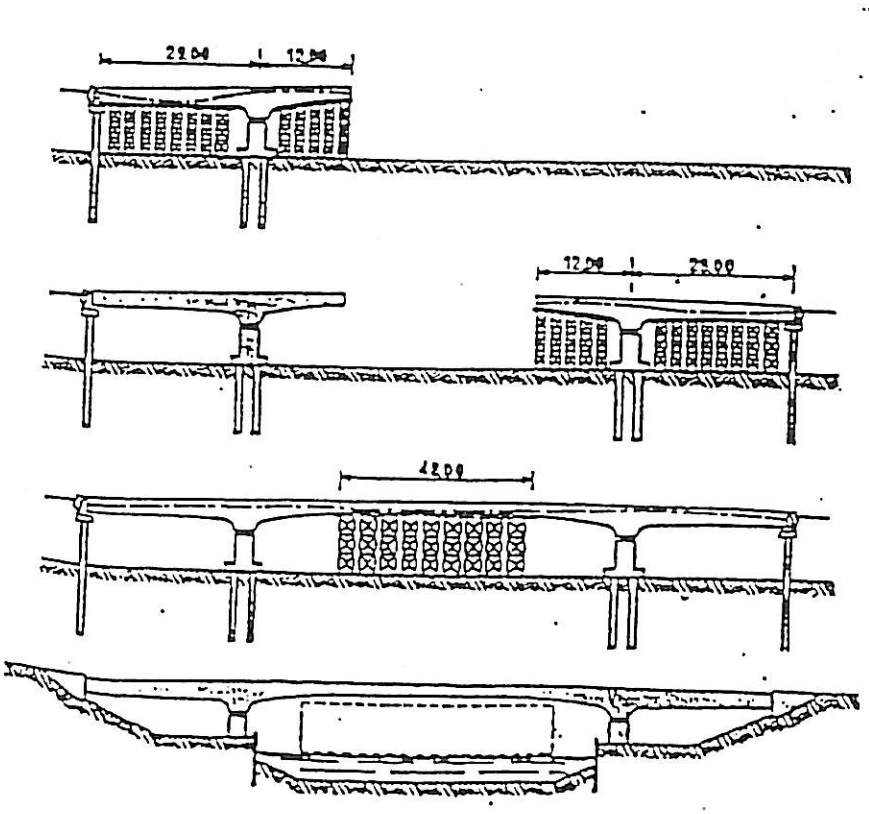
Ponts des CD 51 et CD 53 A



Pont de la RN 79



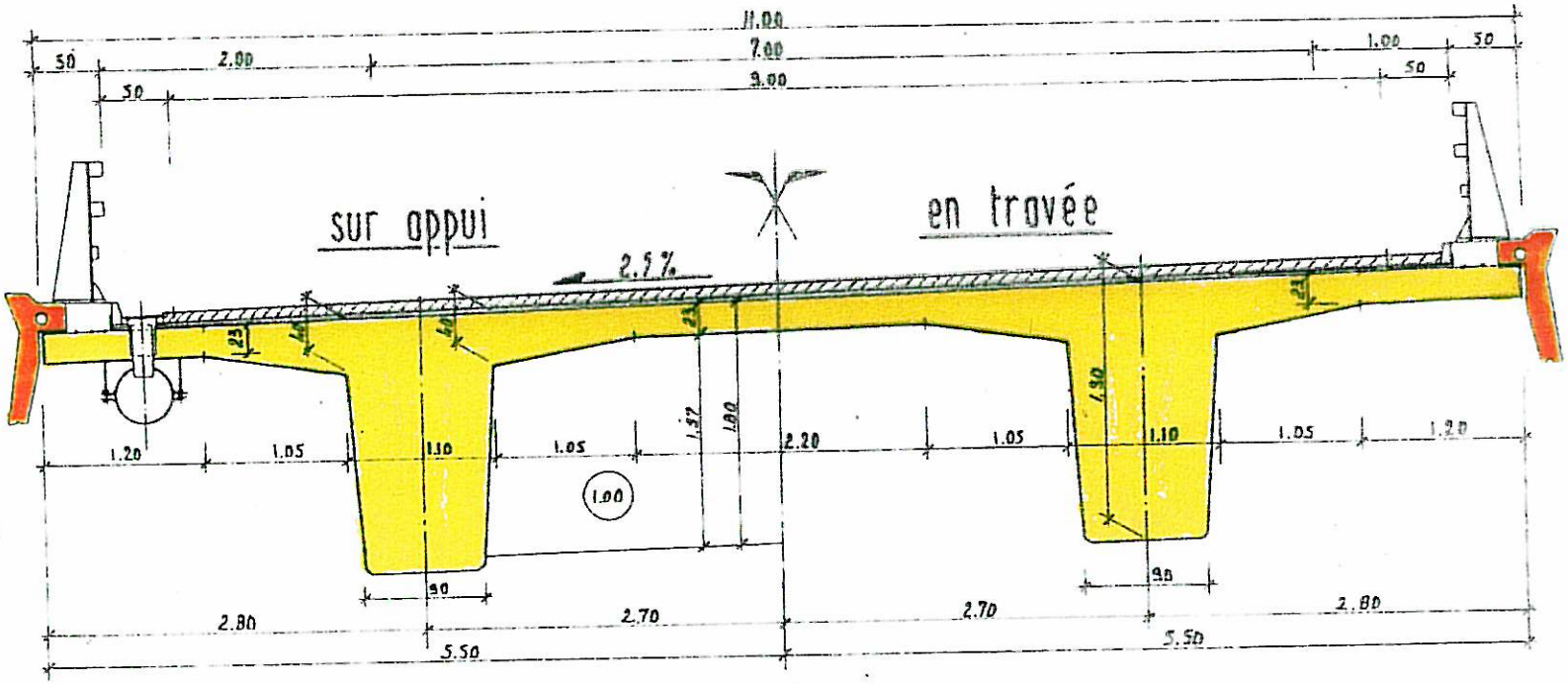
NOTA – la hauteur efficace sur pile est de 4,00 m pour les ponts des CD 51 et 53 A, et de 4,10 m sur le pont de la RN 79.
– l'augmentation de la hauteur de 1,00 m est un simple apport architectural limité à la zone de pile.



Coupe longitudinale et coupes transversales des trois projets d'ouvrages de la dérivation de la Saône à Mâcon.

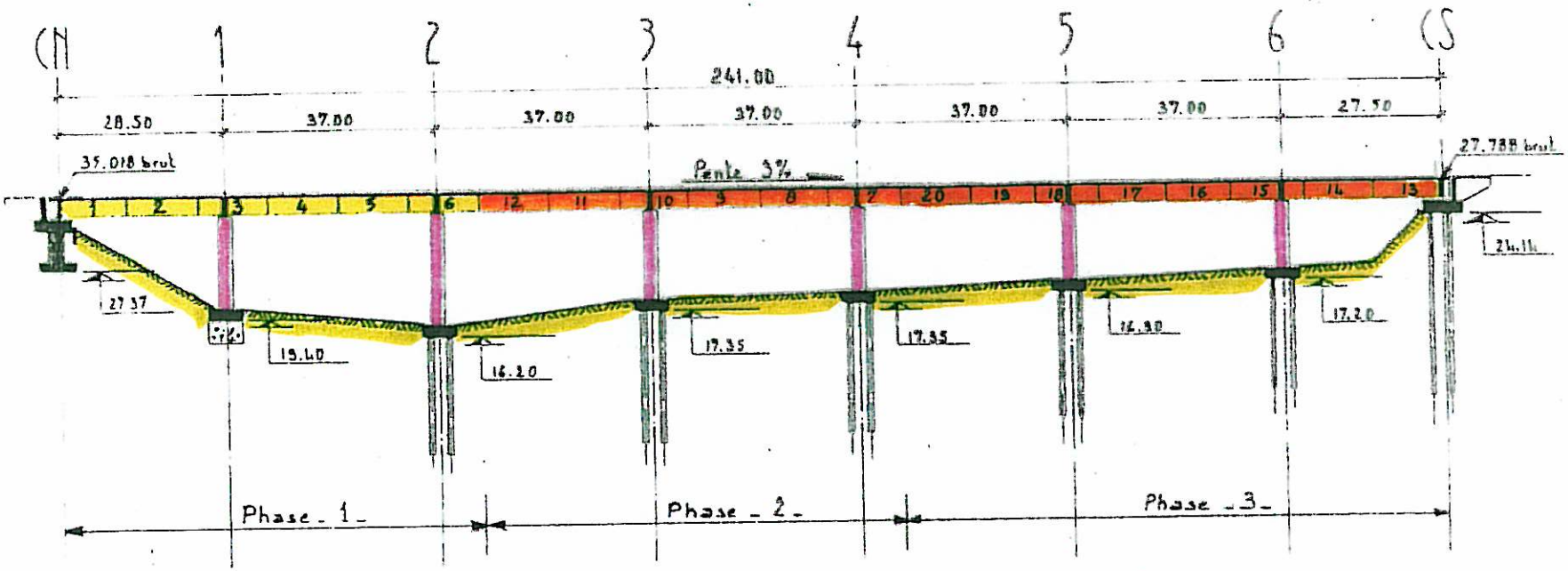
• Phases de construction envisagées pour les ponts de la dérivation de la Saône à Mâcon.

COUPE TRANSVERSALE



VIADUC D'ACQUIGNY

COUPE LONGITUDINALE

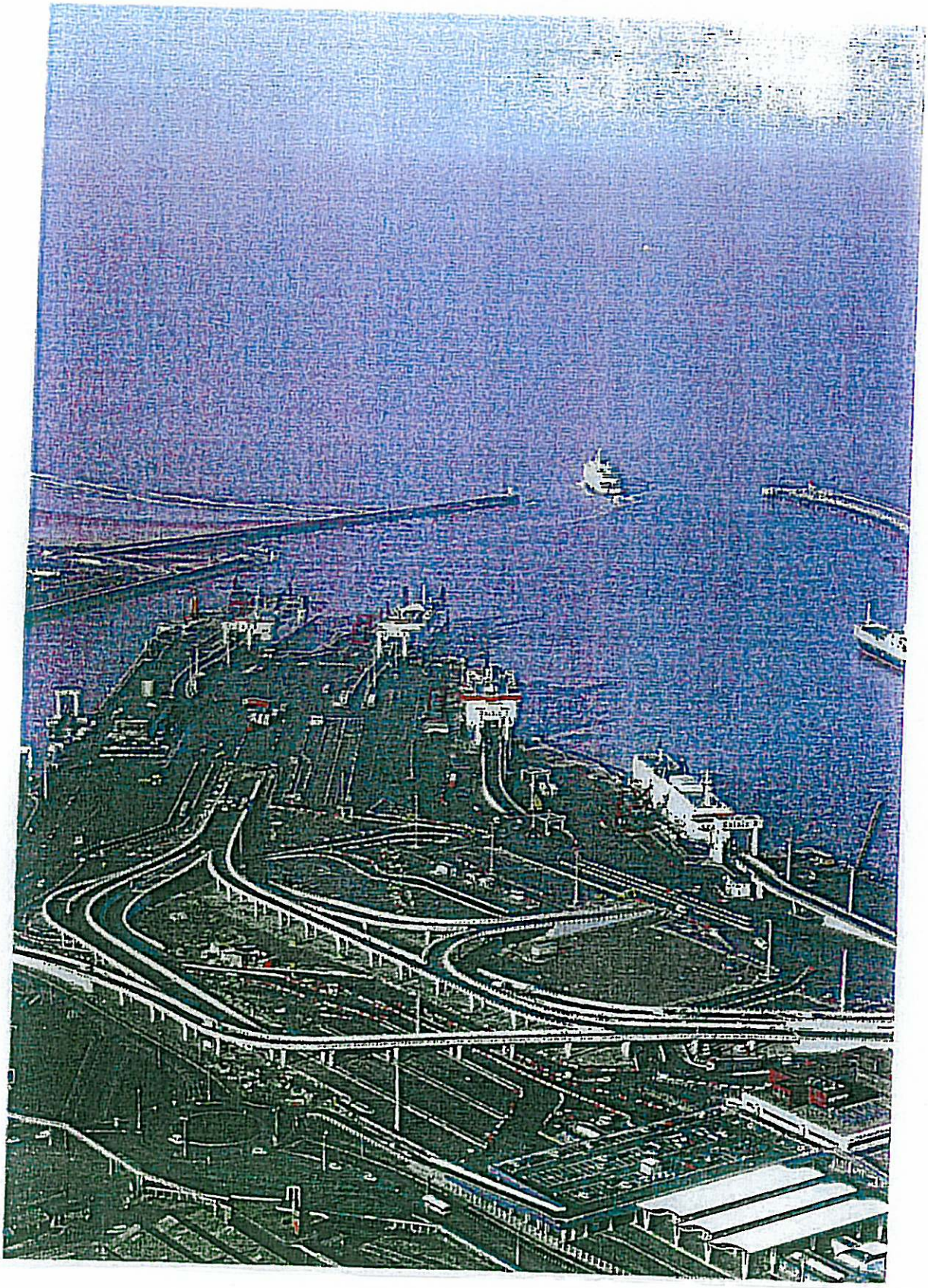


VIADUC D'ACQUIGNY

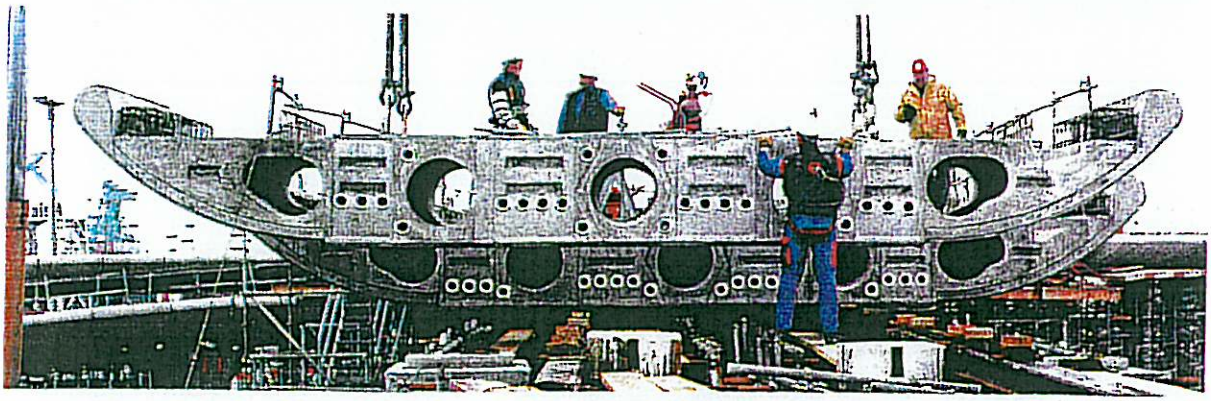
TERMINAL DE COQUELLES

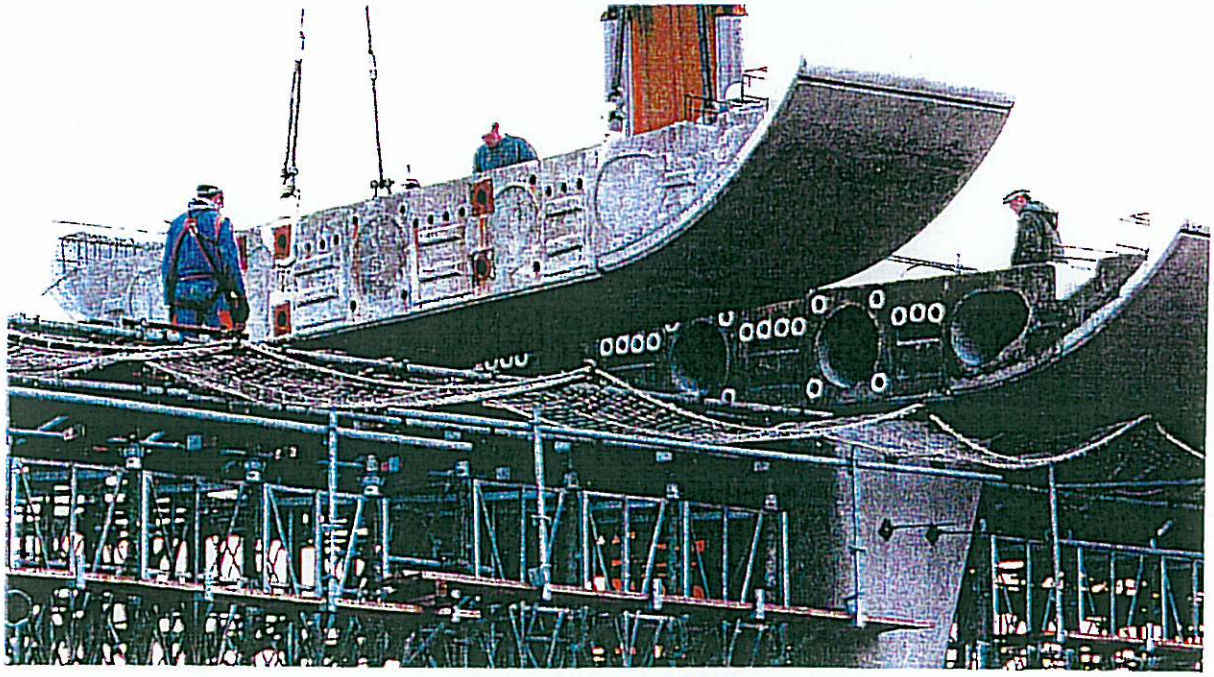
ECHANGEUR DE FORT-NIAULEY

ECHANGEUR DE FORT-NIAULEY



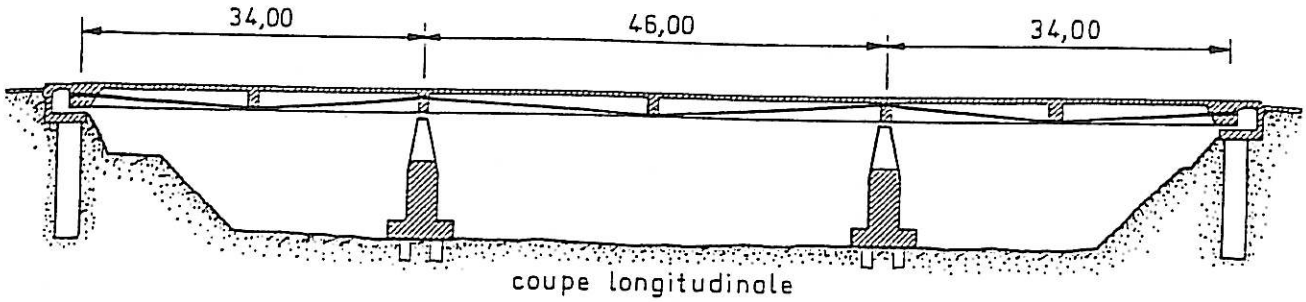
TERMINAL DE CALAIS



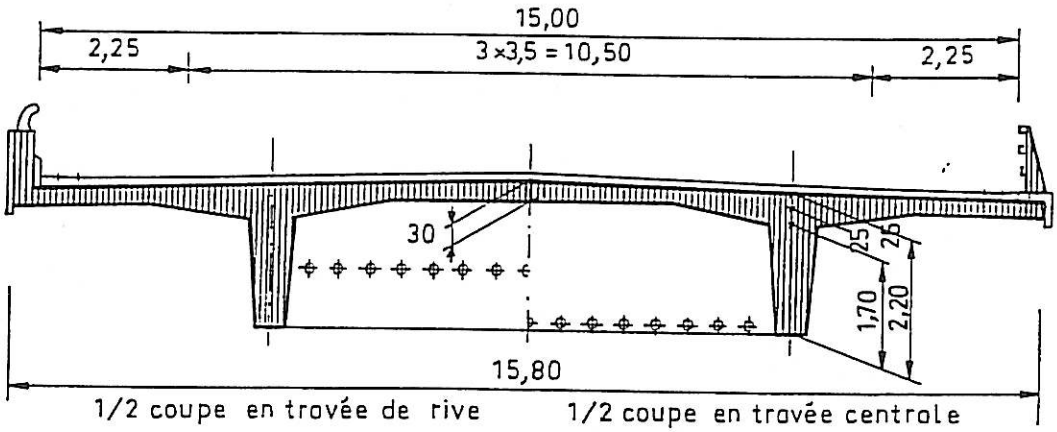


POSE DES VOUSSOIRS

Le PONT de JOIGNY

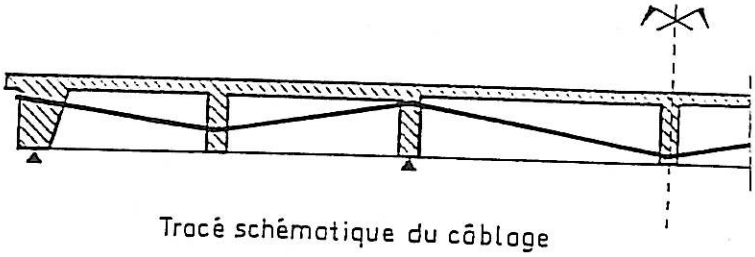


coupe longitudinale

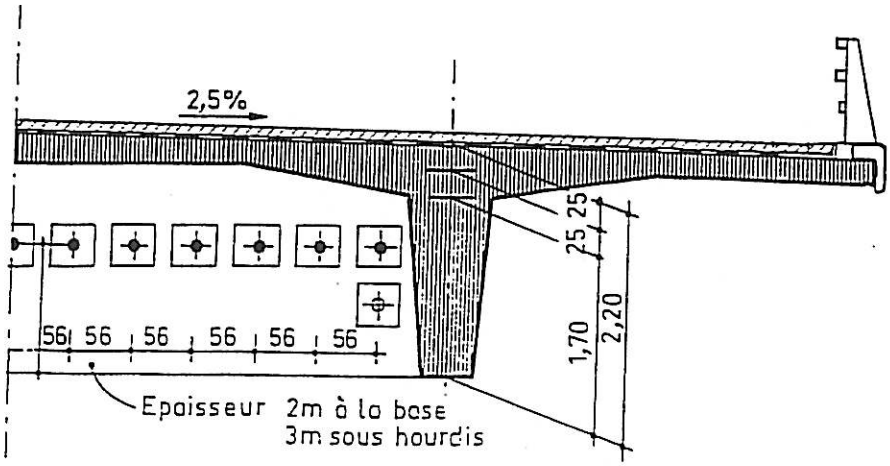


1/2 coupe en travée de rive 1/2 coupe en travée centrale

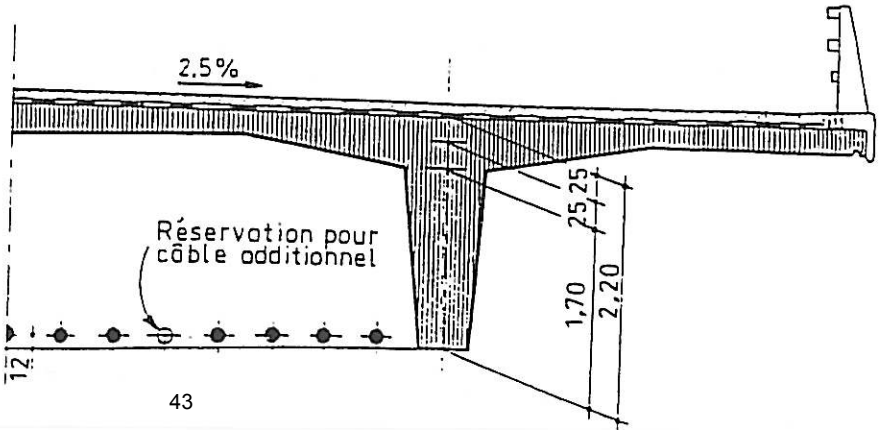
13 câbles 27 T 15 S extérieurs tendus par les deux extrémités



Tracé schématique du câblage

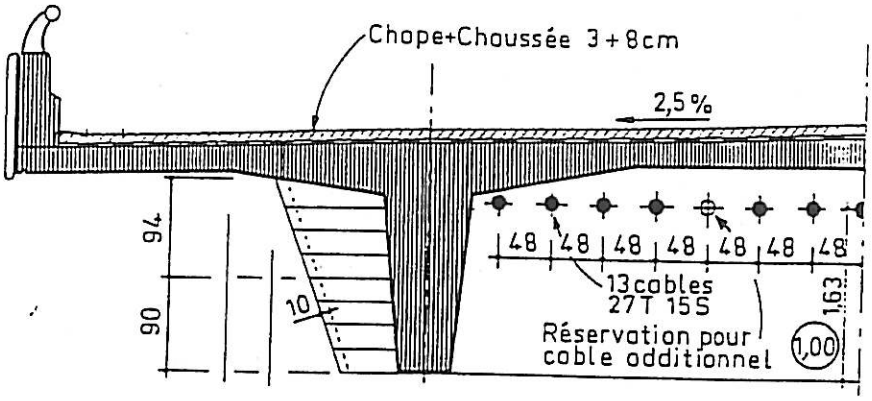


— *Demi-coupe sur culée.*



1/2 coupe en travée centrale

— Demi-coupe sur pile.



COMPARAISON BÉTON HP/BÉTON TRADITIONNEL

On trouve, ci-dessous, les coupes transversales des deux solutions :

— Béton B 60 - câblage extérieur,

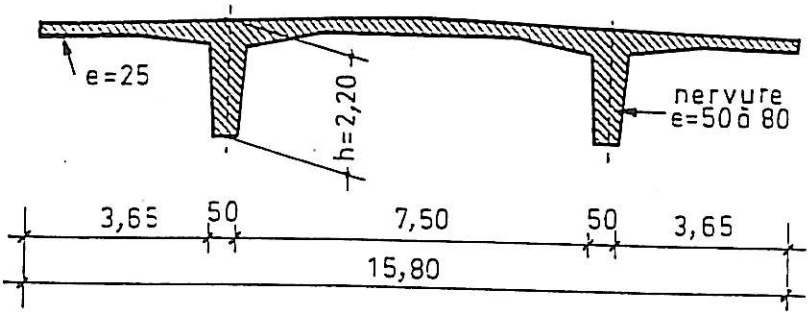
— Béton B 35 - câblage intérieur,

qui ont fait l'objet d'une étude comparative.

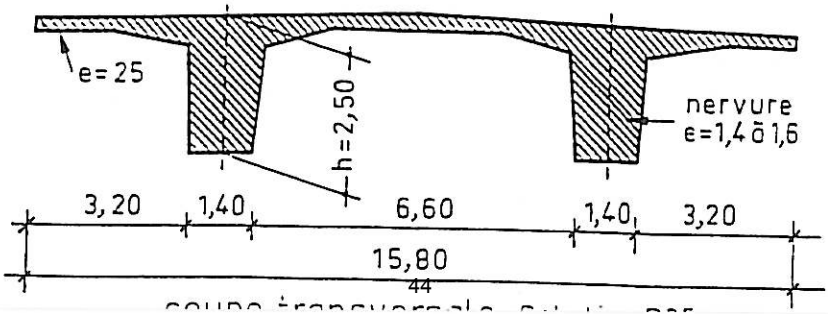
Le tableau suivant donne quelques éléments de comparaison pour les deux solutions.

	SOLUTION B 60	SOLUTION B 35
Elancement	1/20.9	1/18.4
Ep. équivalente	0,47 m	0,71 m
Quantité de béton	985 m^3	1 395 m^3 soit + 40 %
Précontrainte longitudinale	13 câbles 27 T 15 S extérieurs ----- 48 T (49 kg/m^3)	18 à 20 câbles 19 T 15 S intérieurs ----- 47 à 52 T (34 à 37 kg/m^3)
Compression moyenne en service	8,12 MPa	5,4 MPa
Précontrainte des blocs d'about	11 câbles 4 T 15 - 8 câbles 19 T 15 S ----- 4 T (pour 2 culées)	----------
Ferraillage passif	160 T (160 kg/m^3) *	157 T (112 kg/m^3)
Poids total du tablier	3 200 T	4 230 T

* A noter que l'application du BAEL 90 aurait permis de réduire ce ferraillage d'environ 12 %.



coupe transversale-Solution BHP



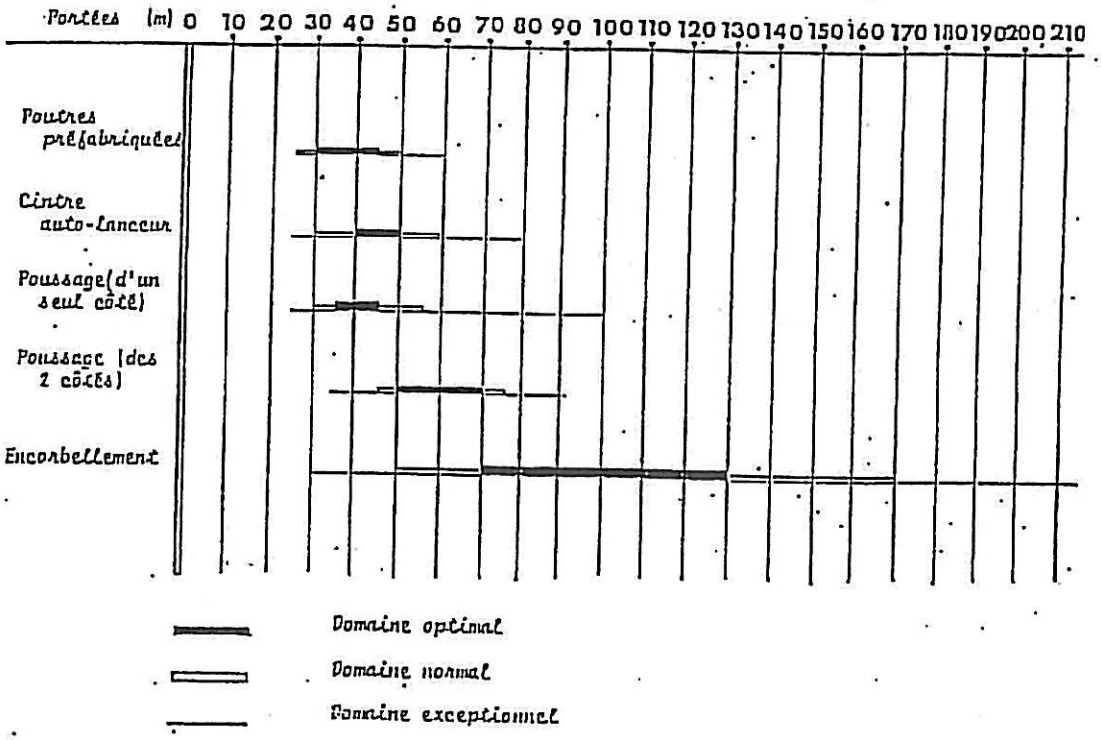
CHAPITRE II

LES PONTS CONSTRUITS SUR CINTRES AUTOLANCEURS

O - INTRODUCTION ET DOMAINE D'EMPLOI

Un cintre autolanceur est un échafaudage qui utilise les mêmes appuis que l'ouvrage qu'il supporte (dans le cas des ponts, ce sont les piles) et qui peut se déplacer par lancement de pile en pile. Il est donc constitué d'un élément porteur longitudinal et d'un plancher de service sur lequel on vient poser le coffrage.

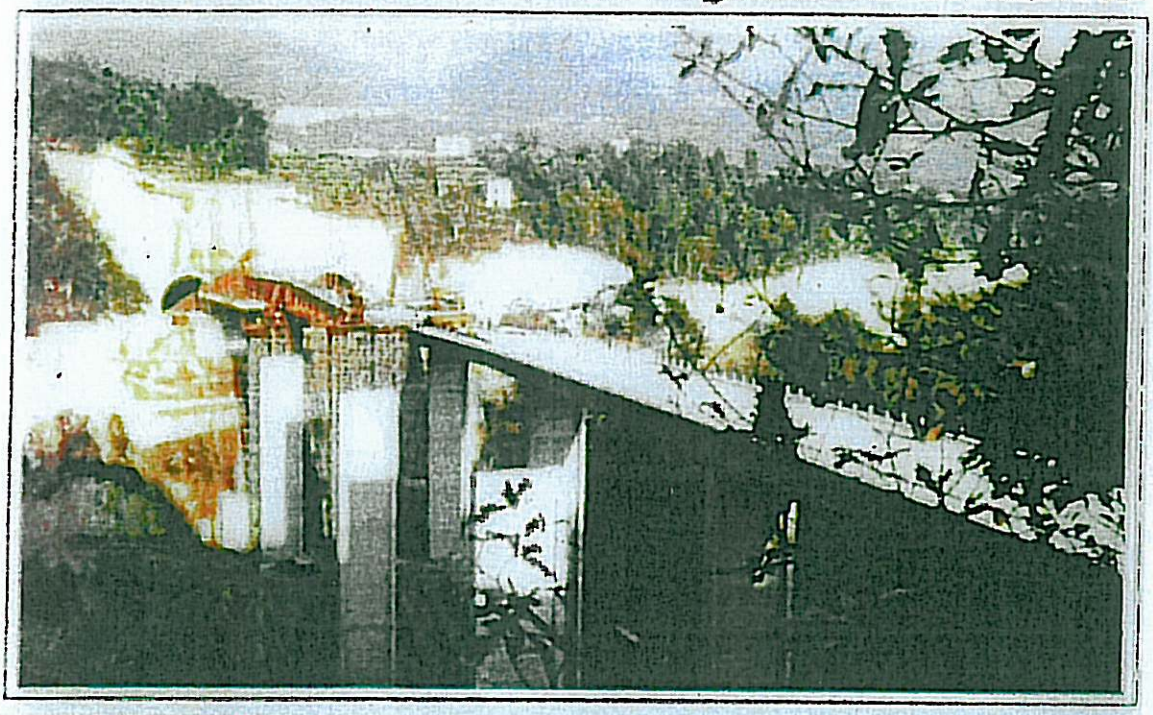
Le domaine d'emploi d'un cintre autolanceur s'étend entre des portées comprises entre 30 et 60 m en général. Les portées courantes les mieux adaptées se situent entre 40 et 50 m (les travées de rive ayant en général des portées plus faibles de l'ordre de 0,7 à 0,8 fois celle des travées courantes)

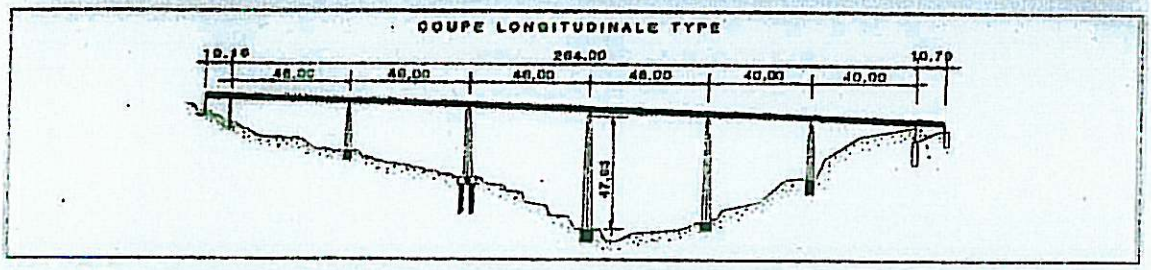


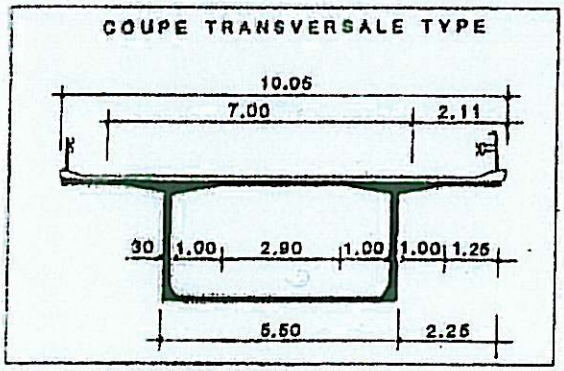
- DOMAINE D'EMPLOI

VIADUCS DE L'AUTOROUTE DE ROQUEBRUNE A MENTON

VIADUCTS ON MOTORWAY FROM ROQUEBRUNE TO MENTON







CARACTÉRISTIQUES DE L'OUVRAGE

Longueur totale: 9 viaducs d'une longueur totale de 2 410 m.
Portées: 50 m maximum.
Largeur du tablier: 10,05 m.
Hauteur du caisson: 2,80 m lorsque la portée maximale est de 50 m, 2,20 m lorsque la portée maximale est de 40 m.
Hauteur des piles: variable de 18 à 77 m.

MAIN FEATURES

Total length: 9 viaduct total length 2 410 m.
Spans: 50 m maximum.
Deck width: 10.05 m.
Box-girder depth: 2.80 m for a 50 m maximum span. 2.20 m for a 40 m maximum span.
Pier height: variable from 18 to 77 m.

QUANTITÉS MISES EN OEUVRE

Surface du tablier: 46 900 m².
Béton (appuis + tabliers): 91 600 m³.
Aciers passifs: 6 320 tonnes.
Aciers de précontrainte: 860 tonnes.

QUANTITIES

Deck area: 46 900 m².
Concrete (Supports + decks): 91 500 m³.
Steel reinforcement: 6 320 t.
Prestressing steel: 860 t.

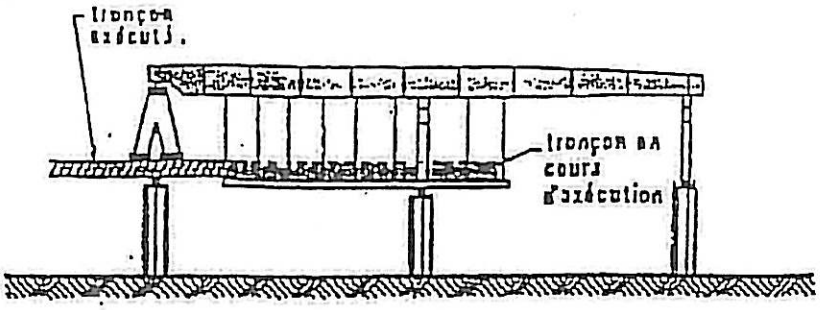
RÉALISATION

Maître d'Ouvrage: Direction Départementale de l'Equipement et du Logement des Alpes Maritimes.
Maître d'Œuvre: Direction Départementale des Alpes Maritimes.
Projet d'exécution: GTM.
Entreprise: Groupement CITRA-France, GTM.

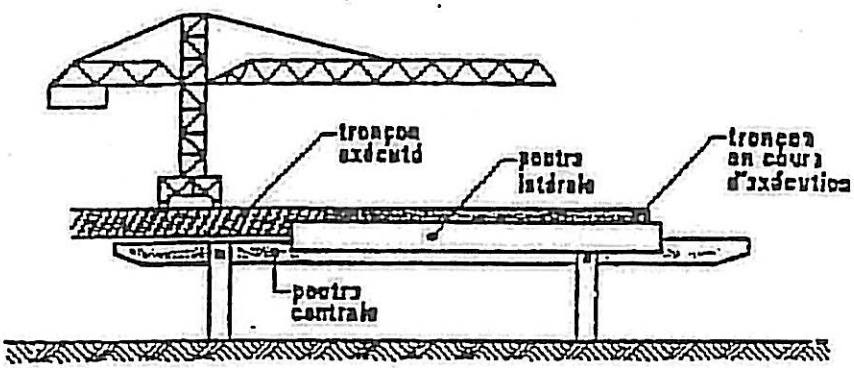
REALIZATION

Owner: Direction Départementale de l'Equipement et du Logement des Alpes Maritimes.
Consultant and works controller: Direction Départementale des Alpes Maritimes.
Design: GTM.
Contractor: Groupement CITRA-France, GTM.

Ouvrage	Longueur	Nombre de travées	Portées	Hauteur des piles
GORBIO	152 m	2 × 4	32 et 40 m	25,5 à 52,5 m
RANK	360 m	2 × 9	40 m	13,7 à 68,7 m
PESCAIRE	474 m	11 + 10	32,40 et 50 m	12,2 à 77,9 m
PALA	190 m	2 × 4	40 et 50 m	25,6 à 52,3 m
BORRIGO	264 m	2 × 6	40 et 46 m	18,6 à 48,3 m
CAREI	520 m	11 + 10	40 et 50 m	19,5 à 69,6 m
FOSSAN	130 m	2 × 3	40 et 50 m	13,7 à 23,6 m
BAOUSSET	104 m	2 × 3	32 et 40 m	20,6 à 23,8 m
GARAVAN	184 m	2 × 5	32 et 40 m	19,6 à 50,0 m



a_ cintre par dessus.

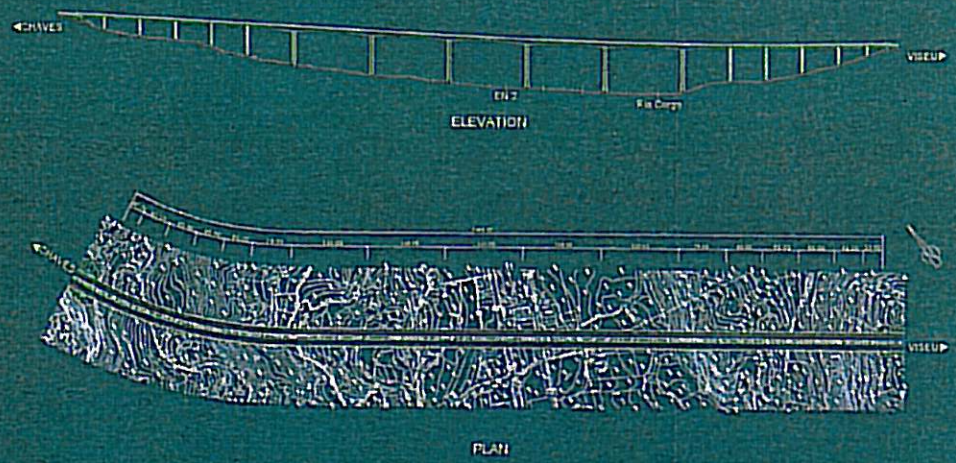


b_ cintre par dessous.

Les deux grandes familles de cintres autolanceurs : les cintres par dessus (en haut), et les cintres par dessous (en bas).

VIADUC DE VILA POUCA DE AGUIAR

Vue coté Sud



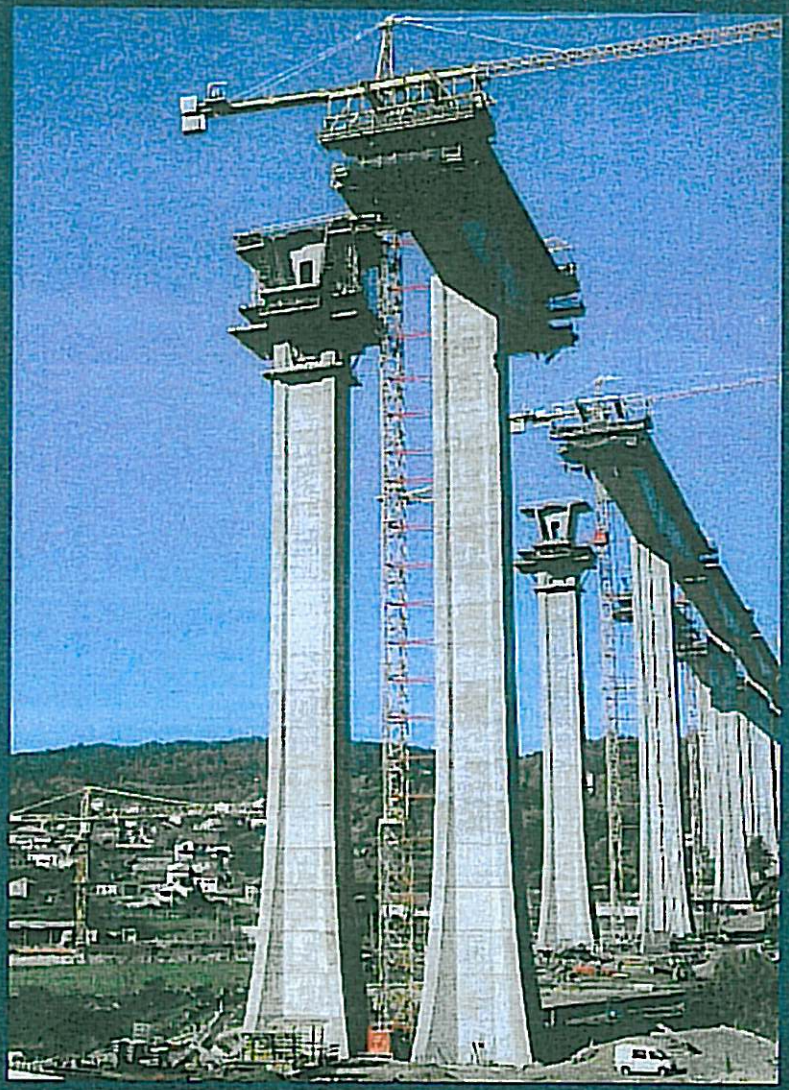
Longueur - 1 348 m

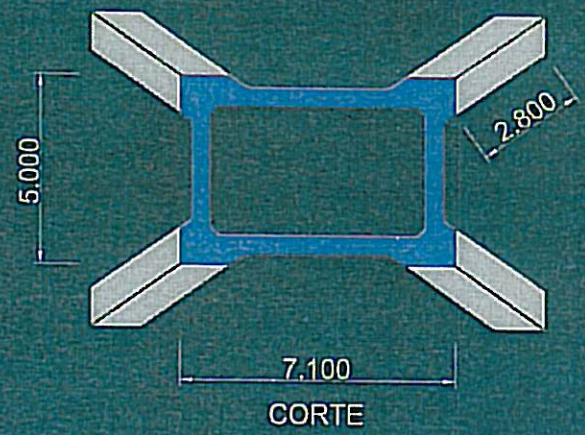
Largeur - 2 x 13,00 m

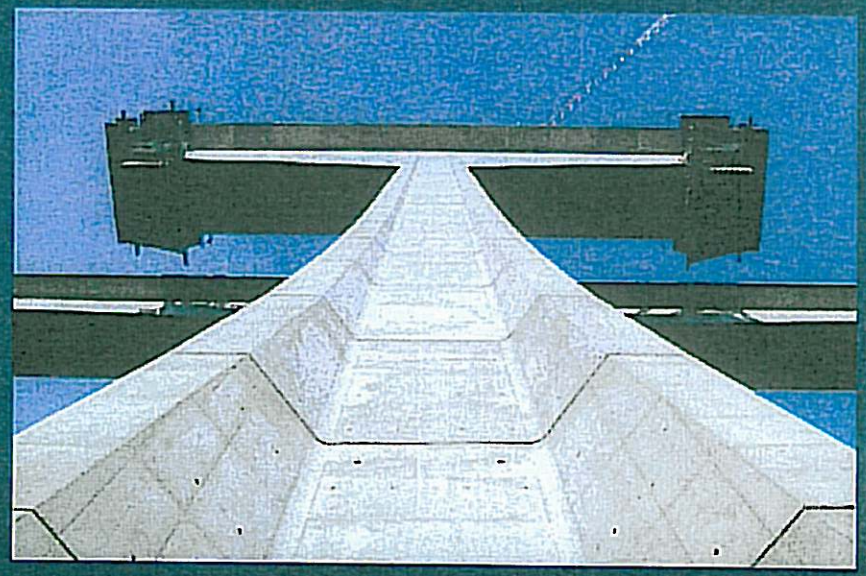
H max. - 90 m

Travées N/S - 40 + 4 x 60 + 79 + 5 x 130 + 79 + 3 x 60 + 48 + 32

VIADUC DE VILA POUCA DE AGUIAR







PILES

VIADUC DE VILA POUCA DE AGUIAR

TABLIERS DE L'ACCÈS NORD

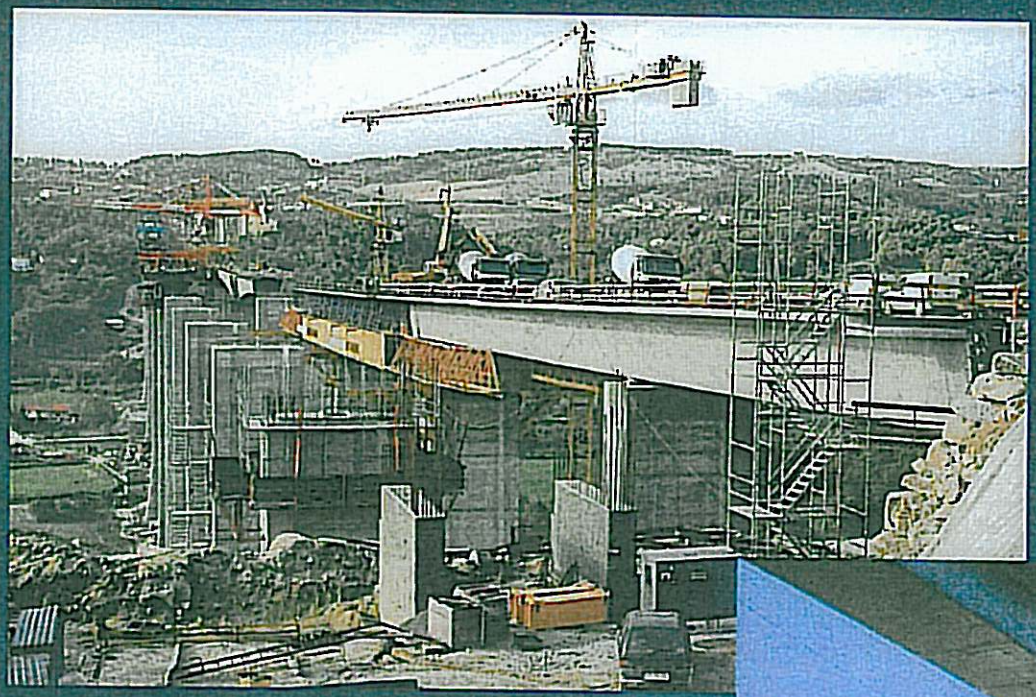
Longueur - 292 m
Portées de 60 m
h = 3,60 m

Coffrages en position fermée

CINTRE PAR DESSUS

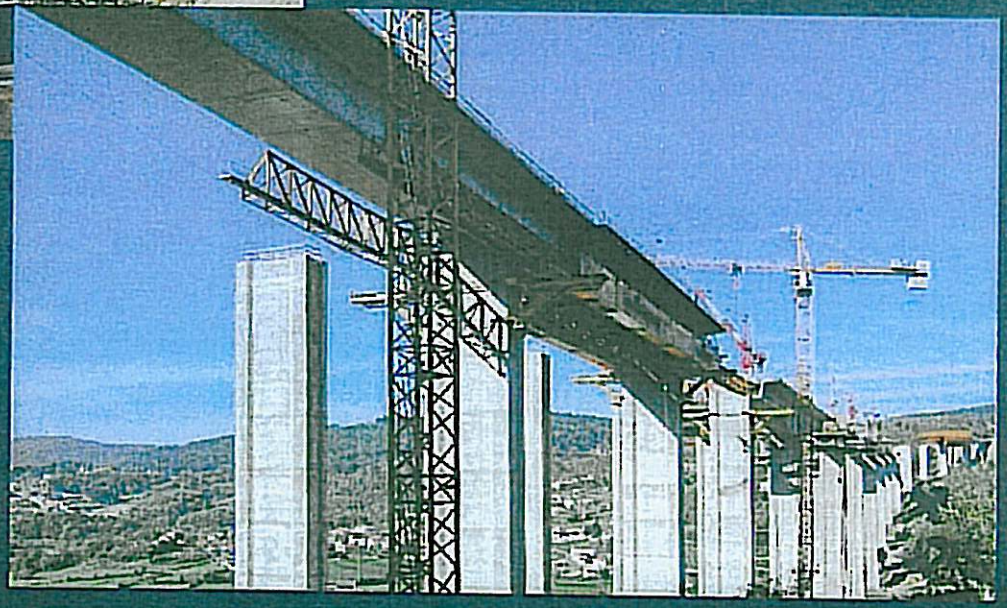
Coffrages ouvertes en position de lancement

VIADUC DE VILA POUCA DE AGUIAR



TABLIERS DE L'ACCÈS SUD

CONSTRUCTION SUR CINTRE PAR EN DESSOUS



Longueur 272 m

Portées de 60 m

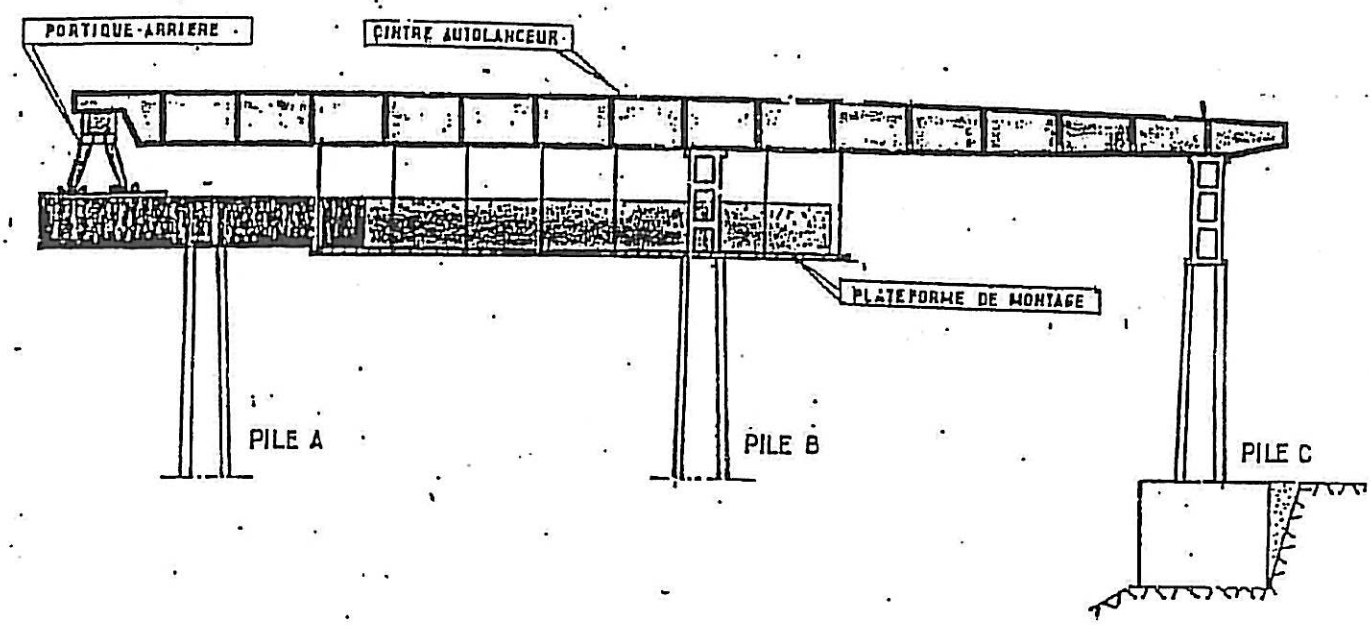
h = 3,60 m

I - PRINCIPE DU CINTRE AUTOLANCEUR

La technique dite "des ponts sur cintre autolanceur" est une méthode d'exécution des ponts coulés en place à l'avancement par travées successives. Elle s'applique généralement à des structures continues de section quelconque et bétonnées par travée entière. La section transversale du tablier peut être quelconque : hauteur constante ou variable, profil en caisson à deux ou trois âmes, double caisson, nervures entretoisées ou non. Les sections de reprise de bétonnage sont disposées à une certaine distance des piles dans une zone où les sollicitations sont minimales et où le système de mise en place des ancrages est le plus aisé. Après une phase entière, terminée par le durcissement du béton et la mise en tension des câbles, les matériels de coffrage et d'étaiement supportés par une ossature porteuse appelée "Cintre Métallique" sont déplacés sur la travée précédente par un système de vérins qui permet à cette poutre principale de se déplacer sans aide extérieure d'où le terme d' "autolanceur".

Le cintre autolanceur est constitué par :

- une ossature porteuse : une ou plusieurs poutres principales
- les éléments d'appui propres aux différentes phases de bétonnage et de lancement
- le dispositif de décintrement et de lancement
- les coffrages avec les appareils de réglage et décoffrage.



SCHEMA DE PRINCIPE DU CINTRE AUTOLANCEUR

2 - CONCEPTION DU CINTRE

L'ossature porteuse est constituée d'une ou plusieurs poutres qui sont disposées soit au-dessus, soit en-dessous du tablier. Ces poutres principales sont, soit constituées de caissons en charpente métallique, soit de fermes en treillis métallique. Dans le cas de poutres se trouvant au-dessous du tablier , il est possible d'utiliser des fermes standard du commerce réutilisables sur d'autres chantiers.

Dans le premier cas, la poutre maîtresse se trouve au-dessus. Les coffrages sont, soit entièrement métalliques, soit en bois ou mixte, soit suspendus à des dispositifs spéciaux prévus pour les porter lors de la translation du cintre.

Dans le deuxième cas, la poutre maîtresse est disposée au-dessous ou au même niveau que les coffrages. Ces derniers peuvent être solidaires des fermes porteuses, en prévoyant un dispositif pour le décintrement et le décoffrage du tablier.

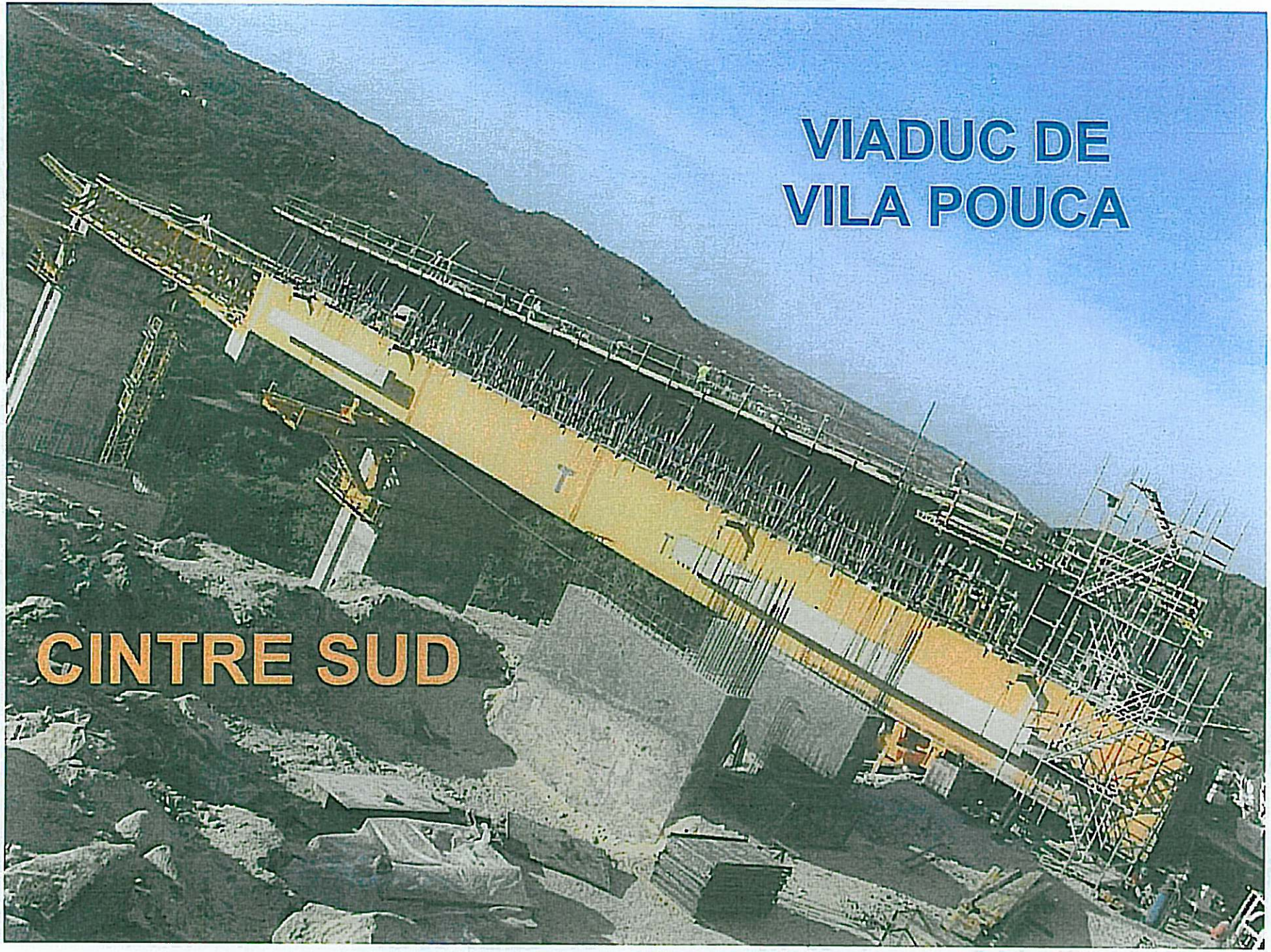
Les cintres autolanceurs peuvent ainsi être classés en deux catégories suivant la position de l'ossature porteuse par rapport au tablier du pont :

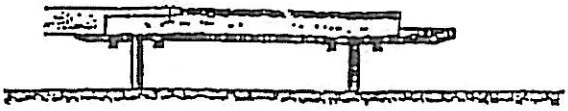
- les cintres "par dessous"
- les cintres "par dessus"

2.1 - Les cintres autolanceurs "par-dessous" :

Ce type de cintre est utilisable aussi bien pour les tabliers en section à caisson que pour ceux en dalle nervurée. Elle consiste à placer l'ossature porteuse sous le tablier suivant des positions fonctions des caractéristiques du profil transversal. Les coffrages sont alors directement solidarisés aux fermes porteuses. Le cintre est donc suspendu à l'arrière, à l'extrémité du tablier de la phase antérieure et repose à l'avant sur les piles précédemment exécutées. Pour l'avancement, la poutre porteuse utilise un arrière-bec et un avant-bec qui s'appuient sur la partie coulée et sur des consoles métalliques situées sur les piles.

Exemples d'ouvrages exécutés : le viaduc de Martigues, en France (Autoroute A55) de 315 m et 260 m de longueur comportant des travées de 45 m à section en dalles nervurées sans entretoise.

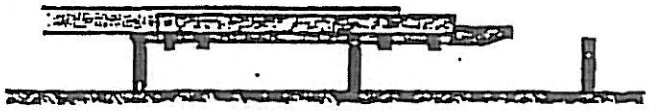

VIADUC DE
VILA POUCA
CINTRE SUD



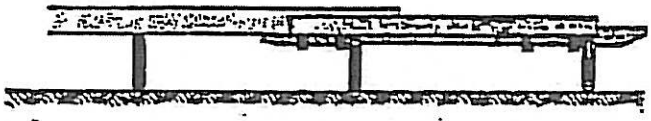
1_Fin de la construction de la travée n :

2_Démontage des suspensions du portique arrière.
Ouverture des chevêtres basculants en arrière des piles.

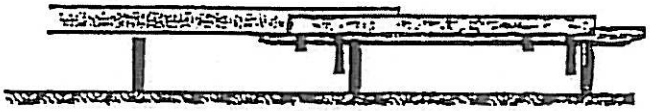
3_Avancement de la poutre de lancement.



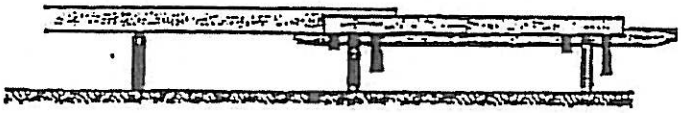
4_Remise en place des chevêtres basculants.



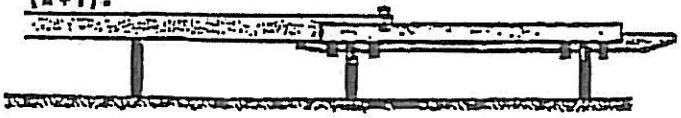
5_Avancement de la poutre de lancement.



6_Ouverture des chevêtres basculants en avant des piles.



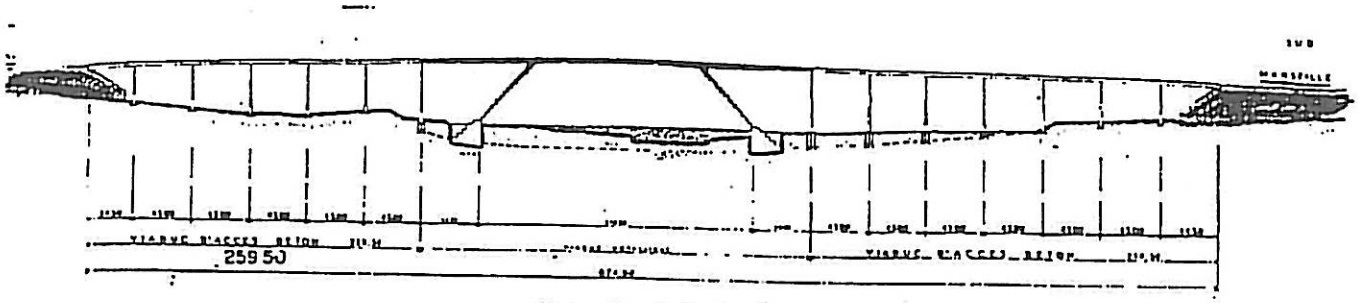
7_Avancement du tablier en position de bétonnage dans la travée (n+1).



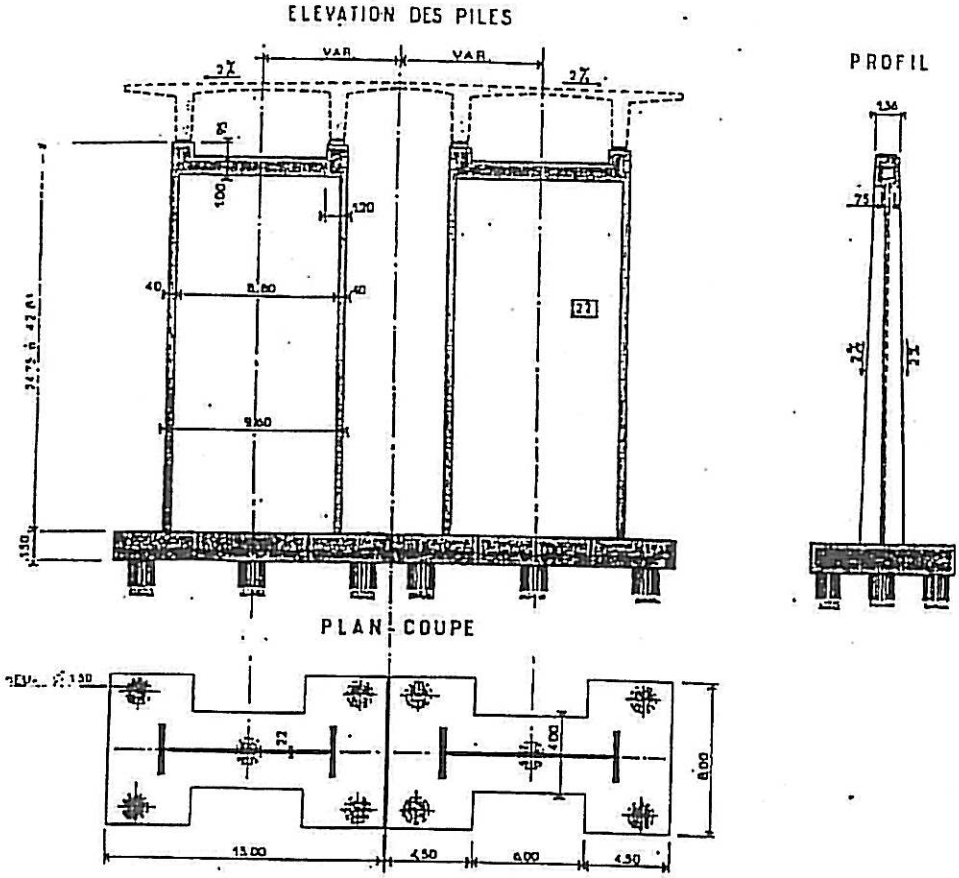
8_Remise en place des chevêtres basculants.
Remontage du portique arrière.

. Principe d'avancement du cintre autolanceur par en dessous des viaducs d'accès au pont de Caronte.

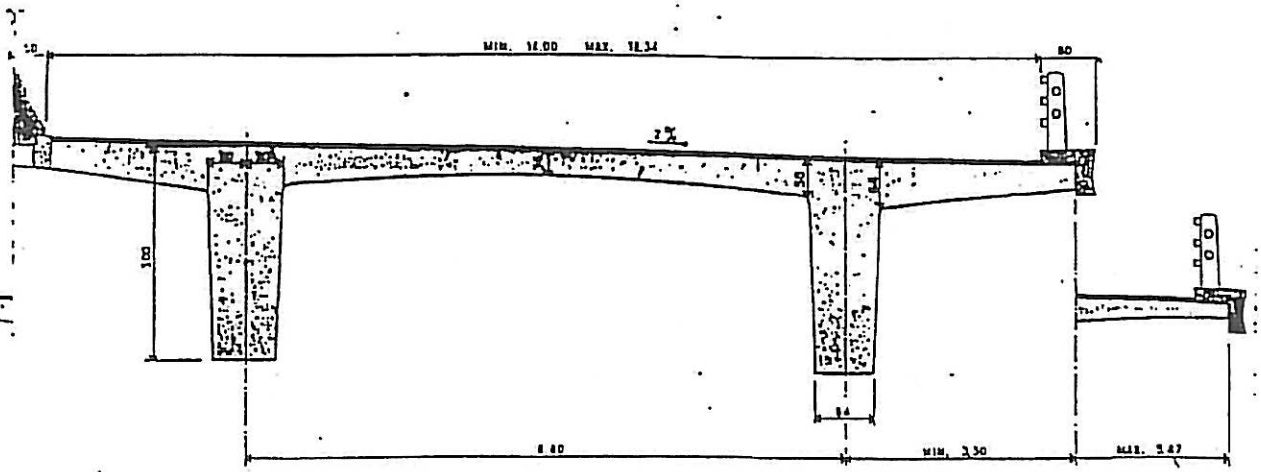
Exemple Viaduc de Caroute



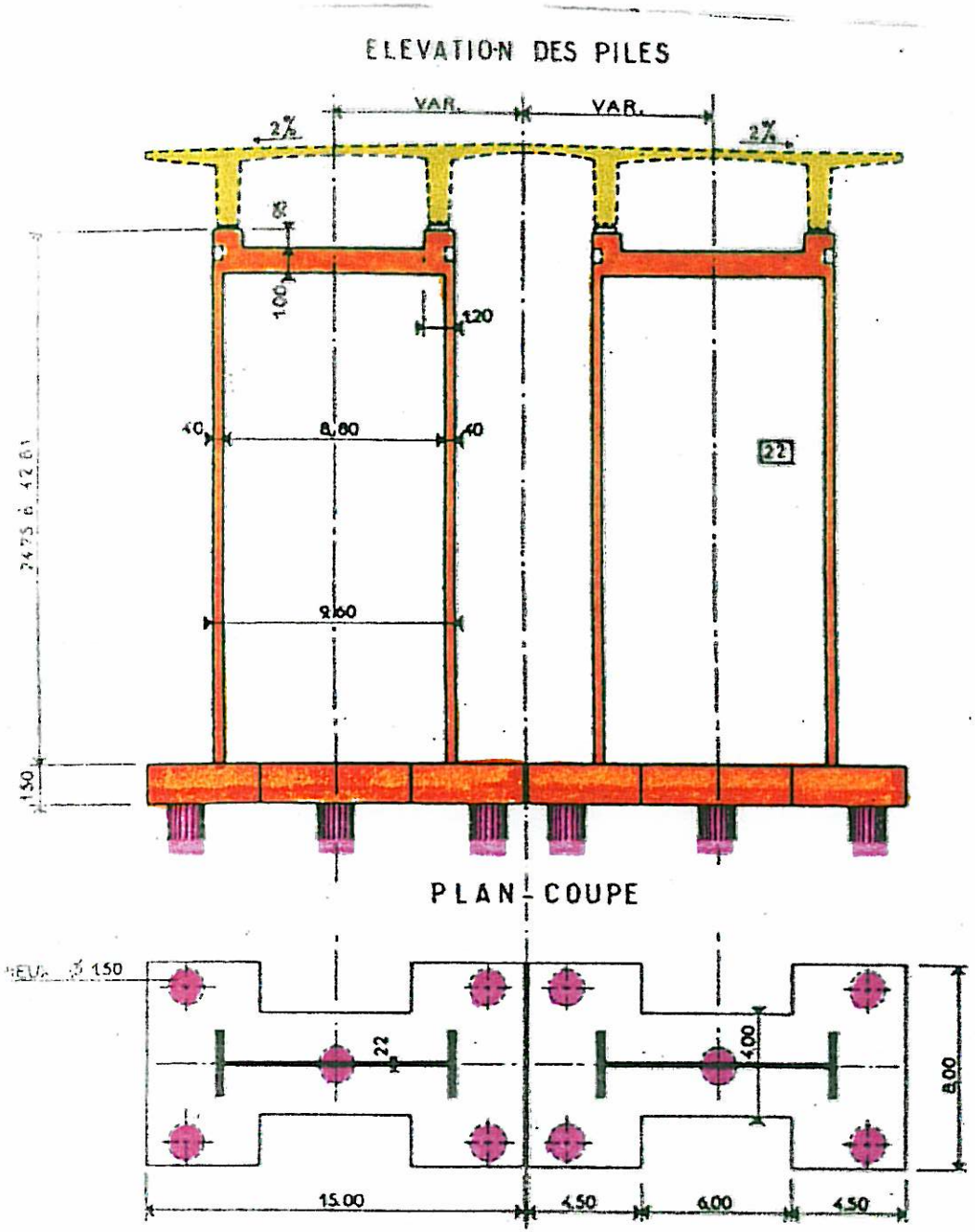
Coupe longitudinale d'ensemble.



Piles.



Coupe transversale du tablier.



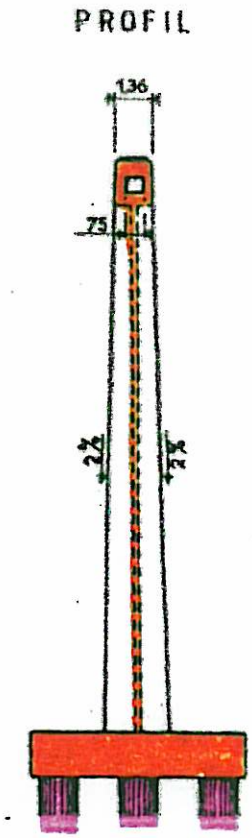


Fig. 6 à 8 : Piles.

Fig. 6

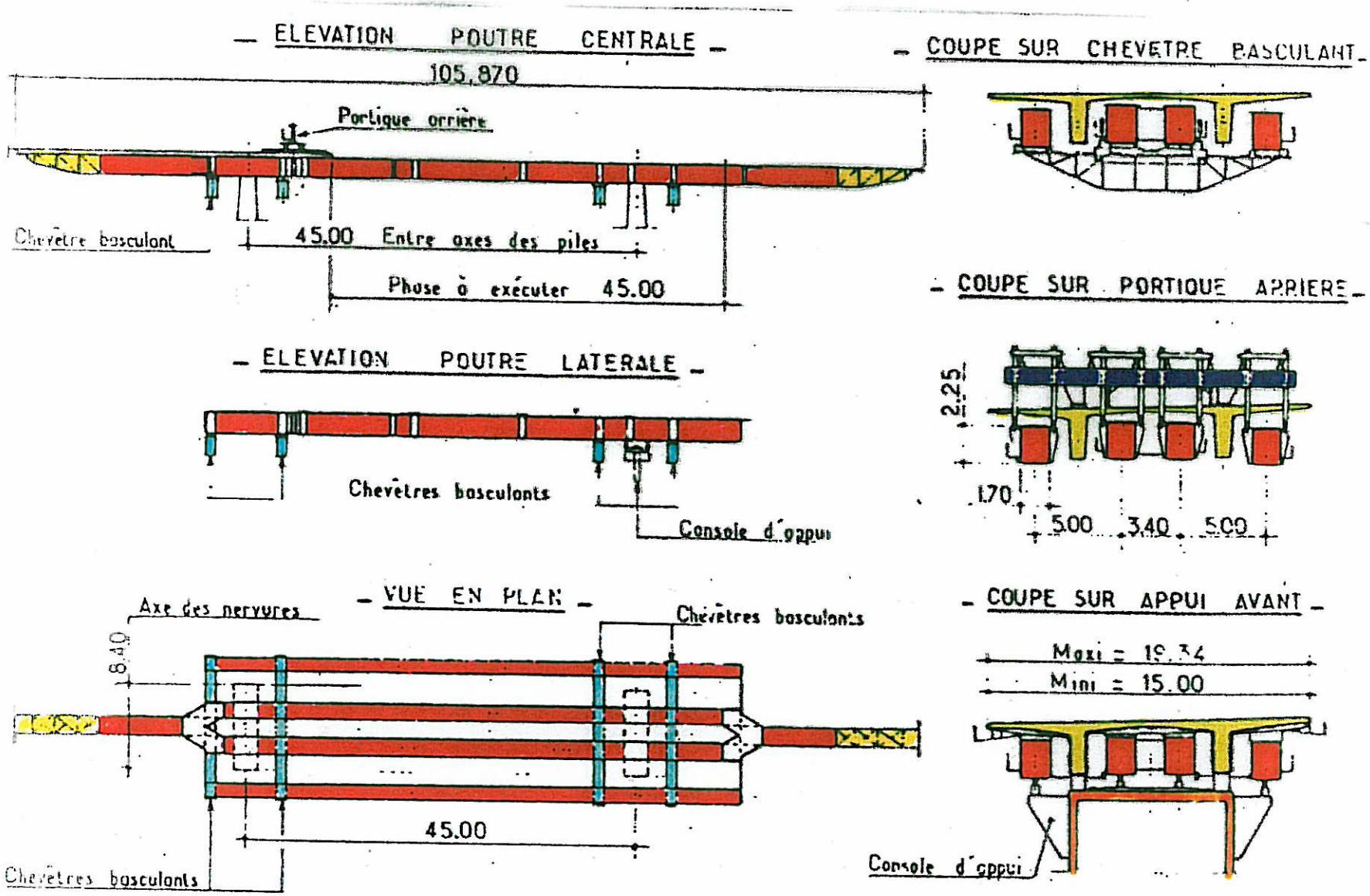
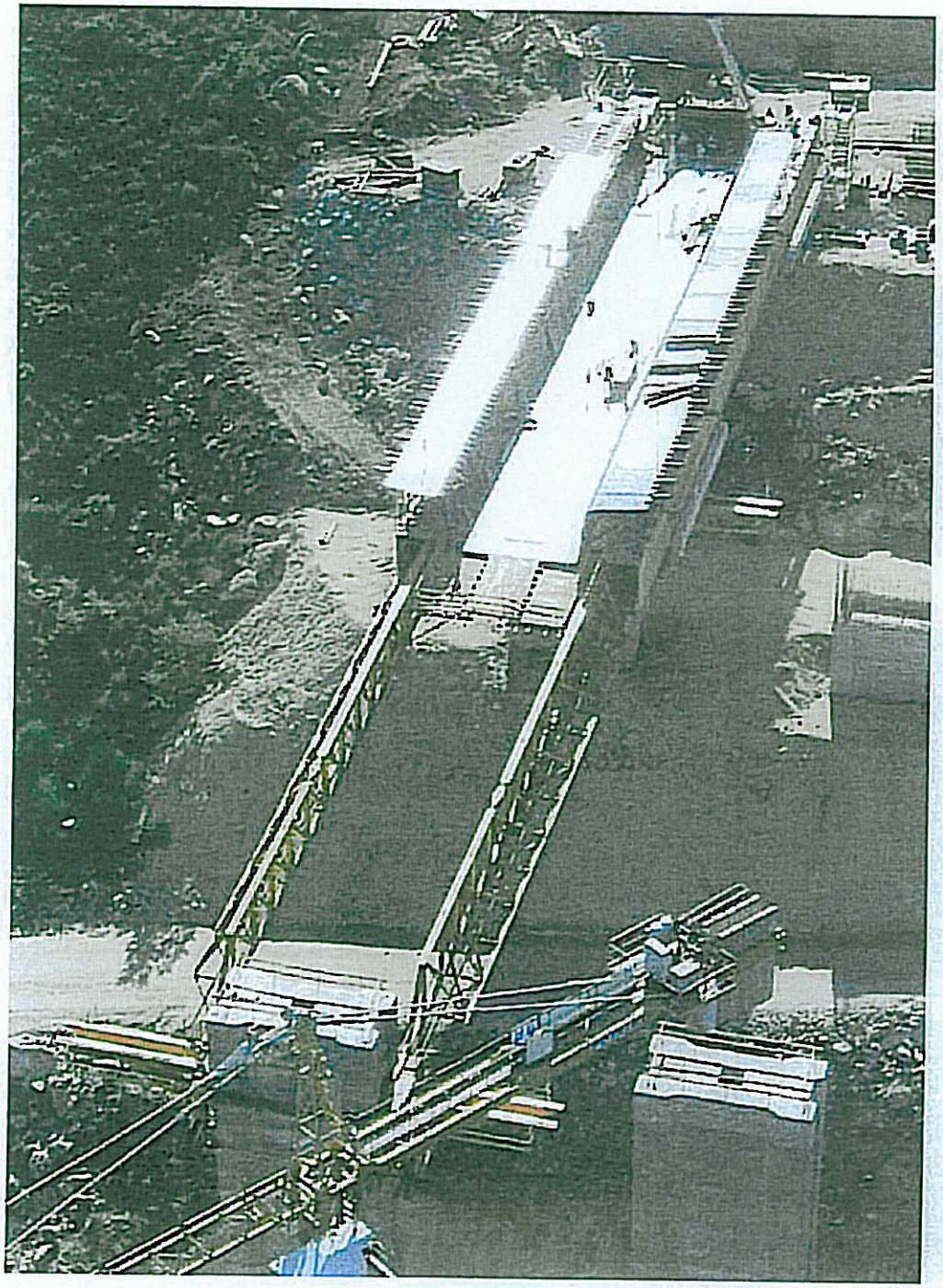


Fig. 20 : **Vue d'ensemble du cintre.**



Deux poutres indépendantes

équilibrées par contrepoids

Des avant-becs et arrière-becs

en treillis pour translation seule

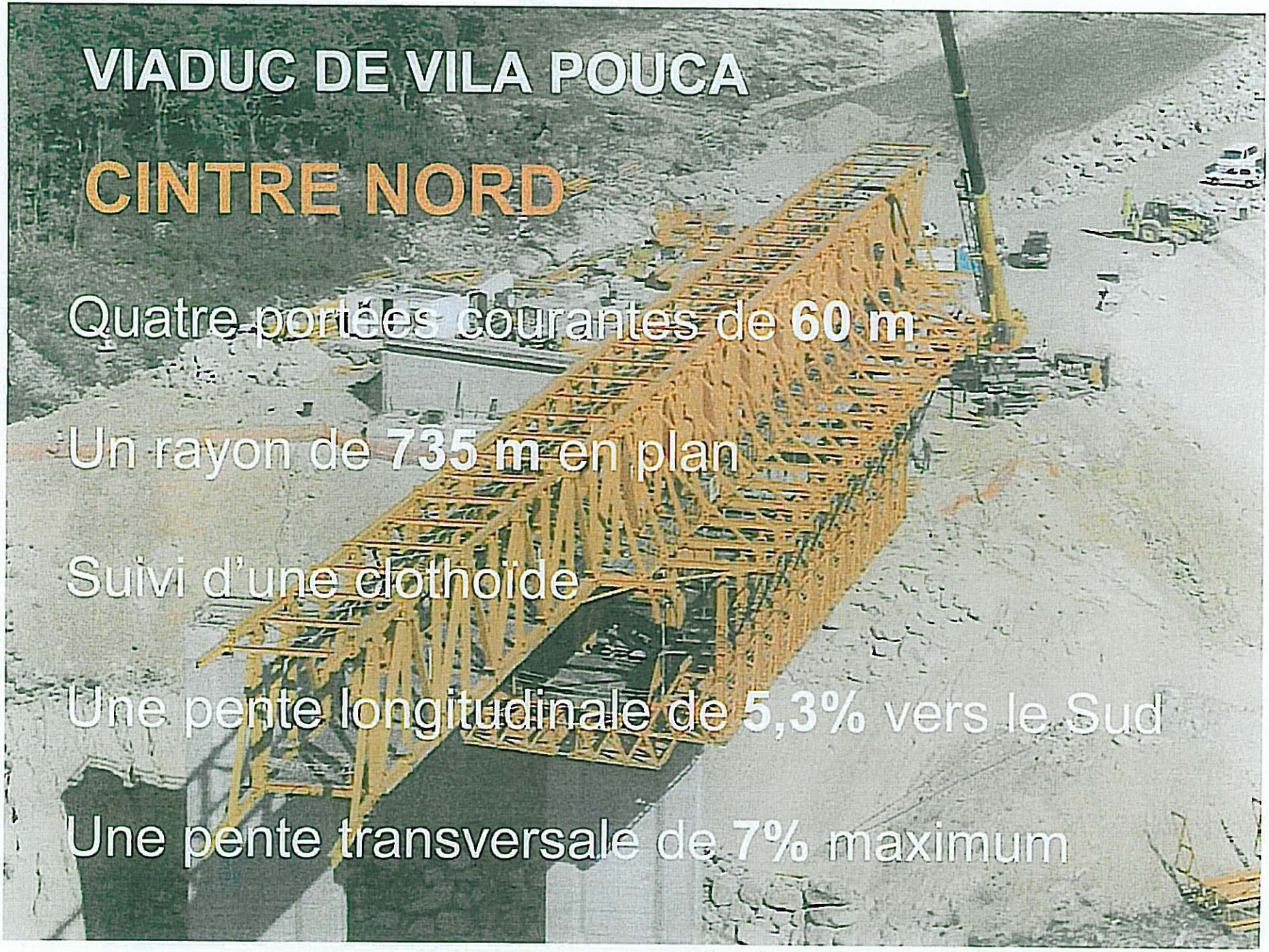
Déplacement par glissement

2.2 - Les cintres autolanceurs "par-dessus" :

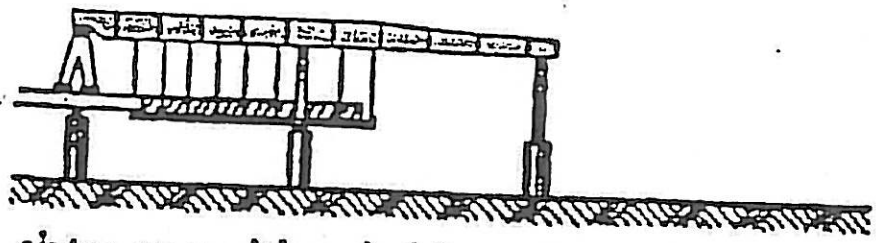
La poutre porteuse est située entièrement au-dessus du tablier. Les coffrages sont suspendus à l'ossature au moyen de suspentes réparties pour réduire les efforts engendrés par les éléments porteurs : les planchers supportant le coffrage et le tablier coulé

Lors d'une phase d'exécution de coffrage et de bétonnage, le cintre s'appuie sur le tablier du pont de la tranche précédemment exécutée et à l'avant sur la pile par l'intermédiaire d'une palée. Lors du lancement, il est muni d'un avant-bec qui permet un appui lors du déplacement et les planchers sont suspendus par les suspentes extérieures pour échapper aux piles.

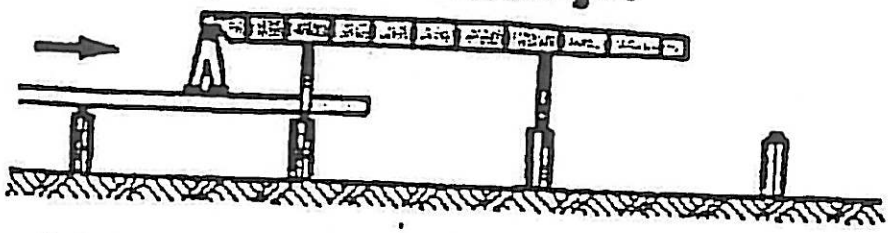
Exemples d'ouvrages exécutés : les viaducs de Roquebrune-Menton (Autoroute A8), de Gennevilliers (Autoroute A15) et des Egratz.


VIADUC DE VILA POUCA
CINTRE NORD
Quatre portées courantes de 60 m
Un rayon de 735 m en plan
Suivi d'une clothoïde
Une pente longitudinale de 5,3% vers le Sud
Une pente transversale de 7% maximum

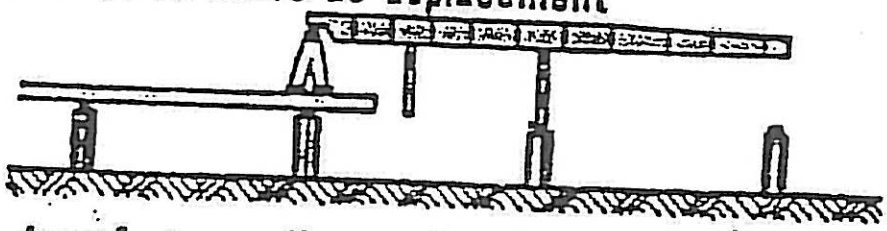
Principe d'avancement d'un cintre par dessus



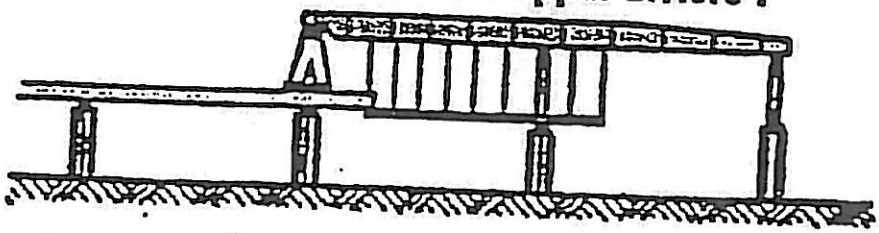
a_cintre en position de bétonnage.



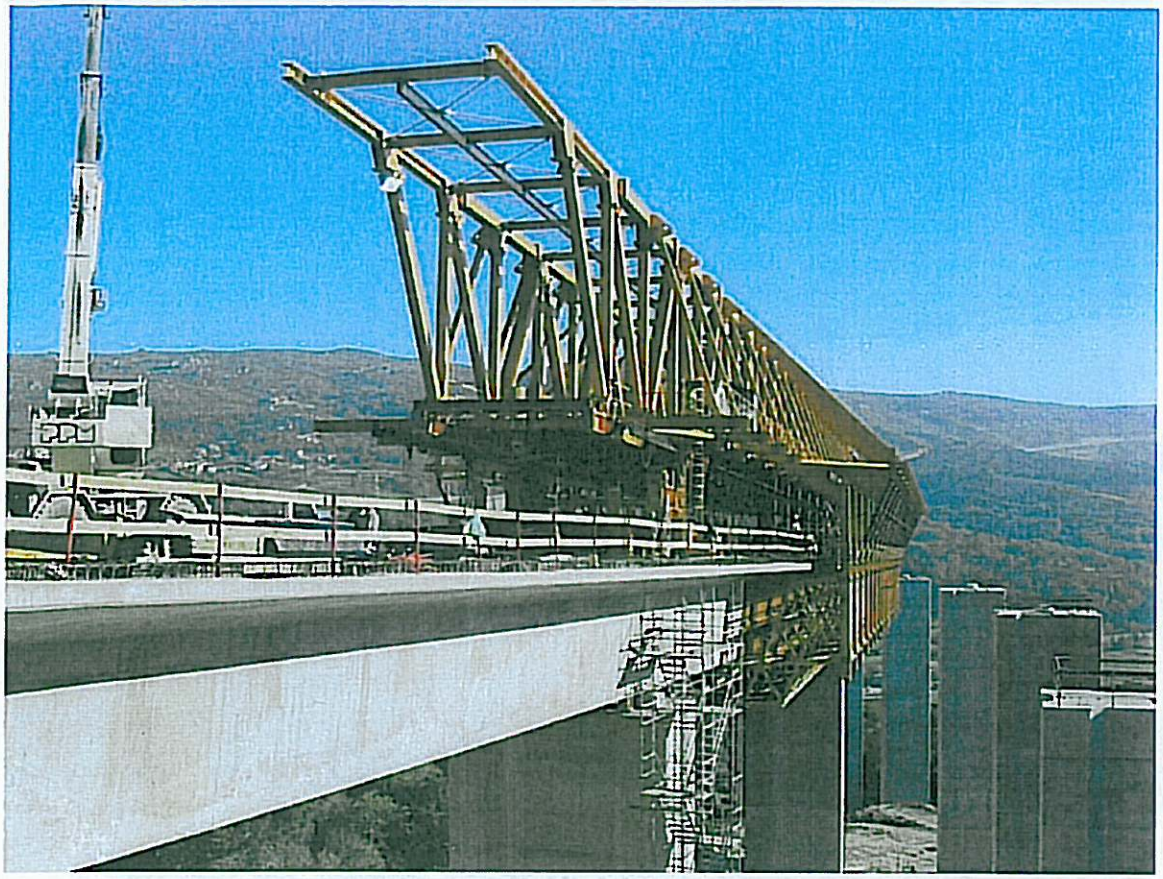
b_cintre en cours de déplacement



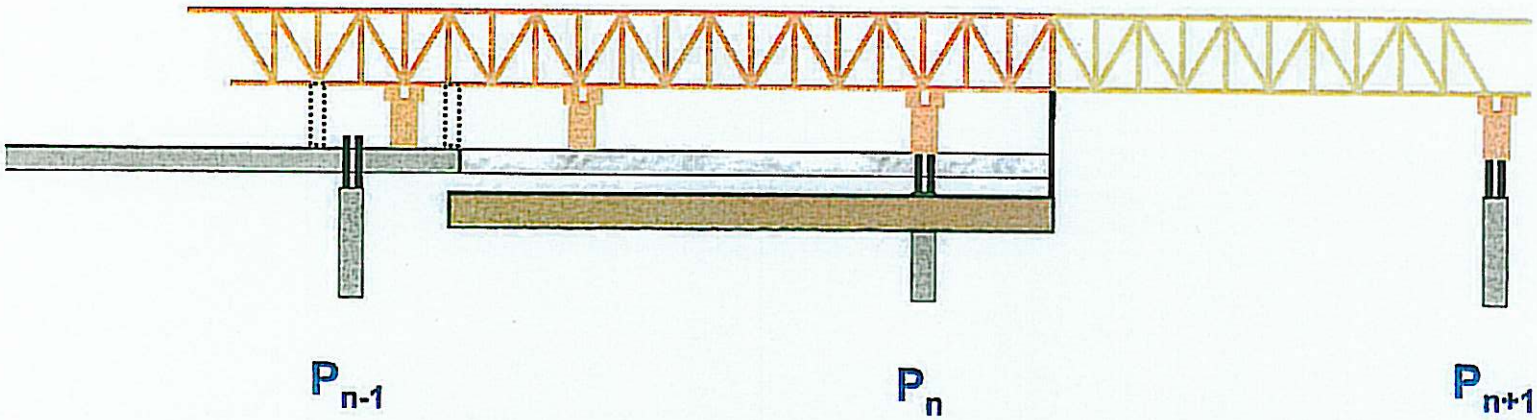
c_transfert vers l'avant de l'appui arrière.



d_cintre en position de bétonnage.

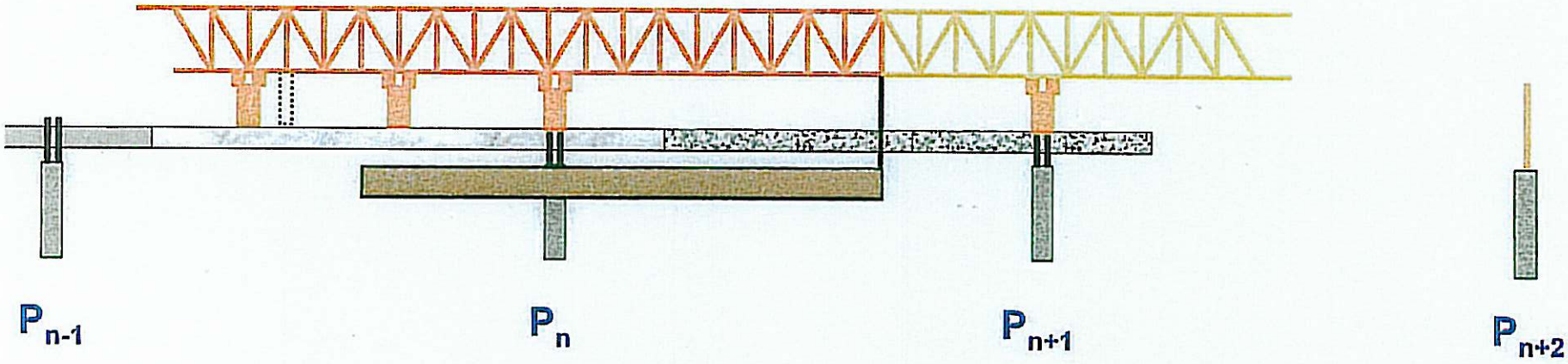


Phases successives de translation



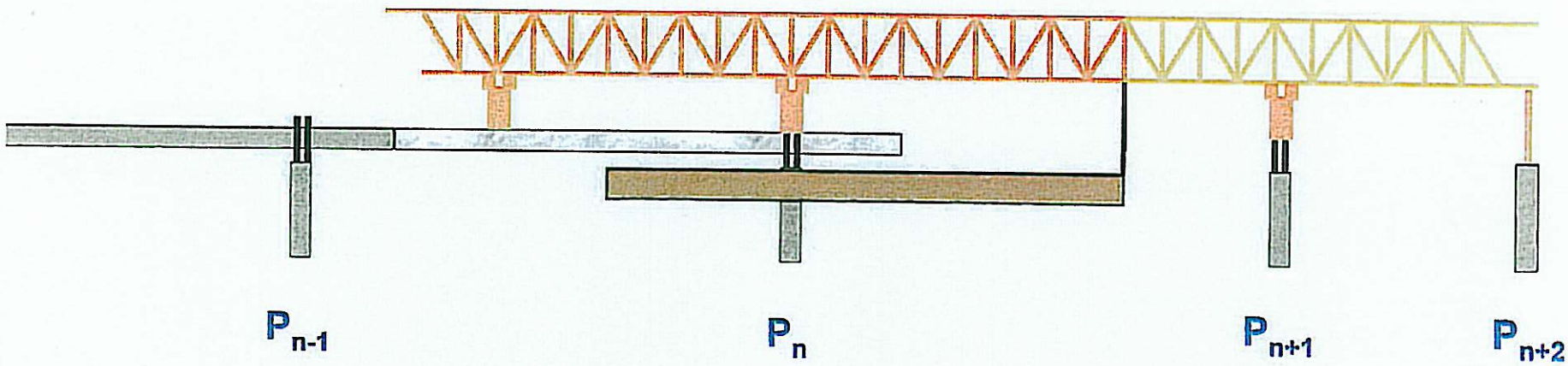
Poursuite de la translation

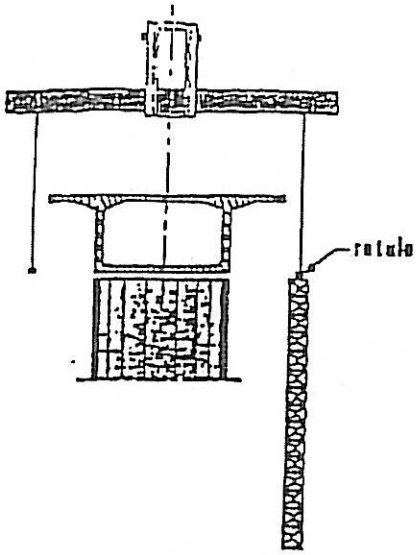
Phases successives de translation



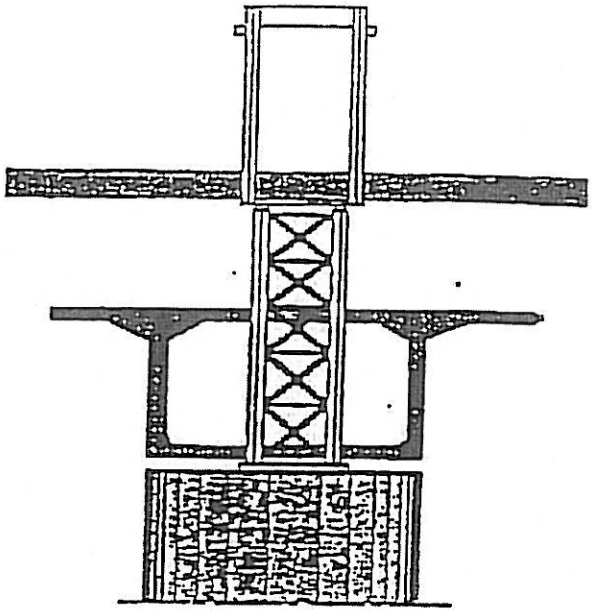
Déplacement du premier appui

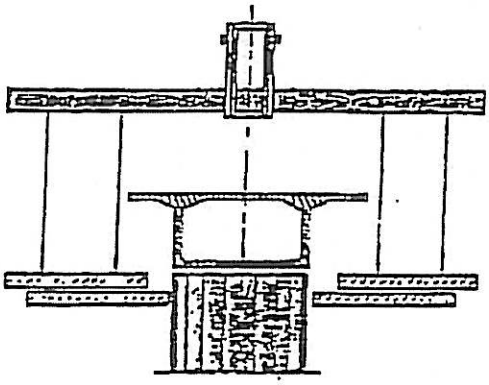
Phases successives de translation



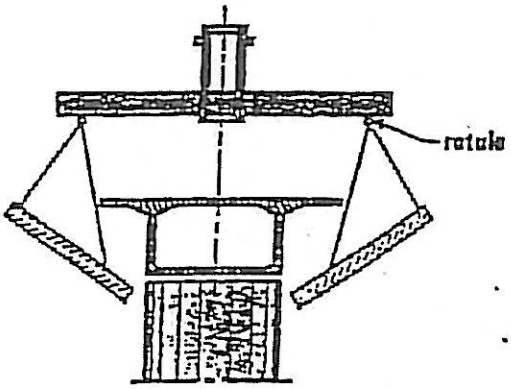


a_ plancher articulé sur une suspente.





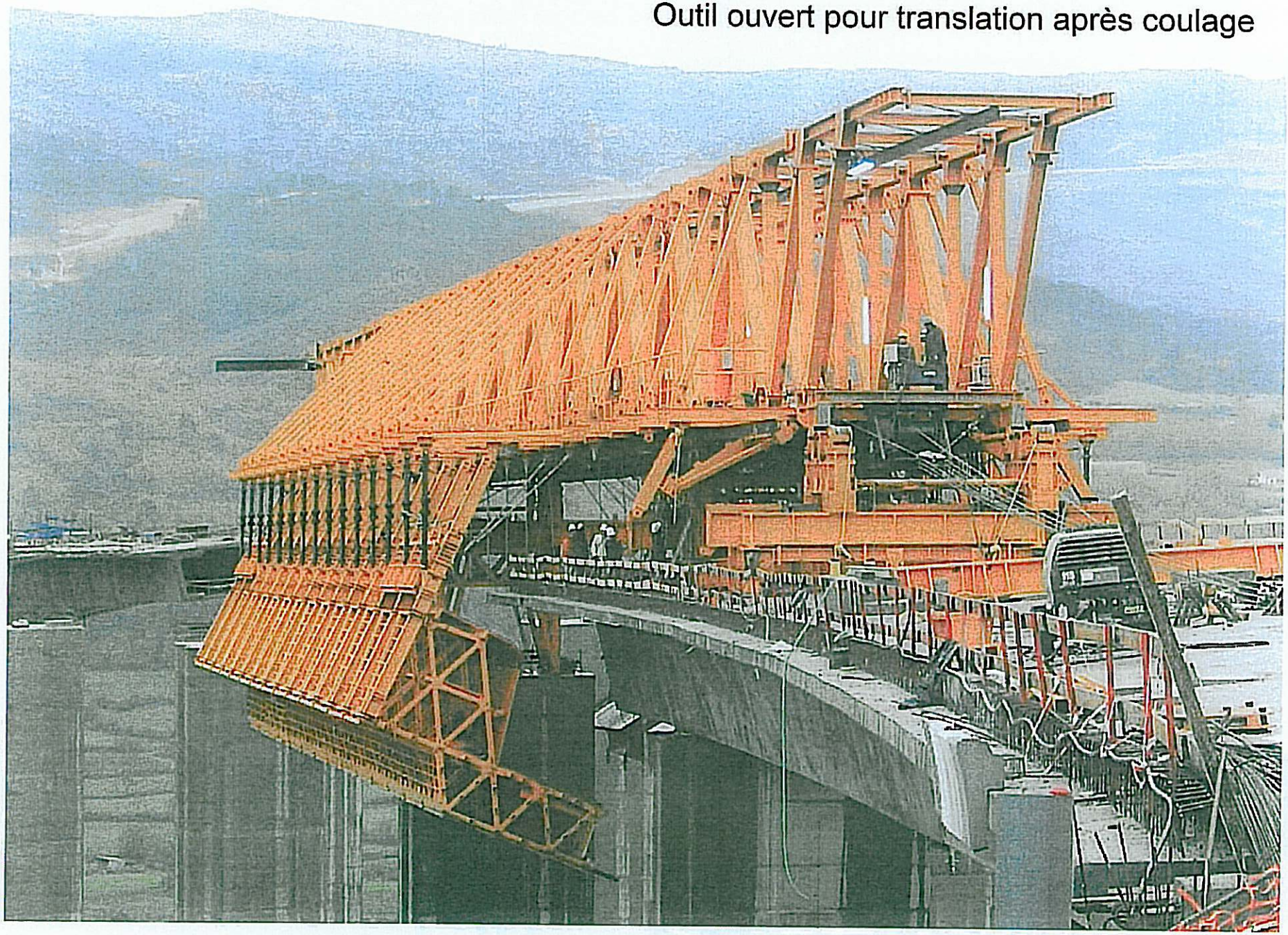
b_ plancher télescopique.

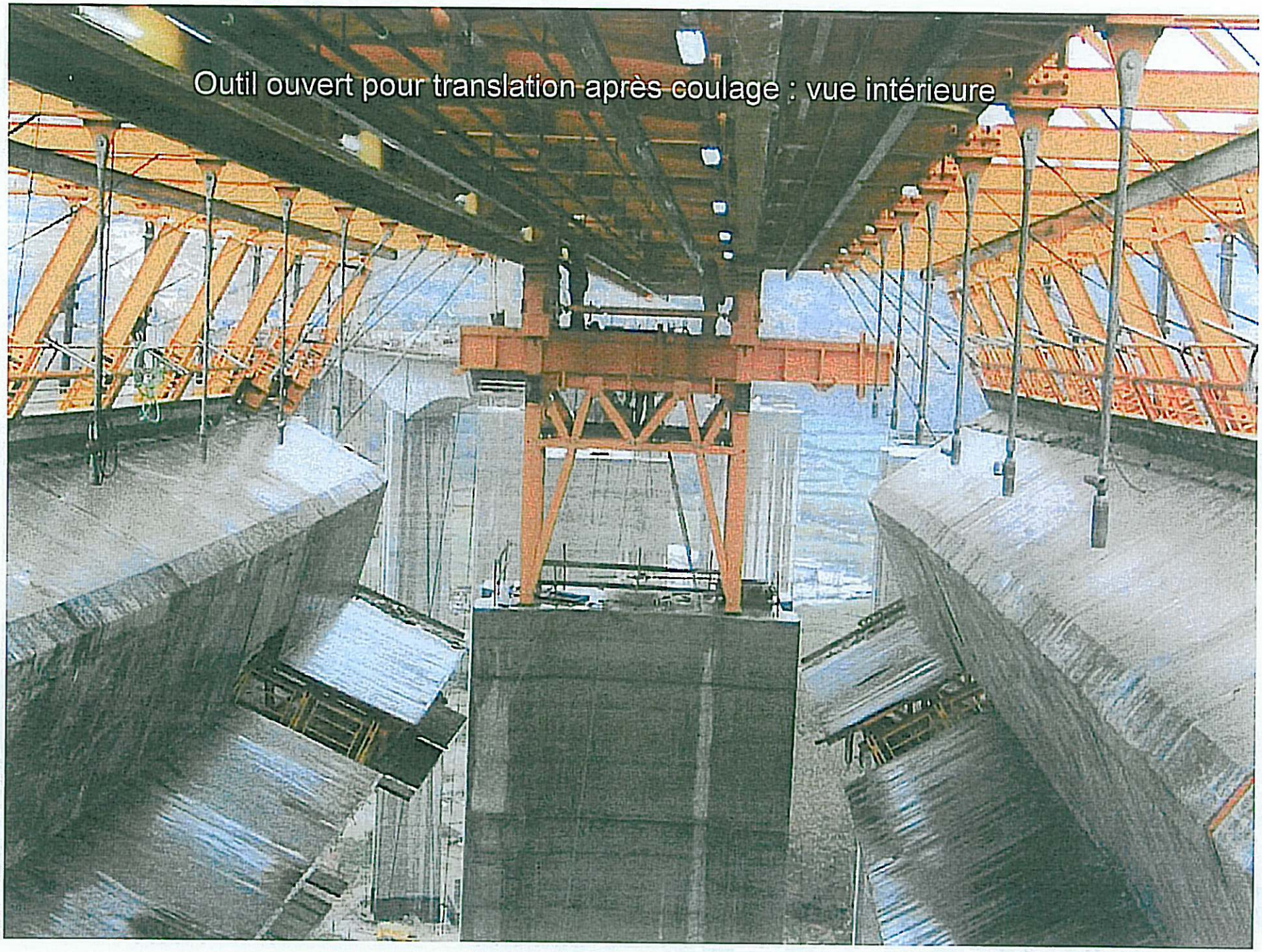


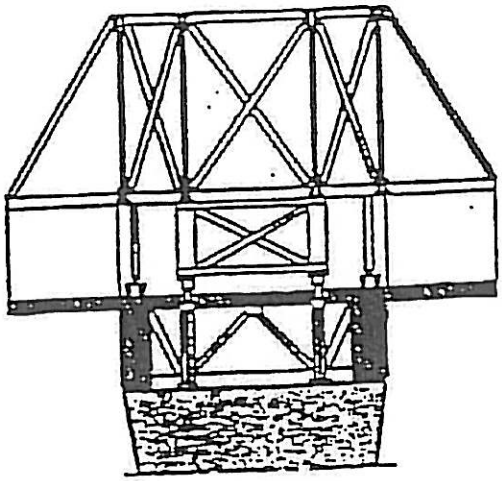
c_ plancher basculant.

Solutions utilisées
our permettre le franchissement
es piles par le plancher des
intres par au dessus.

Outil ouvert pour translation après coulage

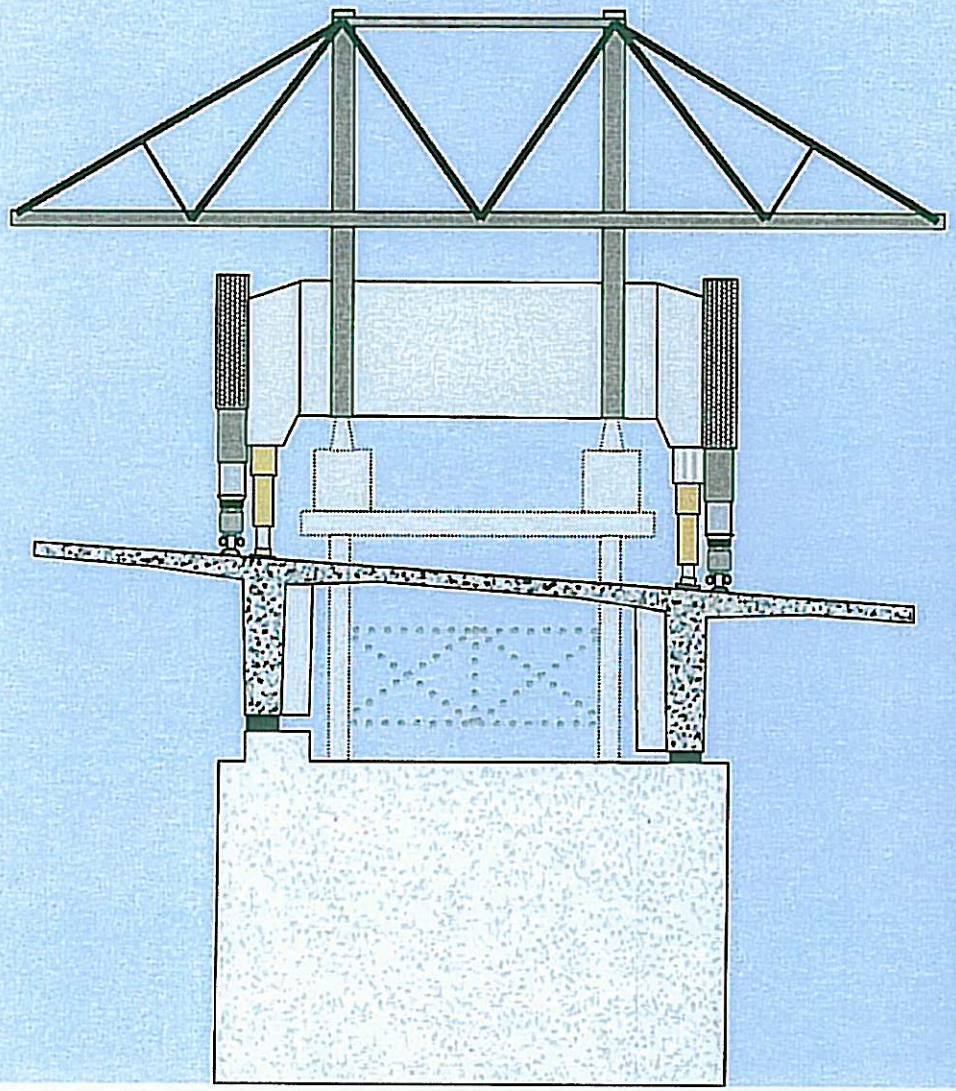


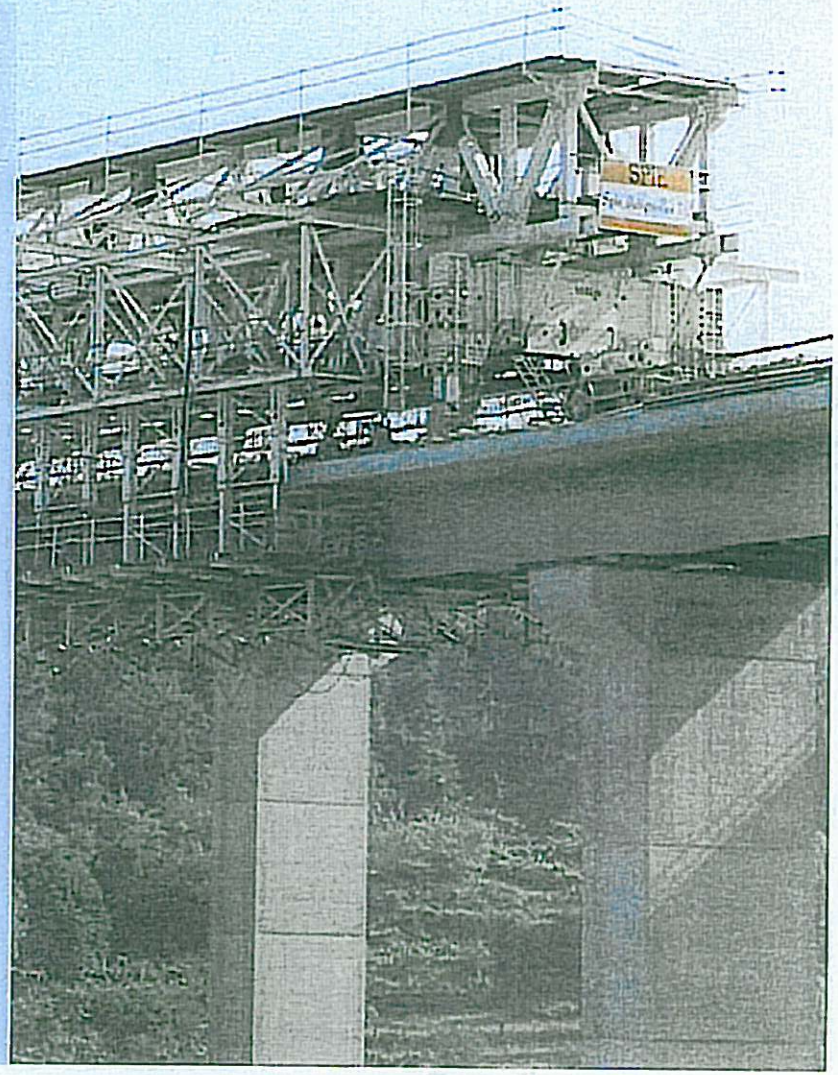

Outil ouvert pour translation après coulage : vue intérieure



Appui d'un cintre par au dessus sur la pile, à travers le tablier à construire.

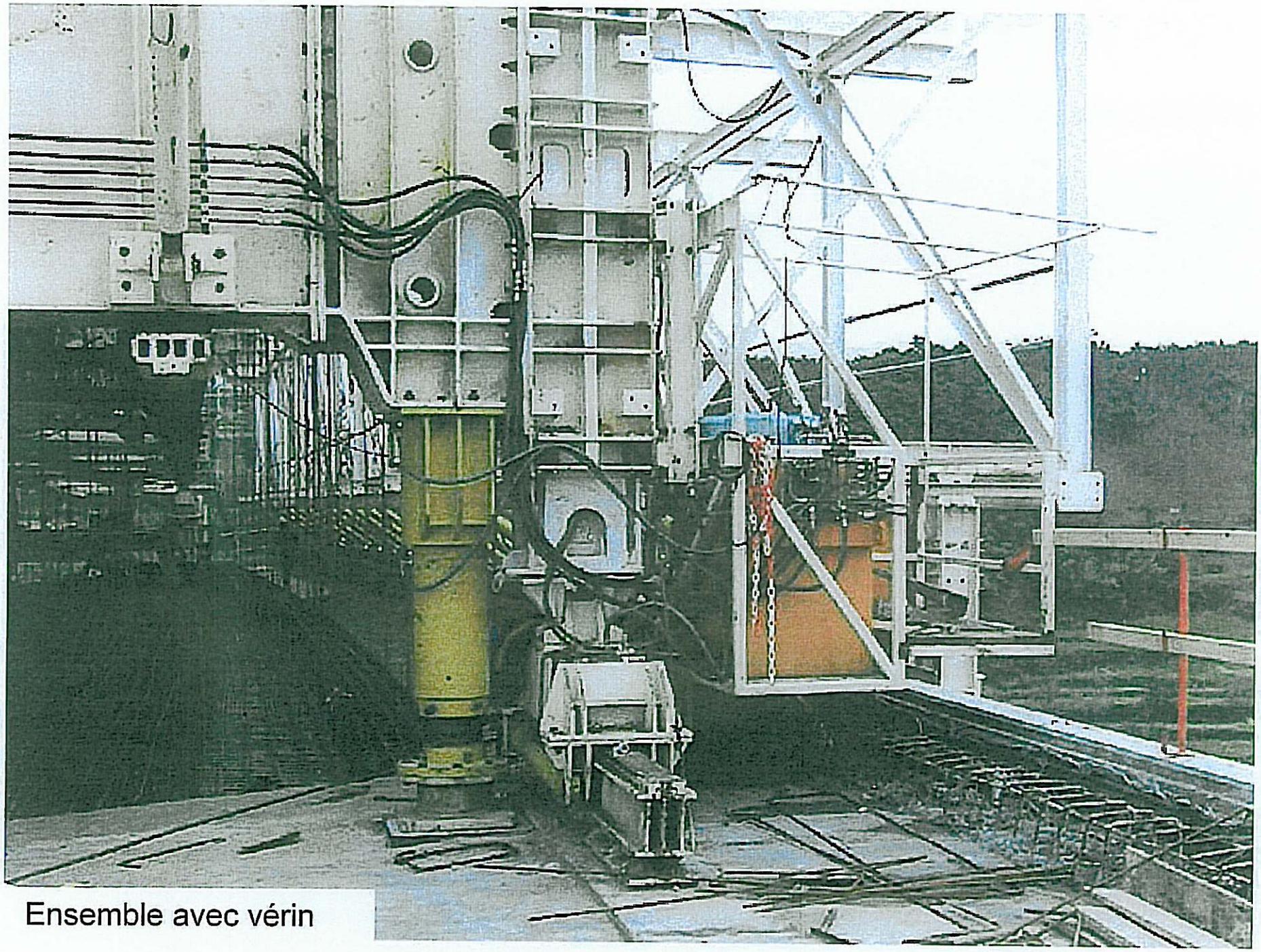
Passage au droit des piles





Poutres libérées pendant le transfert longitudinal

Système de roulement



Ensemble avec vérin

3 - Les cycles de fabrication

Un cintre auto-lanceur est un outil de construction onéreux : il doit porter de lourdes charges , être équipé de pièces complexes (système de lancement, d'accostage, de décoffrage, d'escamotage de certaines parties pour passer les appuis). On a donc intérêt à l'utiliser au maximum de sa capacité, et évidemment pour des ouvrages de longueur significative.

La notion d'étude du cycle est donc particulièrement importante. Les phases majeures sont les suivantes :

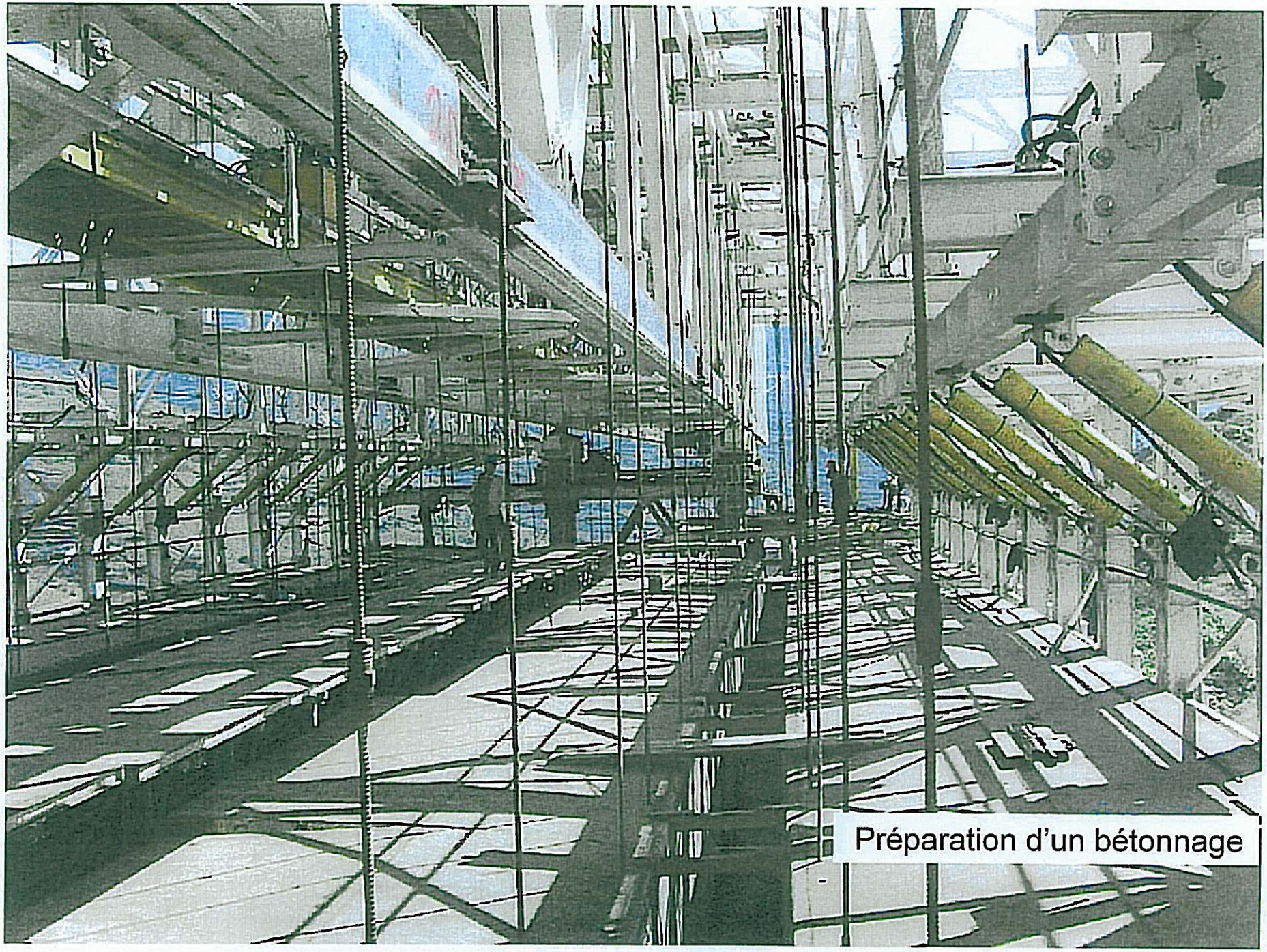
0 - fin de la construction de la travée
1 - mise en précontrainte et décoffrage de la travée, éventuellement progressifs
2 - mise en place des systèmes de roulement et de vérins de lançage
3 - escamotage des parties de platelage qui interceptent les piles
4 - lançage
5 - réglage géométrique du cintre en position n+1 (repliement des systèmes de roulement...)
6 - fixation du cintre dans cette position
7 - remise en place des coffrages extérieurs (parties escamotées, joues...) et réglage
8 - mise en place des cages d'armatures passives et des conduits de précontrainte, réglages
9 - avancée du coffrage intérieur (noyau) dans le cas des caissons et réglage
10 - bétonnage
11 - durcissement du béton. Eventuellement accéléré par étuvage
12 - mise en précontrainte de la travée n+1 et décoffrage, éventuellement progressifs
13 - finitions diverses

L'ensemble de ces phases a une durée variable en fonction de la longueur des travées, des volumes de béton à mettre en place, de la complexité de la structure (pont à nervures ou caisson) et évidemment de la sophistication du cintre auto-lanceur.

Le bétonnage est une phase particulièrement délicate, compte-tenu des quantités à mettre en œuvre (400 à 500 m^3) avec des conditions sensiblement plus difficiles que pour les ouvrages courants... On est, le plus souvent, amené à effectuer au moins cette opération en travail posté puisqu'elle peut durer plus d 'une vingtaine d'heures.

On peut s'attendre à des cycles de quinze jours - en travaillant à plusieurs postes par jour - à trois semaines, pour construire une travée.

Préparation de l'outil pour bétonnage d'une travée



Préparation d'un bétonnage

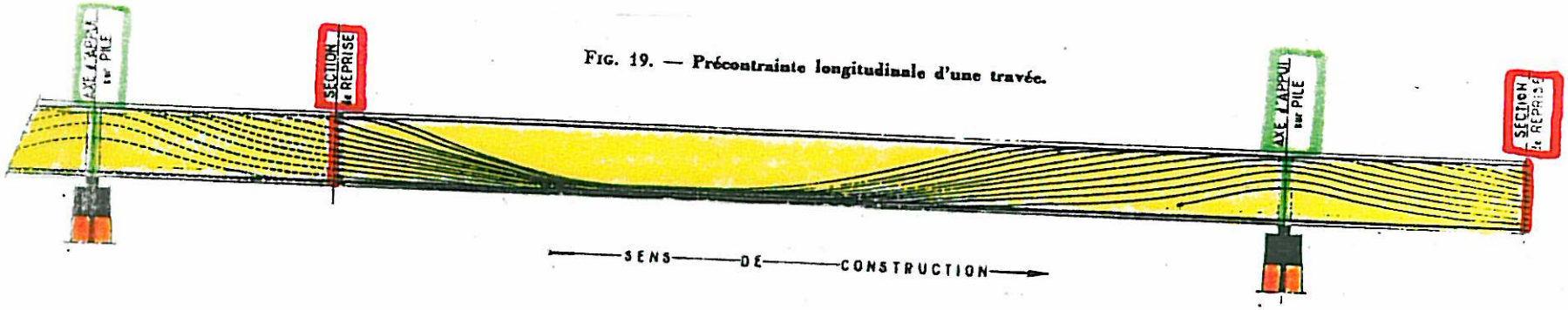
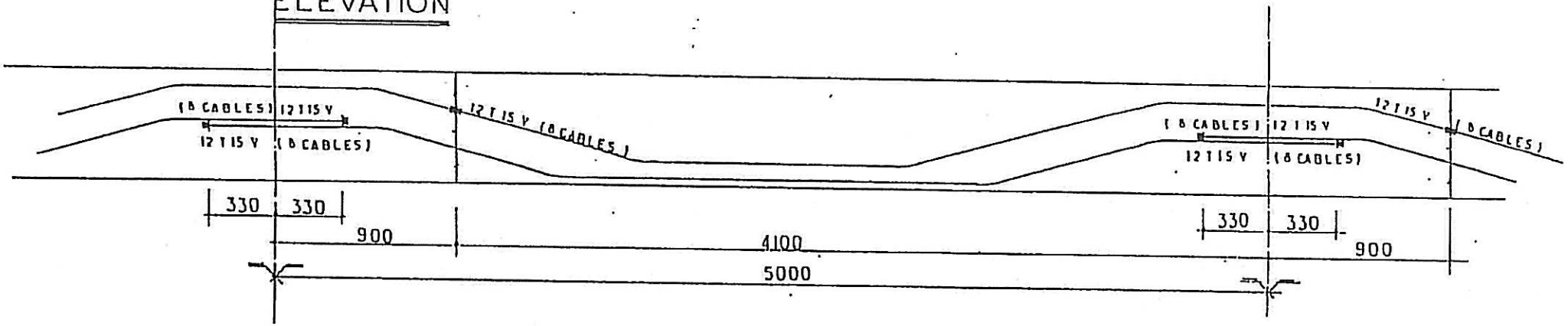


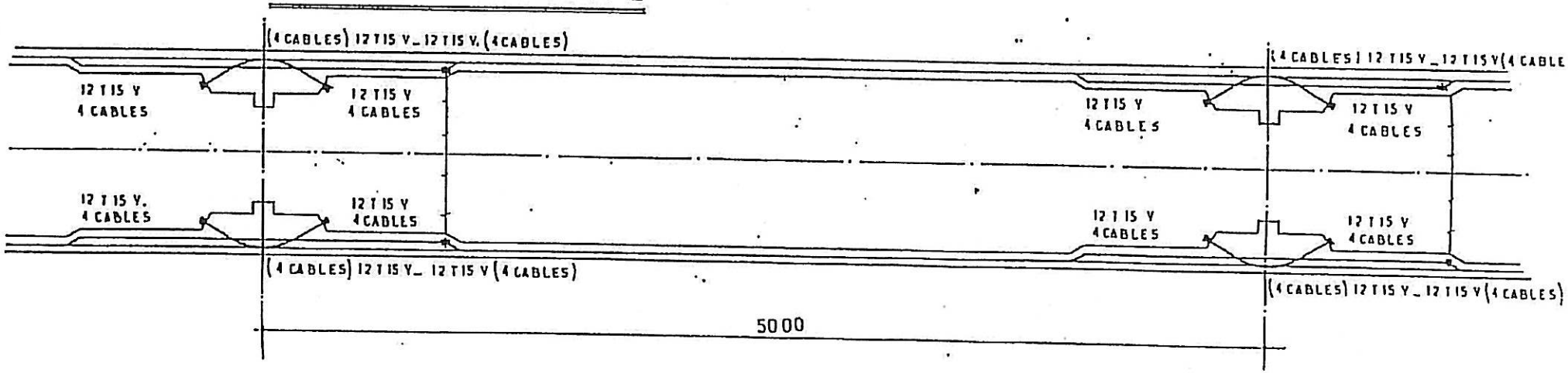
FIG. 19. — **Précontrainte longitudinale d'une travée.**

SCHEMA DE PRINCIPE DU CABLAGE

ELEVATION

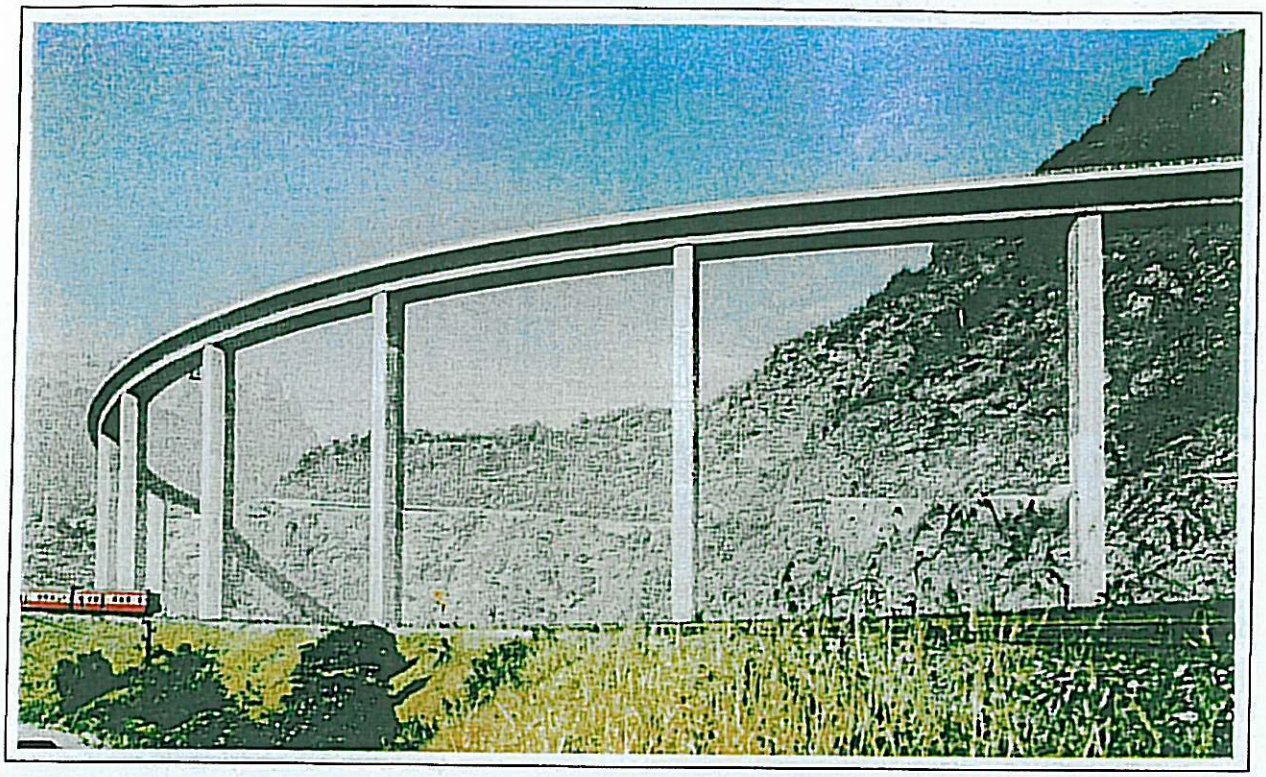


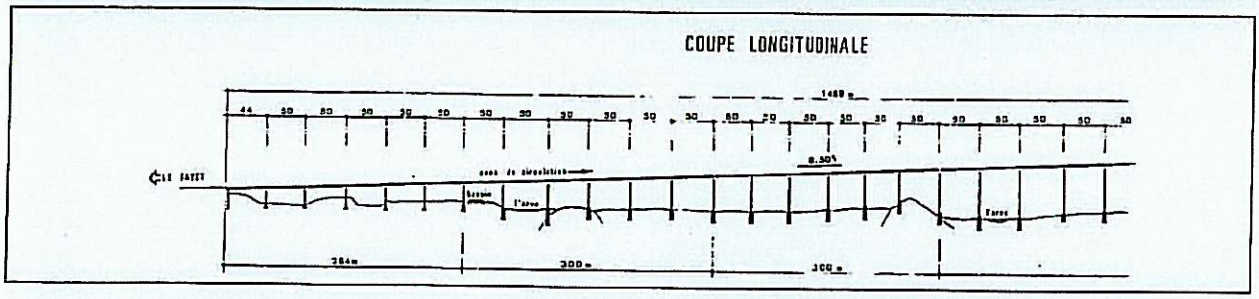
VUE EN PLAN_COUPE

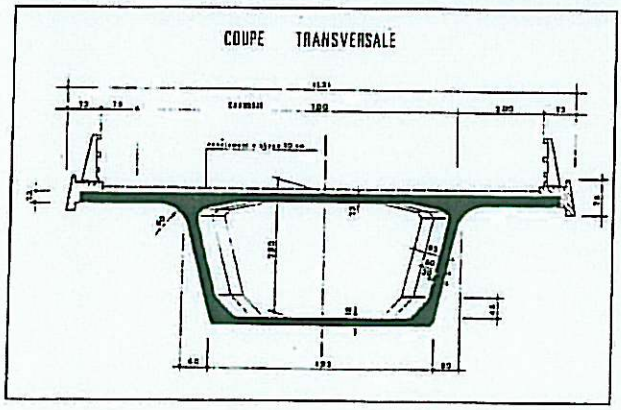


VIADUC DES EGRATZ (France)

EGRATZ VIADUCT (France)







CARACTÉRISTIQUES DE L'OUVRAGE

Longueur totale: 1 469 m.
Tablier 1: 6 travées (44, 49,3 ou 50 m).
Tablier 2: 6 travées (49,3 ou 50 m).
Tablier 3: 6 travées (49 ou 50 m).
Tablier 4: 12 travées (45, 46, 49 ou 50 m).
Tracé en plan: courbes à l'extrémité du tablier 3 et tablier 4.
Profil en long: rampe de 6,5 %.
Hauteur constante tablier: 2,80 m.
Hauteur maximum des piles: 68 m.

MAIN FEATURES

Total length: 1 469 m.
Deck 1: 6 spans (44, 49.3 or 50 m).
Deck 2: 6 spans (49.3 or 50 m).
Deck 3: 6 spans (49 or 50 m).
Deck 4: 12 spans (45, 46, 49 or 50 m).
Horizontal alignment: curves at the end of deck 3 and deck 4.
Longitudinal section: gradient of 6,5 %.
Constant height of the deck: 2.80 m.
Maximum height of the piers: 68 m.

RÉALISATION

Maître d'Ouvrage: Ministère des Transports.
Maître d'Œuvre: DDE Haute Savoie.
Etablissement du projet de base: DDE Haute Savoie.
Projet d'Exécution: GTMBTP.
Entreprise: GTMBTP.
Assistance Technique Maître d'Œuvre: CETE Lyon.
Laboratoire Régional d'Annecy.
Mise en Service: décembre 1981.

REALIZATION

Owner: Ministère des Transports.
Work consultant: DDE Haute Savoie.
Basic project: DDE Haute Savoie.
Execution project: GTMBTP.
Contractor: GTMBTP.
Technical advisor of the Consultant: Lyons CETE.
Laboratoire Régional d'Annecy.
Commissioning: December 1981.

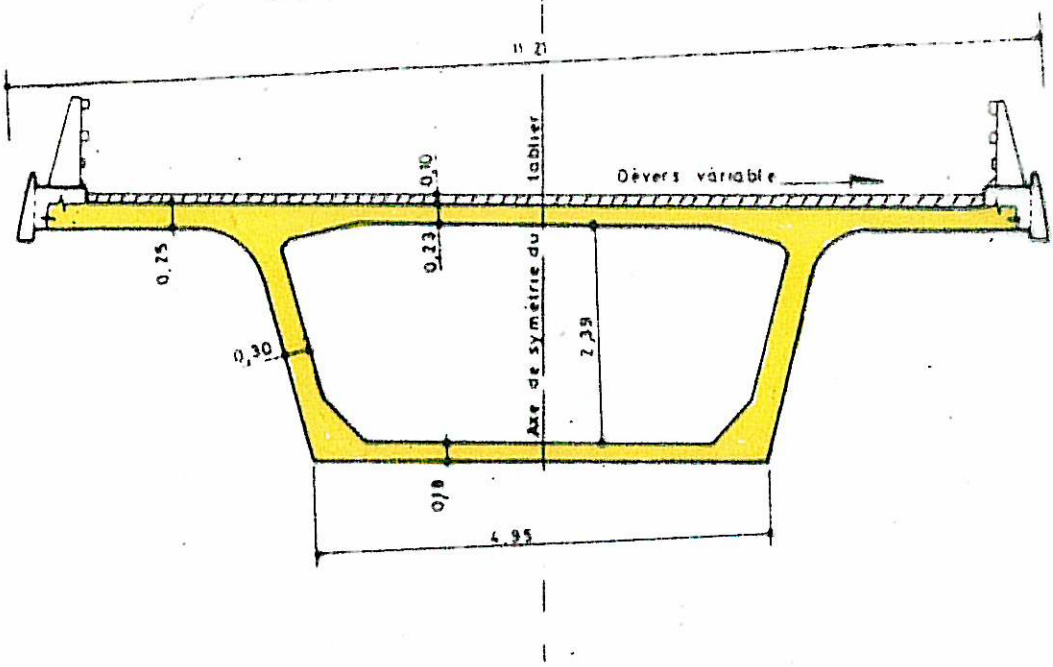
QUANTITÉS MISES EN OEUVRE

Béton par m² de tablier: 0,59 m³.
Aciers passifs par m³ de béton: 120 à 135 kg.
Aciers de précontrainte par m³ de béton: 34 kg.

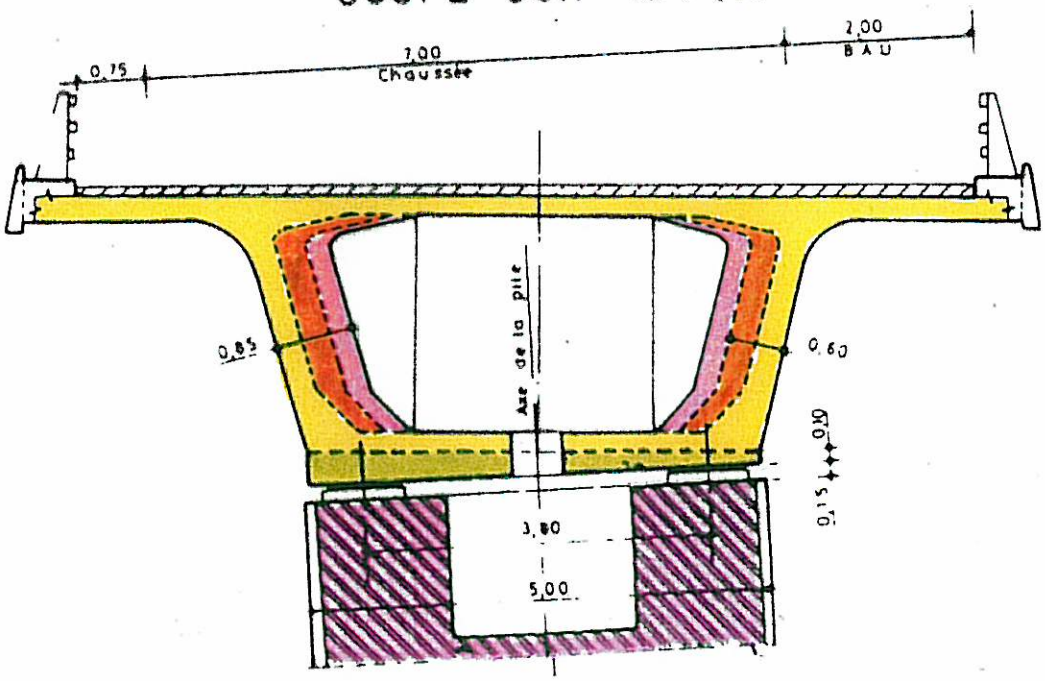
QUANTITIES

Concrete per m² of deck: 0.59 m³.
High tensile steel per m³ of concrete: 120 to 135 kg.
Prestressing steel per m³ of concrete: 34 kg.

COUPE EN TRAVEE

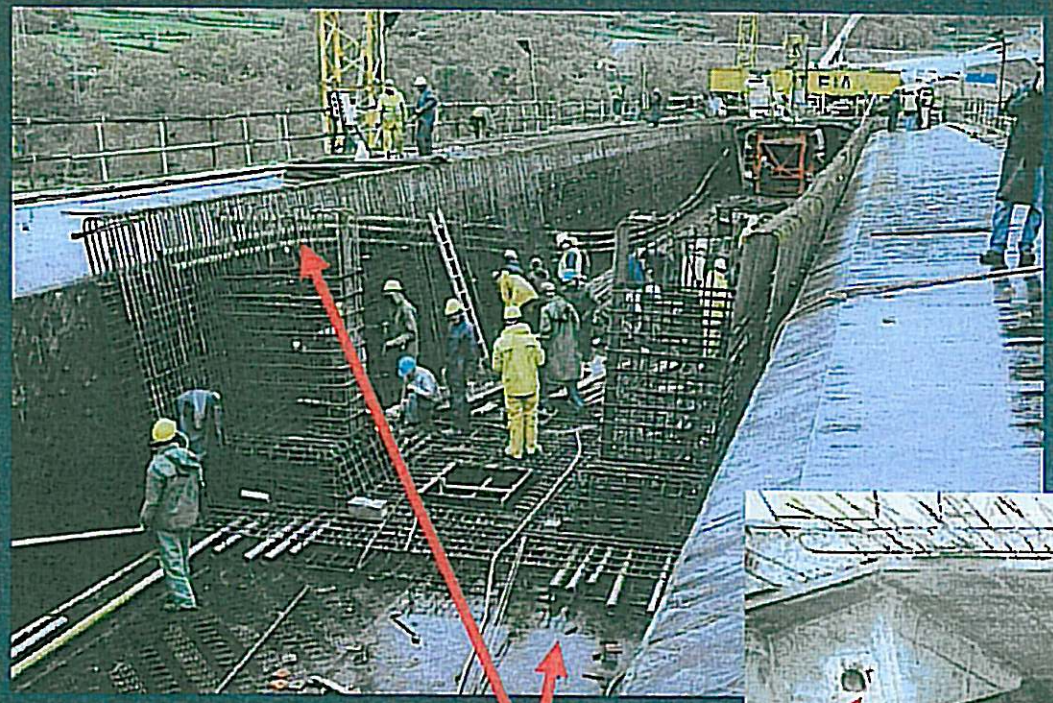


COUPE SUR APPUIS



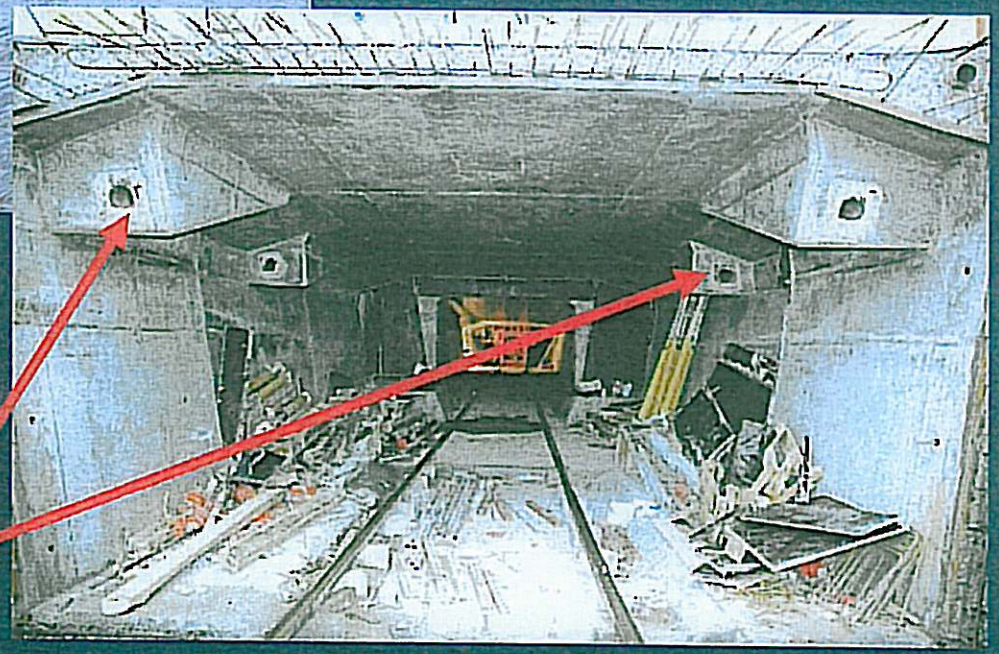
VIADUC DE VILA POUCA DE AGUIAR

TABLIERS DES ZONES D'ACCÈS



Intérieur du caisson

Vue depuis le porte à faux vers l'appui sur pile



Mise en place du ferraillage

Précontrainte

Câbles paraboliques de continuité
Câbles eclisses

Câbles de renforcement sur les zones d'appui

5 - PROBLEME DU CHOIX DU TYPE DE CINTRE AUTOLANCEUR : ETUDE COMPARATIVE

Il y a deux conceptions de cintre qui s'opposent fondamentalement : cintre "par-dessus" et "cintre par dessous". Cette diversité des types de cintre montre que le choix de la meilleure solution n'est pas évident. Nous allons présenter les avantages et les inconvénients que représente le choix de tel ou tel type de cintre :

a) Cintre "par dessous" : la poutre porteuse se trouve au même niveau ou sous les coffrages

1) Avantages :

- chantier aéré - la surface du tablier est totalement libre. Il n'y a aucune suspente qui encombre le plan de travail et accès facile aux engins de manutention pour l'approvisionnement des matériaux

- utilisation complète de la poutre maîtresse. Elle travaille aussi bien en flexion générale qu'en flexion locale et porte directement les coffrages.

- opération de lancement facilitée - pas de suspentes à relever.

2) Inconvénients :

- conditions de gabarit à respecter - ceci limite la hauteur de la structure porteuse et conduit à un surbaissement défavorable donc à une surconsommation de matériaux.

- mise en place de consoles provisoires encastrées en tête de piles. La poutre porteuse se trouve en général à l'extérieur des appuis extrêmes (en travée).

- impossibilité pratique de montage du cintre porteur dans le cas d'une forte courbure en plan. Le lancement paraît dans ce cas non envisageable.

- forme du tablier à étudier et imposée par la position du coffrage

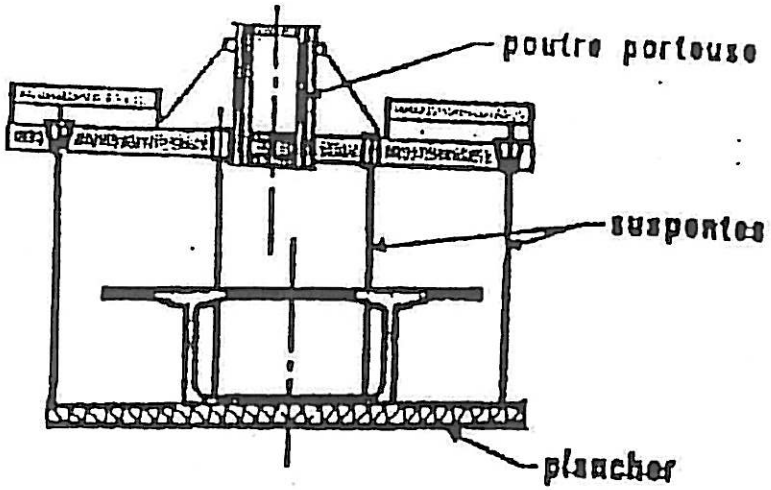


Schéma de principe d'un cintre par dessus.

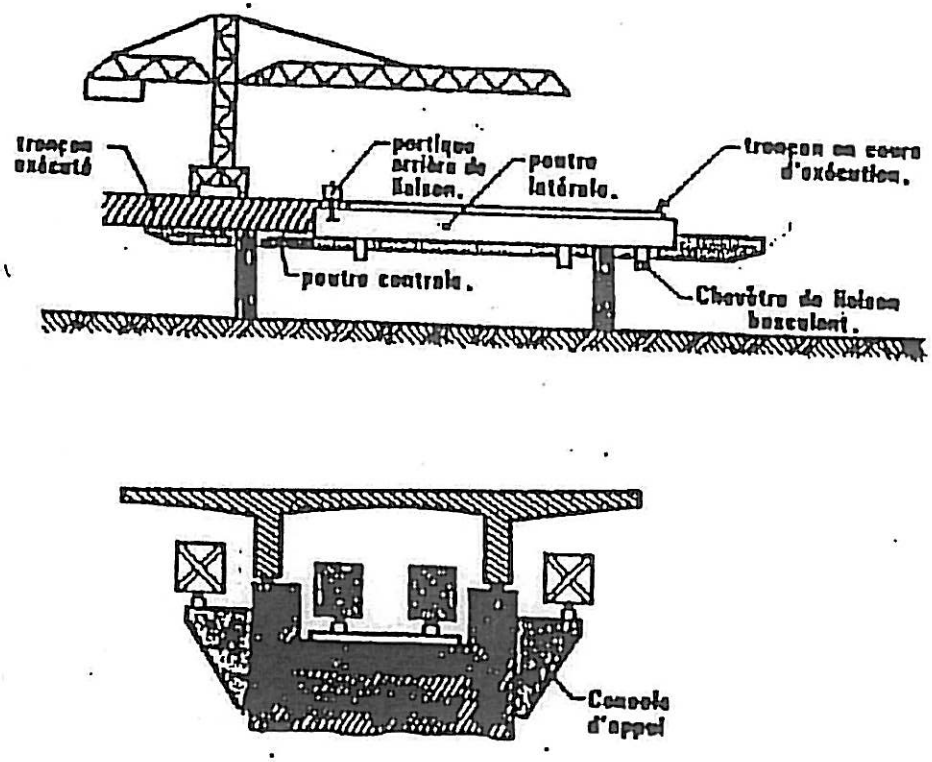


Schéma de principe d'un cintre par en dessous.

PONTS EN « Л »
CINTRE COURANT

b) Cintre "par-dessus" : la poutre porteuse se trouve au-dessus et porte le platelage par l'intermédiaire des suspentes.

1) Avantages

- aucun problème de gabarit - on peut donner à la structure porteuse la hauteur qu'on veut : ceci conduit à un surbaissement maximum d'où une économie de matériaux

- possibilité d'alimenter le chantier en utilisant les monorails qui roulent sur le cintre porteur

- les courbures sont facilement réalisables dans le cas d'ouvrages courbes

- les réactions d'appui du cintre sont facilement transmissibles directement aux piles - la poutre porteuse s'appuie directement sur les fûts

- pas de section de tablier imposée

2) Inconvénients :

- nécessité de suspendre les coffrages ; obligation de les relever lors du lancement - (travail supplémentaire)

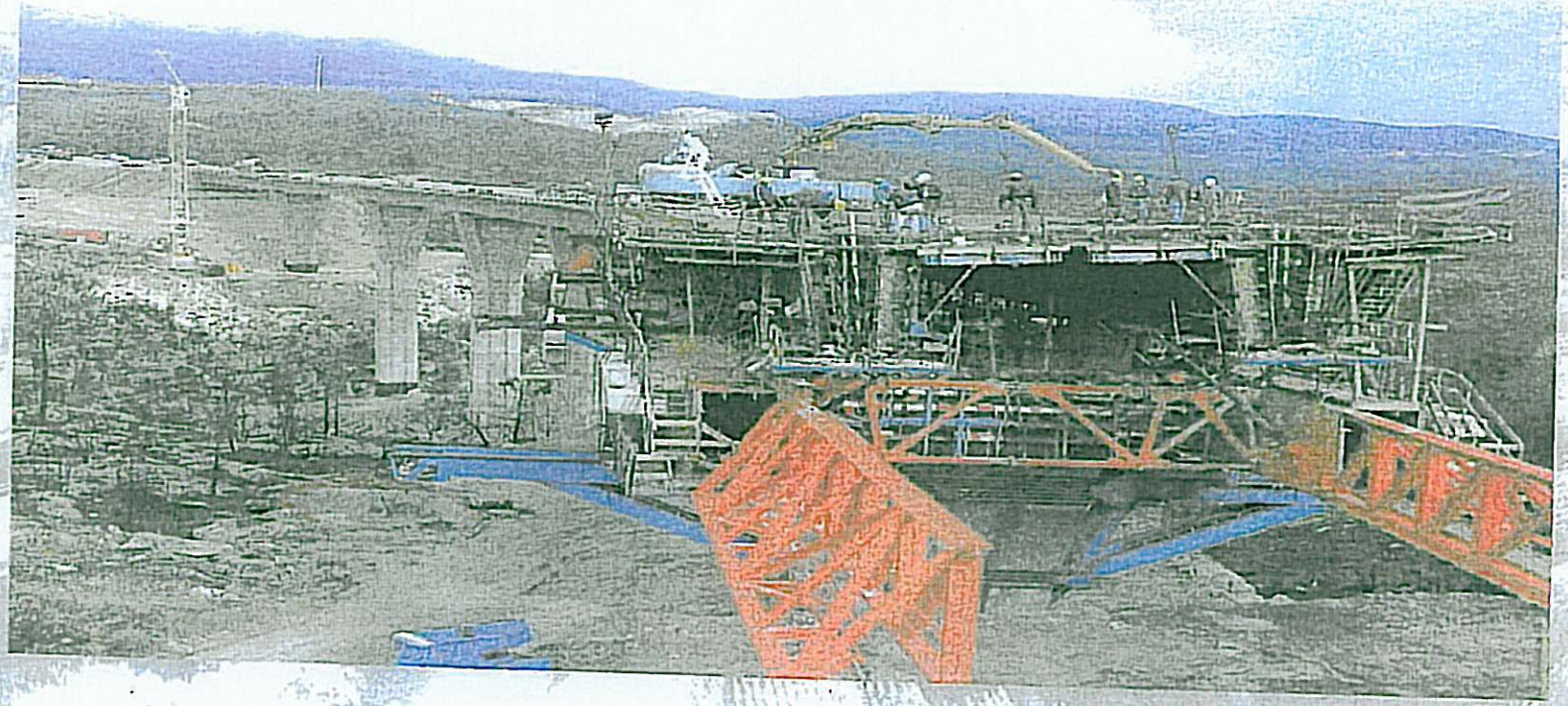
- l'ossature porteuse ne participe pas à la flexion générale du cintre dans la phase où il est le plus sollicité (bétonnage) d'où perte de matière.

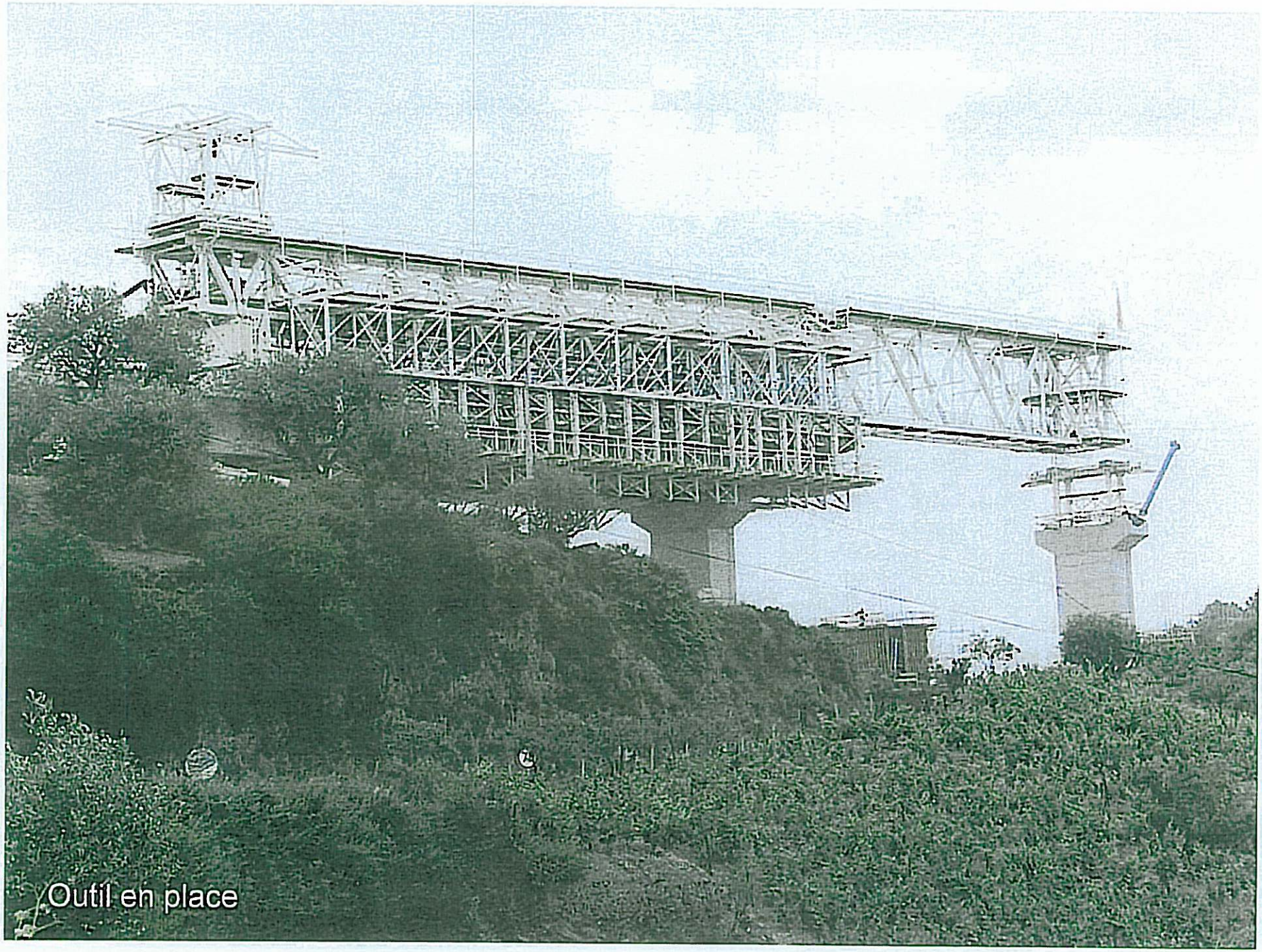
Les remarques ci-dessus, indiquant les avantages et les inconvénients de l'un ou l'autre type de cintre montrent donc que le choix est difficile à faire. Le choix doit résulter d'une étude économique tenant compte de différents facteurs : les conditions du projet, la politique d'investissement et d'amortissement, le matériel dont dispose l'Entreprise et le coût de la main d'œuvre.

Cintre inférieur:

- 1 viaduc réalisé soit
  4 000 m² de tablier
- Portées entre 30 et 46m

- Inserts sur piles pour le support du cintre
- Travées de rives réalisées sur étaiement




Outil en place

6 - AUTRES TYPES DE CINTRES MOBILES

Nous classons dans cette catégorie les ensembles qui n'ont à subir que des modifications légères entre deux utilisations successives. On distingue les cintres lançables par des moyens extérieurs (grues, bigues...) et les cintres auto-lanceurs décrits précédemment.

Ces cintres permettent le plus souvent la construction d'un tronçon de tablier de longueur égale à une travée, et sont utilisés pour des ouvrages construits par phases.

Cas de cintres lancables par moyens extérieurs

Ils sont constitués d'une poutre qui porte un platelage et des coffrages. Cette poutre repose sur les appuis de l'ouvrage, soit directement , soit par l'intermédiaire de dispositifs provisoires : palées, consoles...

Après bétonnage et mise en tension d'un nombre de câbles de précontrainte suffisant, on procède au décoffrage puis au décintrement, soit par mouvement des coffrages par rapport à la poutre porteuse, soit par mouvement de l'ensemble du cintre par rapport aux appuis. Il est à noter que l'élasticité du cintre peut conduire à un phasage progressif de la précontrainte et du décintrement.

L'ensemble du cintre est ensuite pris en charge par un moyen de manutention extérieur et amené en position pour la construction de la travée suivante.

7 - CINTRES DE POSE POUR OUVRAGES CONSTITUES DE VOUSSOIRS PREFABRIQUES

Dans les vingt dernières années, plusieurs grands ouvrages ont été construits à l'aide de voussoirs préfabriqués posés sur un cintre, puis assemblés par précontrainte. On peut citer les principaux types :

- Pont de Long Key : cintre par en-dessous déplacé d'une bigue flottante
- Pont de Seven Miles : cintre par en-dessous levé par treuillage à l'aide d'une poutre de lancement située au-dessus du tablier
- Ouvrages du Marta : cintre constitué de deux poutres latérales, déplacées à la grue
- Ouvrages du San Antonio Y : cintre constitué de deux poutres latérales, auto-lanceuses.

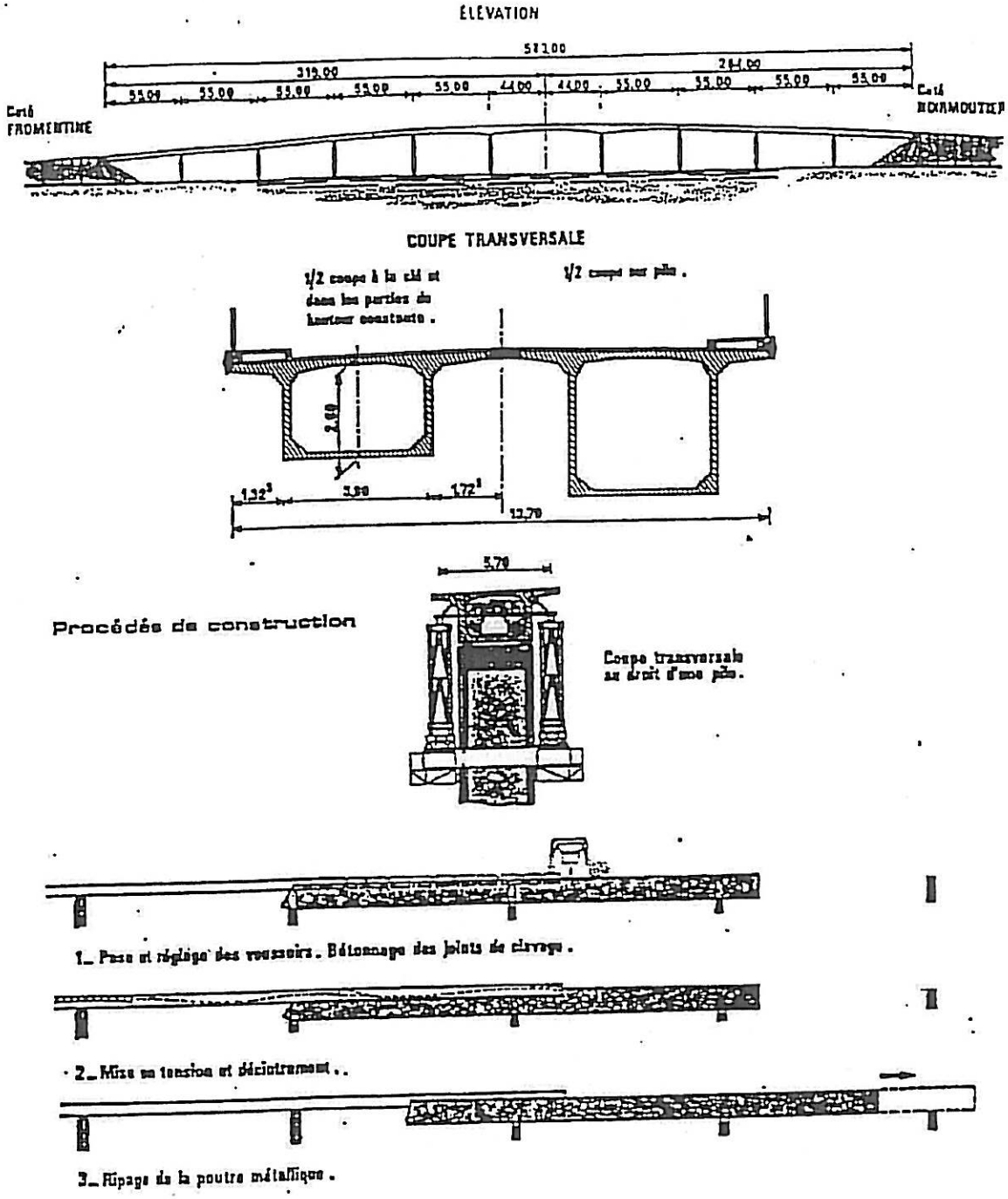
Les différents outils qui ont été conçus répondent évidemment au critères de site imposés au concepteur : ouvrages en mer, en zone rurale ou urbaine.

On évite évidemment tous les problèmes liés aux coffrages : parties escamotables, réglages, mise en place des cages. Par contre, on est confronté aux problèmes de réglage de la position des voussoirs et de serrage de ces derniers.

La méthode la plus fréquente est la mise en place des voussoirs à la grue. Ceux-ci sont posés sur des patins ripables transversalement et longitudinalement, équipés de vérins, qui permettent de reconstituer la géométrie de préfabrication, tout en compensant la déformation élastique du cintre.

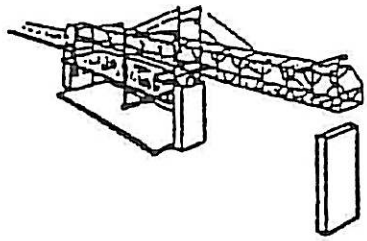
Les voussoirs, une fois réglés sont serrés les uns contre les autres en les déplaçant vers le voussoir sur pile de la travée qui vient d'être construite.

Selon que l'on a fait usage de colle ou non, un brélage provisoire a été mis en place pour assurer la compression de la colle au fur et à mesure du serrage des voussoirs.

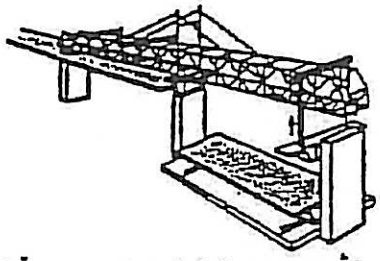


Coupes longitudinale et transversale du pont de Noirmoutier.

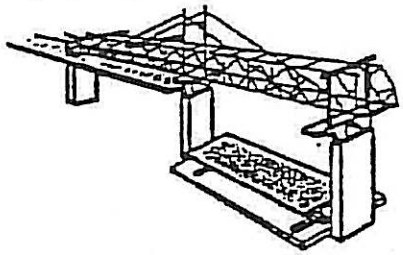
Coupe transversale faisant apparaître le cintre autolanceur sur lequel sont posés les voussoirs préfabriqués. Et schémas longitudinaux des phases de construction d'une travée courante.



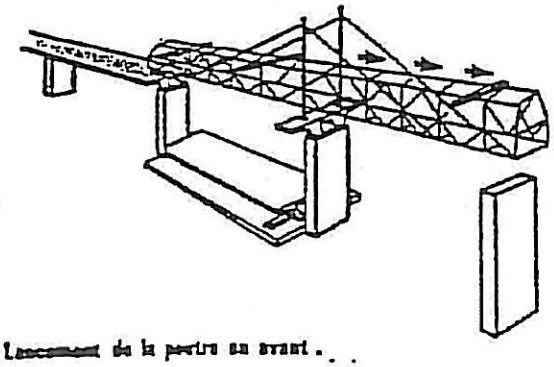
1_Lançage de la travée (n-1), le voussoir sur pile n étant déjà en place.



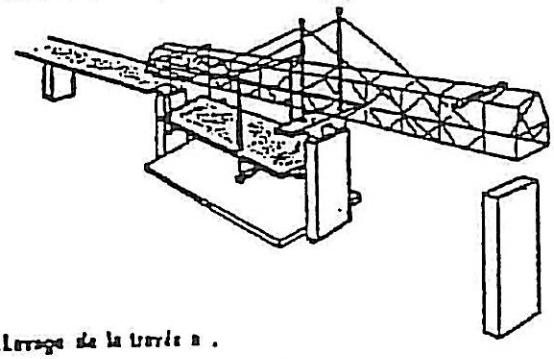
2_Mise en place de la barge portant la travée n préassemblée et le voussoir sur pile (n+1) _ Lançage du voussoir sur pile (n+1)



3_Pose du voussoir sur la pile (n+1).



4_Lancement de la poutre en avant.



5_Lançage de la travée n.

Phases de construction du viaduc de Seven Mile, à l'aide d'une poutre autolanceuse.

8 - CONCLUSIONS :

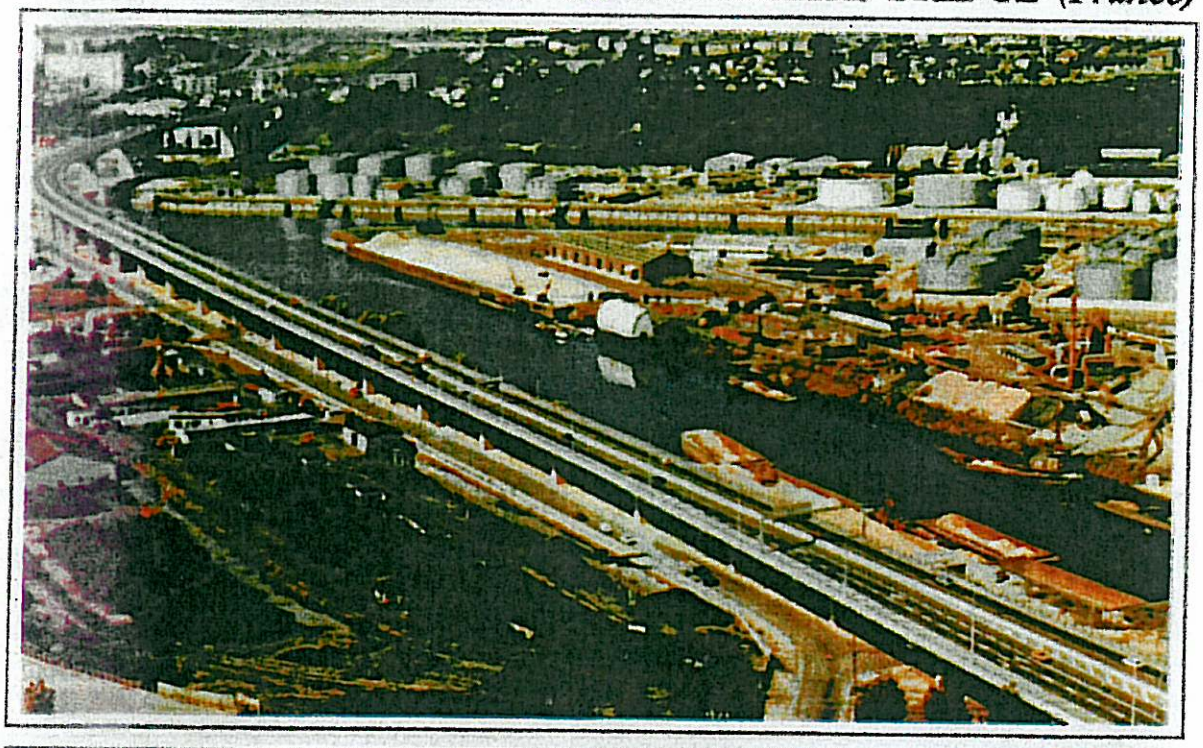
Intérêt et perspectives des ponts coulés sur cintre autolanceur

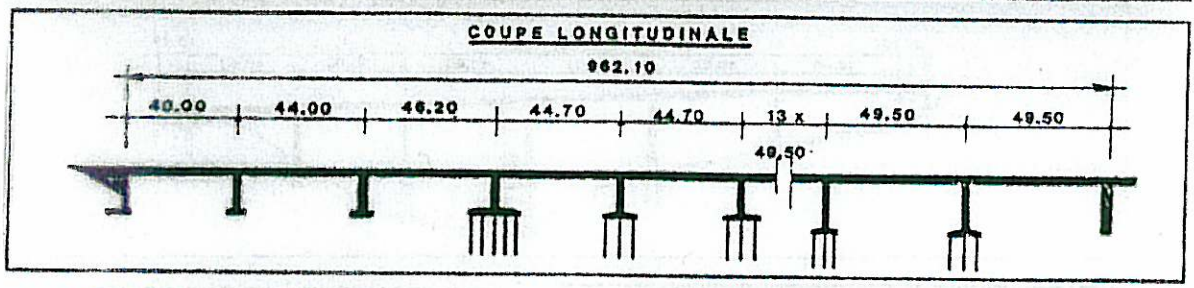
Depuis la fin des années 60 avec l'essor du béton précontraint, différentes techniques pour la réalisation de ponts se sont développées.

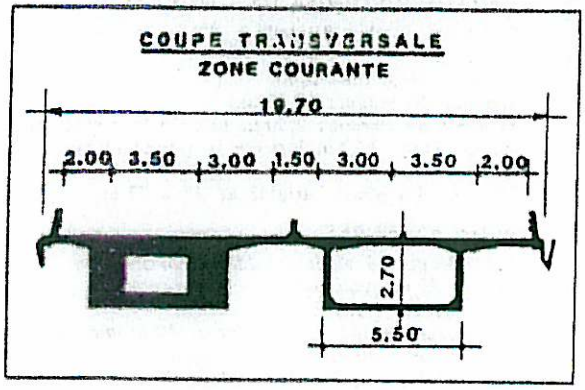
La plupart sont orientées vers la réalisation de vastes tronçons continus pour accroître le confort aux vitesses élevées et limiter l'entretien aux joints. Le procédé des ponts « coulés sur cintre autolanceurs » s'inscrit dans cette recherche et apporte une solution sûre et intéressante aux grands ouvrages à travées multiples dont les caractéristiques géométriques du tracé surtout en montagne peuvent être quelconques.

VIADUC D'ACCÈS AU PONT DE GENNEVILLIERS (France)

166 *ACCESS VIADUCT TO THE GENNEVILLIERS BRIDGE (France)* IV.3







CARACTÉRISTIQUES DE L'OUVRAGE

Longueur: 962,10 m.
Portées: 40 m, 44 m, 46,20 m, 2 × 44,70 m, 15 × 49,50 m.
Largeur du tablier: partie courante 19,55 m, partie élargie 27,75 m.
Hauteur du caisson: 2,70 m.

MAIN FEATURES

Length: 962.10 m.
Spans: 40 m, 44 m, 46.20 m, 2 × 44.70 m, 15 × 49.50 m.
Deck width: typical spans 19.55 m, widened spans 27.75 m.
Box-girder depth: 2.70 m.

QUANTITÉS MISES EN OEUVRE

Béton précontraint pour tablier et chevêtres: 13 800 m^3.
Béton pour semelles, piles et culées: 10 700 m^3.
Aciers passifs: 2 510 tonnes.
Aciers de précontrainte: 500 tonnes.

QUANTITIES

Prestressing concrete for deck and trimmers: 13 800 m^3.
Concrete for footings, piers and abutments: 10 700 m^3.
Reinforcement: 2 510 t.
Prestressing steel: 500 t.

RÉALISATION

Maître d'Ouvrage: Etat, Ministère de l'Equipement.
Maître d'OEuvre: Direction Départementale des Hauts-de-Seine.
Projet de base: SEEE.
Bureau de contrôle: SEEE.
Etudes d'exécution: Spie Batignolles.
Entreprise: CITRA-France.

REALIZATION

Owner: State, Ministère de l'Equipement.
Works consultant: Direction Départementale des Hauts-de-Seine.
Basic project: SEEE.
Control office: SEEE.
Design office: Spie Batignolles.
Contractor: CITRA-France.

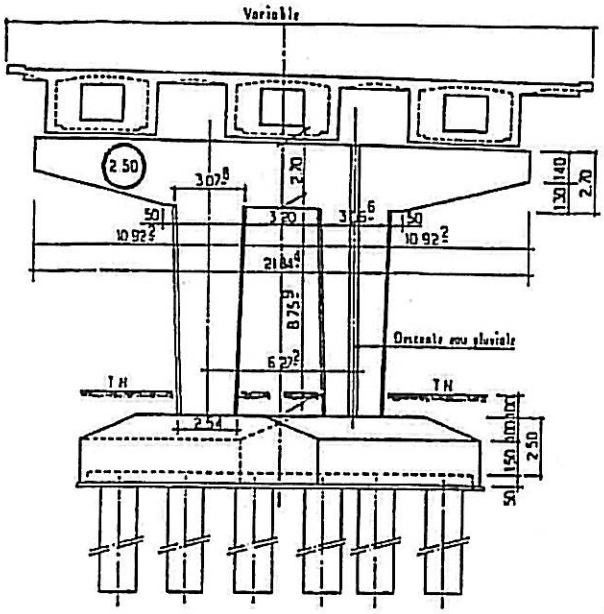
VIADUC DE LA DARSE

	1975	1991
Longueur totale	962 m	912 m
Portées	40+44+46.20+44.70+44.70+5x49.50 +5x49.50+5x49.50	26.40+44.70+15x49.50 +49.35+49.09
Portée maximale	49.50 m	49.50 m
Surface totale	22600 m²	16471 m²
1) Evolution de la section Transversale	2 voire 3 caissons paralleles	monocaisson à 2 âmes
caractéristiques principales (largeur	variable de 19.55 à 32.05 m	18.06 m
(hauteur	2.70 m	3.25 m
(épaisseur des âmes	variable de 0.30 à 0.60 m	0.50 m
(épaisseur moyenne	0.55 m	0.66 m
(longueur des voussoirs	coulage par travée entière	coulage par quart de travée (25 m)
(élancement sur pile	1/18.33e	1/15.23e
(élancement à la clé	1/18.33e	1/15.23e
- réduction du nonbre des âmes	2 x 2	2
- précontrainte verticale	non	au droit de la pile P18 seule
- précontrainte transversale du hourdis supérieur	non	non
2) Evolution de la résistance des bétons	B35	B45
3) Evolution des unités de précontrainte	unités 12T15 maxi (STUP) (classe II BR)	poussage : 12T15 S service : 19T15 S (procédé SEEE)
4) Utilisation de la précontrainte extérieure au béton	non	oui "câblage mixte"
5) Evolution des principes de câblage	câbles intérieurs au béton et plongeant dans les âmes	câbles de poussage intérieurs au béton et câbles de service extérieurs au béton
- possibilité de démonter et remplacer la précontrainte (pour changer les câbles)	non	oui
- gaines vides supplémentaires	non	oui
- précontrainte additionnelle	non (à l'origine)	oui

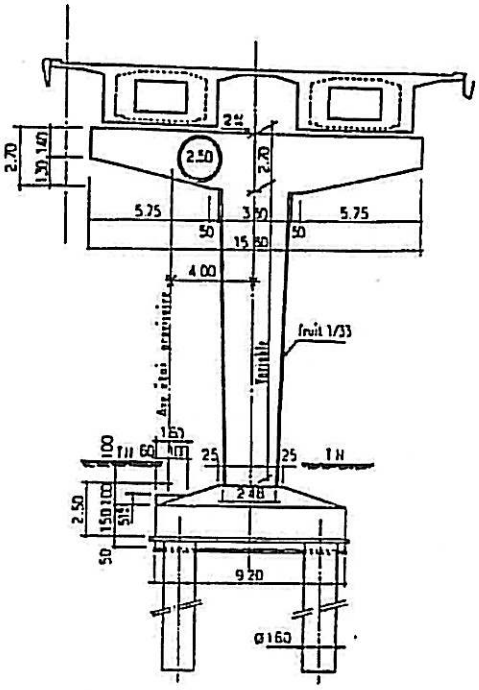
.../...

1975

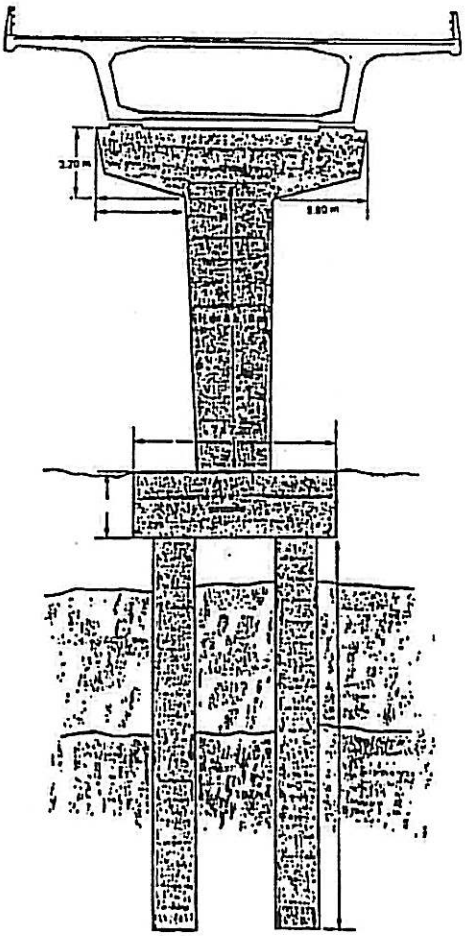
PILES
ZONE ELARGIE



PILES
ZONE COURANTE



VIADUC DE LA DARSE



1991

6) Evolution des méthodes de construction	cintre autolanceur (cycle hebdomadaire au bout de la 8ème travée 2 phases de coulage pour la section transversale)	poussage (+ travée d'extrémité sur cintre côté Argenteuil)
7) Evolution de la réglementation	IP1 + CCBA 68	BPEL 83 + BAEL 83
8) Evolution "architecturale" des ouvrages	très géométrique et très froide (piles marteaux + piles portiques)	voir croquis.
9) Evolution du matériel	cintre (l = 106 m (p = 406 t	avant-bec 32m (64t) + dispositif de poussage (culée et longrine de préfabrication)
10) Stabilité des fléaux en phase de construction	Sans objet	Sans objet
11) Superstructures	appareils d'appui en néopréne	appareils d'appui spéciaux à pot d'élastomére (1400t)
12) Joints de dilatation	4 tabliers indépendants de 250 m environ chacun	sur culées
13) Ratios du tablier		
épaisseur moyenne béton	0.55 m	0.66 m
aciers passifs	110 kg/m3	137 kg/m3 (Fe E500)
précontrainte longitudinale	29 kg/m3	36 kg/m3
précontrainte verticale	-	-
précontrainte transversale	-	-
14) Amélioration de la qualité des ouvrages	réparation pour gradient thermique + effets des coupleurs (câblage filant extérieur au béton)	oui
15) Durée des travaux	24 mois	26 mois

PONTS COULES EN PLACE A L'AVANCEMENT

OUVRAGES	Longueur totale	Portées	Largeur tablier	Section tablier	Hauteur piles	Poids béton à porter	CINTRE		
							Type	Poids total	Poids à la tonne de béton porté
Viaduc d'Orgemont Déviation R.N. 311 - Argenteuil.	VD = 408m VM = 430m	34m moy.	VD = 11,80 VM = 13,30	Caisson	15m moy.	VD = 17 t/m VM = 18 t/m	Cintre fixe [GP 28]	160 t	260 kg
Pont du Paradies Autoroute A. 77 près de Wuppertal (R.F.A.)	307m	39,50m	30,50m	Dalle nervurée sans entretoise	15 à 20m		Cintre fixe		
Pont de Welkers Aut. A. 23, vallée de la Fulda, 200 km N. Francfort (R.F.A.)	932m	32,50m	30,00m	Dalle nervurée sans entretoise	25m maxi	44 t/m	Cintre autolanceur « par-dessous »	670 t	470 kg
Viaducs de Roquebrune Aut. A. 53. Roquebrune-Menton - Frontière italienne.	Variables de 104m à 520m	40m ou 50m	2 × 10.00m	Caisson	78m maxi	40m = 12 t/m 50m = 13 t/m	Cintre autolanceur « par-dessus »	300 t	460 kg
Pont de Bremecke Autoroute A. 13 - Dortmund - Francfort (R.F.A.)	478m	45m	2 × 15.60m	Dalle nervurée sans entretoise	60m maxi	30 t/m	Cintre autolanceur « par-dessous »	500 t	370 kg
Viaduc de Saint-Geniès Aut. A. 9 - Orange-Nîmes	VM = 210m VD = 185m	37.50m maxi	VD = 11,50 VM = 14,50	Dalle nervurée sans entretoise	15m maxi	VM = 19 t/m VD = 17 t/m	Cintre autolanceur « par-dessous »	200 t	280 kg
Viaduc d'Incarville Autoroute A. 13	340m	43m	2 × 14.85m	Dalle nervurée entretoise sur appuis	10 à 15m	22 t/m	Cintre autolanceur « par-dessus »	250 t	260 kg
Viaducs de Martigues Autoroute A. 55 - Marseille-Fos.	2 × 260m + 2 × 315m	45m 50m 60m	19m maxi 16m 12m	Dalle nervurée sans entretoise	45m maxi	37 t/m 28 t/m 20 t/m	Cintre autolanceur « par-dessous »	650 t	390 kg

BIBLIOGRAPHIE SUR LES PONTS CONSTRUITS SUR CINTRE ET SUR CINTRE AUTOLANCEUR

1 M. VIRLOGEUX – Ouvrages construits sur cintre autolanceur
Introduction aux autres méthodes de construction. Les grands ouvrages en béton précontraint sous la direction de J. MATHIVAT et M. VIRLOGEUX.

2 G. CAUSSE – Méthodes d'exécution des ponts construits sur cintre. Les Procédés Généraux de Construction des Ponts – 24 au 26 octobre 1989 (ENPC).

3 P. KIRSCHNER – Cours de Construction des Ponts
Centre des Hautes Etudes de la Construction (CHEC). Paris

4 JP. MEROT – Ouvrages construits sur cintre autolanceur – Journées d'Etudes CEIFICI-AFPC 24 et 25 octobre 1979 – L'ingénieur constructeur ETP – Mai-Juin 1980 Pages 17-19.

5 J. DUHAU – Les viaducs de l'autoroute de Roquebrune à Menton et à la frontière italienne. Annales de l'I.T.B.T.P – Mai 1970.

6 Y. CAINE – Viaducs de Roquebrune à la frontière italienne (autoroute A53) – Problèmes d'exécution – Annales d e l'I.T.B.T.P – Juillet-Août 1970.

7 Les viaducs d'accès de Martigues – Annales de l'I.T.B.T.P – Septembre-Octobre 1973.

7.1 JC DROIN – Exposé général sur l'ouvrage – Pages 131-134.

7.2 R. PERZO et R. TOURAINE – Les viaducs d'accès – Conception, description et exécution des travaux – Pages 134-148.

7.3 JC.DROIN – Evocation de quelques problèmes soulevés par la réalisation des viaducs – Pages 148-154.

7.4 R. PERZO – Intérêt et perspectives de la technique d'exécution des ponts construits à l'avancement – Pages 154-165.