

# Tête de défense - caractéristiques essentielles

Autor(en): **Saqui de Sannes, J. de**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte**

Band (Jahr): **55 (1987)**

PDF erstellt am: **02.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-42774>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## Tête de Défense – Caractéristiques essentielles

Die wesentlichen Merkmale des Bauwerks "Tête de Défense"

Essential Characteristics of the Unusual Building "Tête de Défense"

**J. de SAQUI de SANNES**  
Ing. des Arts et Manufactures  
Bouygues  
Clamart, France



Jacques de SAQUI de SANNES, Né le 24 Novembre 1938, Ingénieur des Arts et Manufactures (École Centrale de Paris). Diplômé du Centre des Hautes Études de la Construction (CHEBAP). Directeur Technique Bâtiment pour l'Ile de France, Bouygues.

### RÉSUMÉ

L'article présente le "Cube", cet ouvrage exceptionnel construit à Paris dans le quartier de la Défense, donne une description de la structure, énumère les principaux problèmes rencontrés et les solutions choisies pour les résoudre.

### SUMMARY

This article on the "Cube", an unusual building constructed in the La Défense area of Paris, describes the structure, lists the numerous problems encountered in designing and erecting it and how they were solved.

### ZUSAMMENFASSUNG

Der Beitrag beschreibt den "Cube", ein ausserordentliches Bauwerk im Quartier "La Défense" in Paris. Es wird eine Beschreibung der strukturellen Ausbildung gegeben. Die wichtigsten angetroffenen Probleme und deren Lösung werden besprochen.



## 1 - PRESENTATION DU PROJET

La Grande Arche de la Défense s'inscrit dans l'axe historique de l'Arc de Triomphe de l'Etoile à celui du Carrousel en passant par les Champs Elysées et l'obélisque de la Concorde.

L'ouvrage en superstructure est un cube, ouvert sensiblement selon l'axe historique, composé de 2 parois verticales de bureaux appelées 'pattes' reliées entre elles dans la hauteur des niveaux inférieurs (0,1,2) d'une part, et dans la hauteur des niveaux supérieurs (34,35,36) d'autre part, par 2 constructions horizontales de grande portée appelées 'plateaux'.

### 1.2 DIMENSIONS PRINCIPALES

Les dimensions hors tout de l'ouvrage sont sensiblement 112 X 107 X 111 m d'où l'appellation courante de 'Cube' (dimensions au-dessus du niveau général de la dalle de la Défense, hors infrastructure).

La distance horizontale entre les 2 parois verticales 'pattes' est de 70 m et la distance verticale entre les structures horizontales des 'plateaux' est de 90 m. Pour l'anecdote, le vide intérieur correspondant permettrait de loger facilement Notre Dame de Paris!

L'épaisseur des 'pattes' est de 18,50 m. La hauteur du plateau inférieur est de 9 m, celle du plateau supérieur est de 10 m.

Chaque 'patte' comprend 37 niveaux (RC à 36) de 2,80 m de hauteur de dessus de plancher à dessus de plancher plus 4 étages techniques de 1,40 m de hauteur.

Chaque 'plateau' comprend un vide technique d'environ 2 m de hauteur, un niveau 'noble' de grande hauteur (5 à 6 m) localement recoupé par des mezzanines.

L'ouvrage ne comporte aucun joint de dilatation en superstructure.

Quatre ascenseurs extérieurs, circulant le long d'une charpente métallique, relient les 'plateaux' inférieur et supérieur.

Enfin, une structure légère, les 'nuages', vient couvrir partiellement le 'plateau' inférieur. Cette structure initialement prévue portée, sera finalement suspendue aux 'pattes' et au 'plateau' supérieur.

### 1.3 INFRASTRUCTURE ET OUVRAGES EXISTANTS

L'infrastructure composée de 5 sous-sols est totalement indépendante de la superstructure au point de vue structurel.

L'infrastructure sous 'pattes' du projet initial ne comportait que 3 sous-sols mais fut approfondie à la demande du Maître d'Ouvrage.

Le niveau le plus haut de cette infrastructure est constitué par un plancher de grande portée supportant un jardin d'acclimatation.

Les sous-sols sont traversés, d'une part, par une voie SNCF existante (voie de la Folie) sensiblement dans le sens Nord-Sud, d'autre part, par les 2 voies à construire, de l'autoroute A 14 dans le sens Est-Ouest.

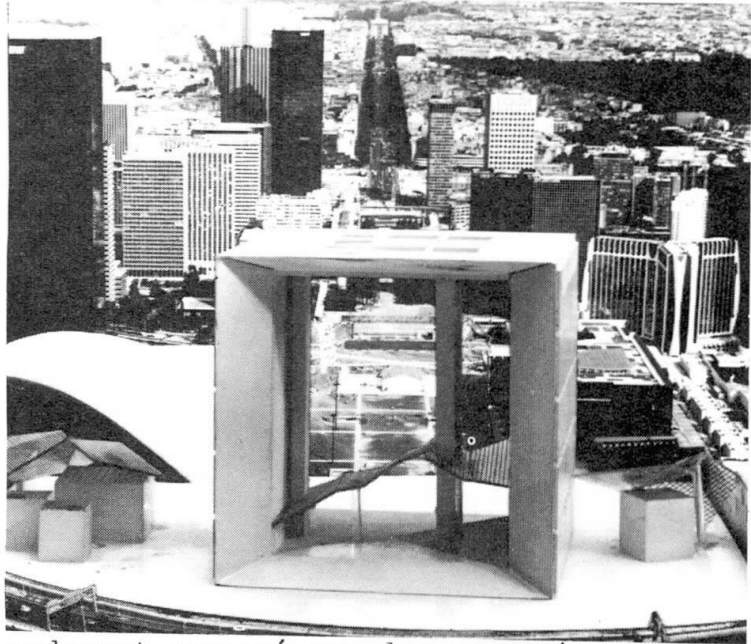
Enfin, 3 voies du RER existantes passent d'Est en Ouest à quelques mètres sous l'ouvrage.

### 1.4 FONDATIONS

Comme nous l'avons dit plus haut, la superstructure est indépendante de l'infrastructure. Elle est appuyée sur 12 piles elliptiques (8 centrales de 28 m<sup>2</sup> environ et 4 d'angle de 19 m<sup>2</sup> environ de section) en béton armé reposant directement sur le banc calcaire par un empattement ramenant le taux de contrainte au sol à 30 b maximum.

La hauteur des piles entre leur niveau d'assise et le niveau d'appui du 'Cube' sur les chapiteaux qui constituent leurs extrémités supérieures, est de 30 m.

Le reste de l'infrastructure est fondé sur des semelles isolées ou filantes ou sur puits sur les Marnes et Caillasses.



## 1.4 DELAIS

Les délais d'exécution étaient extrêmement courts, compte-tenu d'une infrastructure compliquée qui fut soumise à d'importantes modifications de programme et d'une superstructure, certes répétitives, mais pénalisée par des contraintes techniques inhabituelles que ce soient en ce qui concerne les densités d'armatures aussi bien que les procédés de construction et qui fut, elle aussi, soumise à d'importantes modifications.

Le délai prévu et réalisé pour l'exécution d'un étage courant des 'pattes' soient 3200 m<sup>2</sup> est de 4 jours ouvrables.

## 2 - DESCRIPTION DE LA STRUCTURE

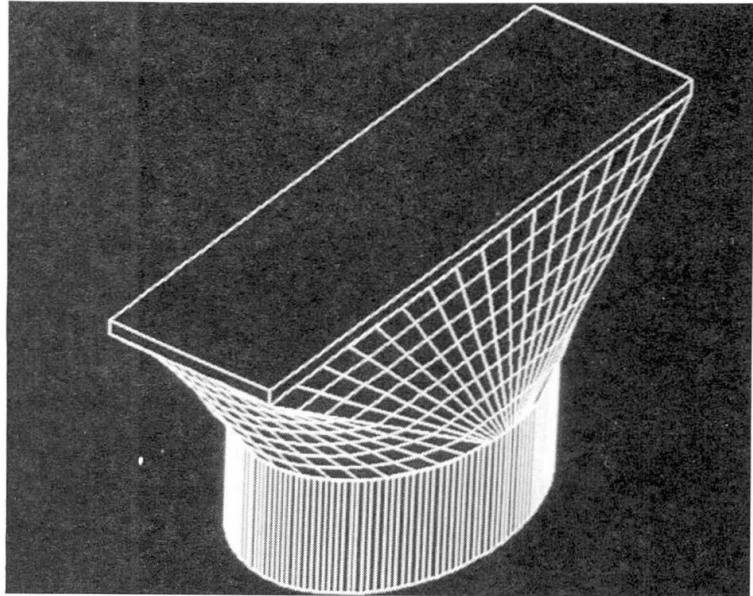
### 2.1 PILES ET CHAPITEAUX

Chacun des 12 appuis du 'Cube' comprend :

- \* un empattement d'appui sur le calcaire (côte 34 NGF)
- \* un fût de section rectangulaire dans sa partie enterrée et elliptique dans sa partie en élévation
- \* un chapiteau, destiné à recevoir les appuis, limité par une surface réglée s'appuyant en partie basse, sur l'ellipse du fût et en haut, sur un rectangle.

Il est prévu un dispositif pour changer les appuis.

Ces piles, qui ont un effet architectural certain, ont été été visibles avant la construction de l'infrastructure et ne le seront évidemment pas dans l'ouvrage terminé.



Dimensions pour la pile courante:

Empattement d'assise: rectangle 12 m x 9 m x 5 m de haut

Fût enterré: rectangle 7,7 m x 5,7 m x 10 m de haut

Fût en élévation: ellipse: 7 m x 5 m x 10 m de haut

Chapiteau: rectangle supérieur 12 m x 3,5 m hauteur 4 m

Appareils d'appui: 4 x 13 = 52 unités 700x700 6(12+3)

### 2.2 PATTES

Ce sont les 2 bâtiments de bureaux qui portent le 'plateau' supérieur. Chaque 'patte' comprend les ouvrages principaux suivants :

- \* Mégastructures verticales qui sont les porteurs principaux
- \* Mégastructures techniques )
- \* Façades ) qui constituent le contreventement
- \* Voiles intérieurs ) longitudinal
- \* Planchers et gaines intérieures )

#### 2.21 Mégastructures verticales et pignons

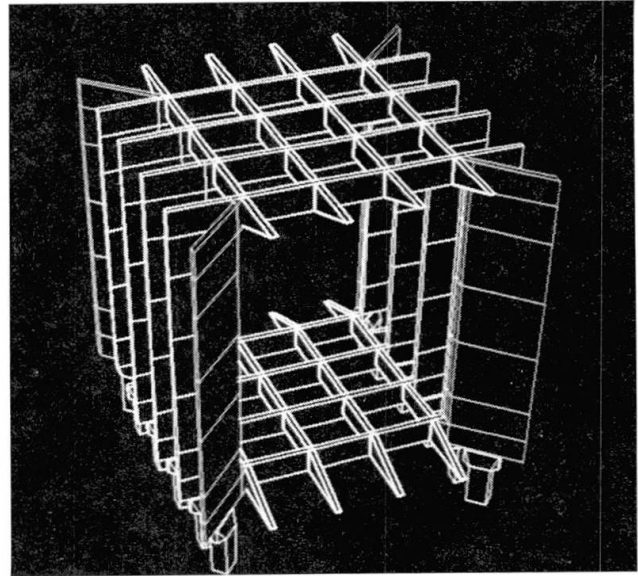
Les mégastructures verticales sont les 8 éléments (4 par 'pattes') verticaux qui liaisonnent les poutres des plateaux inférieurs et supérieurs et constituent les éléments verticaux des 4 cadres qui sont l'ossature du 'Cube'. Ce sont des voiles de 1,50 à 2,20m d'épaisseur dans lesquels se trouvent intégrées les gaines techniques verticales (de 90 cm de largeur). Ces mégastructures sont en fait divisées en 3 piédroits liés par des linteaux à chaque étage de façon à permettre la circulation horizontale dans le bâtiment. Les parties délicates, car extrêmement sollicitées et soumises aux impératifs conjugués de cablage et de réservations, sont les noeuds de raccordement des poutres horizontales des plateaux et de ces méga-verticales. La taille de ces noeuds est de 18 m de largeur, 9 m de hauteur et 2 m d'épaisseur moyenne.

Les pignons sont inclinés à 45° sur l'axe longitudinal du bâtiment. Ils reposent sur les 4 piles d'angle. Ce sont des voiles pleins de 0,50 m d'épaisseur avec un épaississement à 2 m sur les 3 premiers niveaux au-dessus des piles. Ces pignons ne portent pas directement les poutres du plateau supérieur mais du fait de leur liaison avec les mégastructures verticales par les éléments longitudinaux, peuvent voir leurs charges fortement majorées par des transferts de plusieurs milliers de tonnes.



## 2.22 Mégastructures techniques

Ce sont des poutres horizontales longitudinales aux niveaux 7 - 14 - 21 - 28 qui assurent une partie des liaisons longitudinales. Situées au droit de chaque façade et des 2 voiles intérieurs longitudinaux, ces poutres hautes de 1,58 m, larges de 0,35 à 1,00 m, ont aussi pour rôle de reporter sur les mégastructures verticales les charges de 7 étages de façades ou de voiles intérieurs. Un joint diapason horizontal de mégastructure à mégastructure existe sous chacun des étages techniques au droit des façades et voiles intérieurs.



Cette disposition permet une mise en charge progressive des mégas verticales et évite que des charges considérables

ne se retrouvent au pied des résilles de façades ou des voiles intérieurs. Ces poutres sont précontraintes longitudinalement.

## 2.23 Façades

Elles sont constituées par une résille en béton armé de 0,35 m d'épaisseur (exceptionnellement 0,25 m d'épaisseur dans la hauteur des convecteurs), qui sera habillée par des panneaux carrés de menuiseries de 2,80 m de côté. Ces panneaux sont fixés aux 4 angles par des pièces spéciales pré-réglées dans le béton de la résille. Cette résille constitue des ensembles de 21 m par 21 m entre 2 mégas verticales et 2 mégas techniques, très rigides et qui assurent une partie du contreventement longitudinal. Aux niveaux bas et haut, les façades sont constituées d'un voile plein sur 1 niveau (3,00m) côté extérieur et sur 3 niveaux (10 m) côté intérieur. Ces voiles qui sont précontraints renforcent la liaison entre les pignons et mégastructures verticales, et participent à la répartition des charges entre ces éléments.

## 2.24 Voiles intérieurs

Ces sont les murs séparatifs longitudinaux entre la travée centrale de chaque 'patte' comprenant les circulations verticales, les sanitaires et locaux techniques, et les 2 zones latérales de circulations horizontales et bureaux. Leur épaisseur est de 0,18 m. Ils sont percés de nombreuses baies (circulations et réservations) qui en atténuent fortement la rigidité (les linteaux n'ont que 0,60 m de hauteur). Ils participent également au contreventement longitudinal.

## 2.25 Planchers et gaines intérieures

Pour améliorer les délais, les planchers sont constitués de dalle béton de 12 cm d'épaisseur, précontraintes (sauf les petites portées) sur lesquels est coulée une chape ciment collaborante de 6 cm d'épaisseur. Les gaines intérieures, que ce soient les gaines d'escaliers ou les gaines techniques situées hors des mégastructures, sont également préfabriquées, en béton armé ainsi que certains petits voiles transversaux.

## 2.3 PLATEAUX

La structure principale des plateaux est constituée de 4 poutres principales (mégastructures horizontales principales) espacées de 21 m et de 4 poutres secondaires (mégastructure horizontales secondaires) espacées également de 21 m se terminant à leurs 2 extrémités par des consoles de 21 m de portée. L'ensemble de cette structure est précontraint. Les unités utilisées sont des unités de 19T15 et 7T15.

## 2.31 Mégastructures horizontales principales

Ce sont des poutres en I de 70 m de portée entre murs de façades des pattes. Leur hauteur est de 8,4 m en 'plateau' inférieur et de 9,5 m en



'plateau' supérieur. Leur épaisseur est de 1 m. Ces poutres sont percées sur leur longueur de 2 baies de 6,00 de large par 4 m de haut et 4 de 2,80 x 4,00. Les forces de précontrainte sont de 12.000 t pour les poutres de rive et de 9.000 t pour les poutres centrales.

### 2.32 Mégastructures horizontales secondaires

Ce sont des poutres rectangulaires qui entretoisent les poutres principales et supportent les parties en porte à faux des plateaux (21 m de porte à faux). Ces poutres sont constituées entre 2 mégas principales d'une membrure inférieure et d'une membrure supérieure reliées par un montant vertical à mi-portée. Elles comportent 2 âmes de 0,30 m d'épaisseur séparées par un vide technique de 1,10 m en plateau inférieur et une âme pleine de 1,10 en plateau supérieur. Les forces de précontrainte dans ces poutres secondaires et leurs consoles, sont de 3.000 t environ.

### 2.33 Planchers entre mégastructures

Les niveaux bas des plateaux sont constitués d'un plancher double dont le vide forme étage technique. Ce plancher double comporte 2 dalles en béton armé de 10 et 12 cm d'épaisseur portées par des poutres 'tertiaires' en béton armé, espacées de 2,80 m. Ces poutres ont 2,10 m de hauteur de la dalle inférieure à la dalle supérieure, 20 cm d'épaisseur et portent sur environ 20 m d'une poutre principale à l'autre.

Les niveaux hauts sont constitués de planchers à nervures croisées en béton armé d'une hauteur variant de 80 à 95 cm suivant les trames. Ces planchers portent dans un sens sur les poutres principales et dans l'autre sur les poutres secondaires.

## 3 - PROBLEMES RENCONTRES ET SOLUTIONS CHOISIES

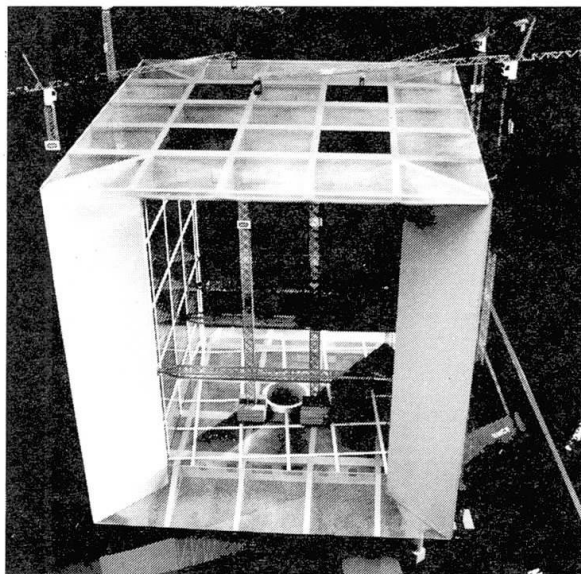
### 3.1 STABILITE EN PHASES PROVISOIRES DE CONSTRUCTION

Ce problème essentiel résulte du fait que l'ouvrage n'est stable que lorsque le cadre est fermé c'est-à-dire lorsque le plateau supérieur est réalisé. En effet, les poutres du plateau inférieur ont besoin d'un encastrement important pour supporter les charges gravitaires, encastrement qui ne peut être acquis du seul fait des piles. De plus à ces efforts gravitaires, s'ajoutent les effets du vent transversal sur un IGH dont la façade peut être encore partiellement ouverte.

A partir de là, 2 solutions ont été envisagées :

\* La première était de maintenir un étaielement sous les mégapoutres principales du plateau inférieur jusqu'à l'exécution des mégapoutres principales du plateau supérieur, de façon à augmenter la raideur d'ensemble et à les soulager d'une grande partie des charges gravitaires.

\* La deuxième était de maintenir l'écartement des 'pattes' par un butonnage qui reconstitue un cadre provisoire en attendant le cadre définitif.



C'est finalement la deuxième solution (butons) qui fut choisie pour les raisons principales suivantes :

- moindre sensibilité aux effets possibles de tassements différentiels
- suppression de l'inconvénient très important pour le planning général TCE, de la présence dans l'infrastructure d'étaielements capables de supporter plusieurs milliers de tonnes par appui.
- suppression de l'obligation de définir très tôt les passages de ces étaielements dont certains devaient rester incorporer à l'ouvrage.

Par contre cette solution avait quelques inconvénients importants :



- nécessité de 4 butons d'une force unitaire de 2 000 t, d'une longueur de 70 m, pesant chacune environ 90 t.
- gêne importante dans l'espace aérien de travail des grues et ensuite décalage de la pose de certaines trames de façade intérieure.
- création de contraintes supplémentaires entre l'avancement des pattes et du plateau inférieur.

### 3.2 MODES DE CONSTRUCTION DES POUTRES DES PLATEAUX

Le problème était d'abord la réalisation des Mégapoutres principales. Après avoir envisagé de construire les voussoirs en encorbellement, nous nous avons opté pour le coulage sur un cintre utilisable pour les mégapoutres inférieures et pour les mégapoutres supérieures, charge à porter 35 t/ml. Ce cintre d'un poids de 285 t, s'appuie en 4 points, 2 au droit des façades et 2 appuis intermédiaires. Dans l'utilisation en plateau supérieur, les 2 appuis intermédiaires sont constitués par 2 fûts de grue capables de supporter 1.000 t par fût. Ces fûts s'appuient sur les mégapoutres inférieures qui, en l'absence de charges d'équipements et d'exploitation, sont capables de supporter les réactions correspondantes. Ces fûts n'ont pas de résistance sensible en flexion compte-tenu de leur rigidité relative très faible et n'assurent qu'une réaction verticale. La stabilité transversale de l'ensemble cintre + mégapoutre supérieure en construction a nécessité de couler les poutres par éléments, des pattes vers le centre, et de précontraindre ces éléments au fur et à mesure, comme dans une exécution par voussoirs préfabriqués. Le cintre sera, de plus, épinglé sur les voussoirs déjà exécutés pour le rigidifier et éviter les désaffleurements entre 2 phases successives.

### 3.3 MOUVEMENTS DE LA STRUCTURE

Ces mouvements dûs à la mise en charge progressive du plateau inférieur (y compris efforts de précontrainte) et des butons, aux effets thermiques différentiels, à l'exécution du plateau supérieur ont pu être limités dans une fourchette d'aplomb des pattes de + 10 m/m par une étude détaillée du programme de mise en charge des butons.

### 3.4 COMPLEXITE DE L'ETUDE DE STRUCTURE

#### 3.4.1 Calcul d'ensemble

Il a été conduit en utilisant un programme de calcul de structure tridimensionnelle à barres (STRUDL). Le modèle utilisé pour la détermination des efforts dans les 'pattes' comportaient 6.632 noeuds et 11.156 barres compte-tenu de la complexité de la structure. Des modèles plus petits dans lesquels les 'pattes' étaient remplacées par des structures simplifiées, de raideur équivalente, ont permis l'étude des plateaux. Les phases provisoires étudiées ont été limitées à 7 pour les 'pattes', par contre pour les 'plateaux', l'étude a suivi de très près l'exécution des différents ouvrages (76 phases provisoires étudiées)

#### 3.4.2 Mise au point des plans de cablages et d'armatures

Le raccordement des mégastructures horizontales et verticales, les 'noeuds' a nécessité une mise au point extrêmement laborieuse pour conjuguer les impératifs de résistance, de passage des cables et armatures passives avec ceux des baies de circulation, des percements des lots techniques et des modifications résultant des mises au point de conception. Le respect des écharissages imposés par les nécessités fonctionnelles du projet a conduit à des densités d'armatures passives exceptionnelles (300 kg/m<sup>3</sup>).

### 3.5 MATERIEL DE COFFRAGE TRES PERFORMANT

Les impératifs du planning nous ont conduit à utiliser des coffrages autoréglables selon une technique déjà employée par notre entreprise sur d'autres grands immeubles de la Défense.

Ces matériels exceptionnels permettent l'exécution sur chaque patte de :

- 1 mégastructure sur 2 niveaux chaque jour (18 m x 5,6 m)
- 2 x 21 ml de façade chaque jour.

### 3.6 MISE EN OEUVRE DES BETONS

Compte-tenu des énormes quantités de béton à mettre en oeuvre et des problèmes de saturation de grues, tous les ouvrages épais sont bétonnés à la pompe, à des distances de plus de 50 m et des hauteurs de plus de 100 m.