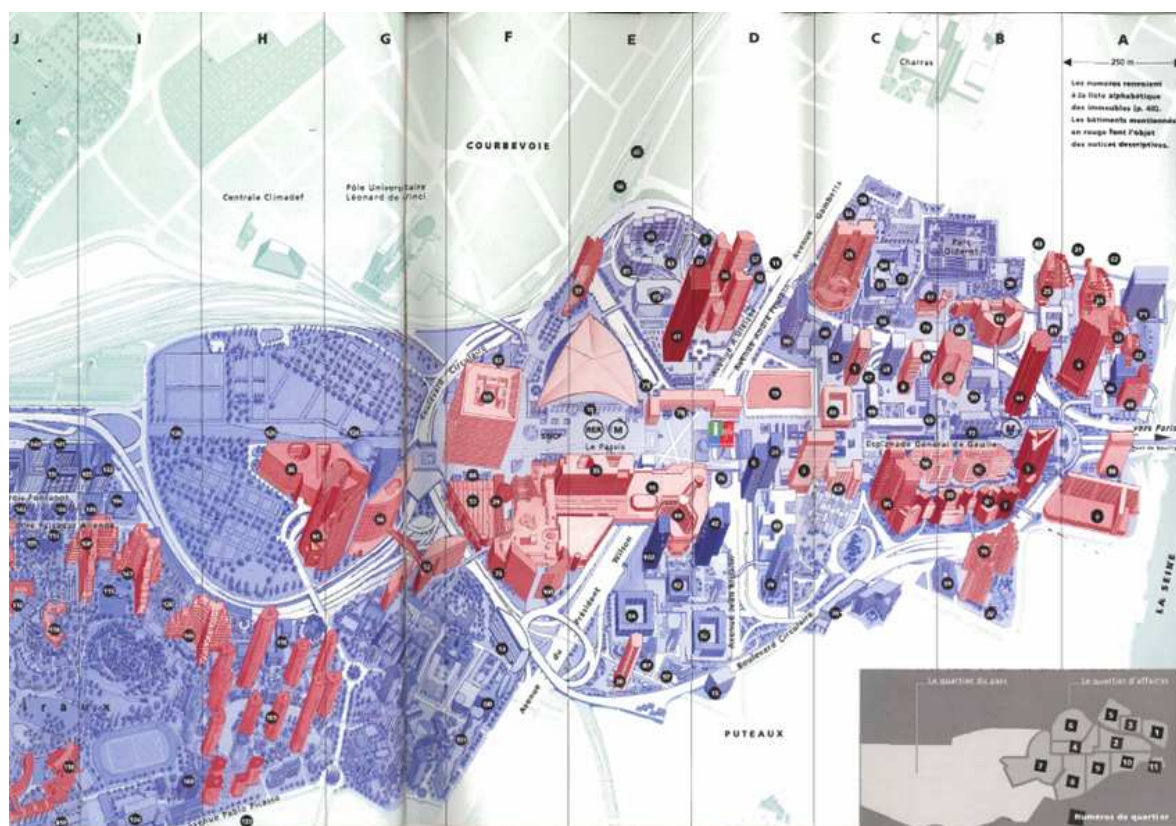


OUVRAGES - CONCEPTION, REALISATION ET ADAPTATION

Exemples et conceptions structurelles de tours à La Défense, par Philippe Busi, Directeur Adjoint Bouygues IDF

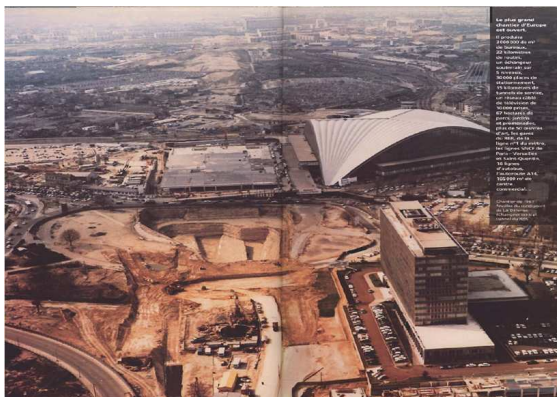


LA DEFENSE : PREMIER QUARTIER D'AFFAIRE EUROPEEN



Première prouesse technique en béton à La Défense : CNIT (1958)

- voûte de 50 m de hauteur avec des coques de 6 cm d'épaisseur
- en appui sur 3 points d'un triangle de 218 m de côté



GÉNÉRATIONS DE TOURS A LA DÉFENSE (PARIS)

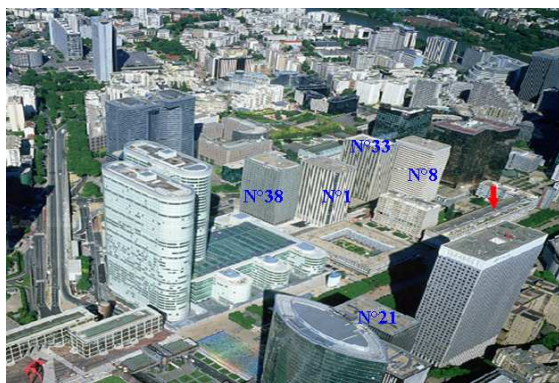
1^{ère} génération : [1960 - 1970]

Contexte

- Après une recherche de projet d'aménagement dès 1960 pour l'exposition universelle de 1958, un premier plan d'aménagement initial est approuvé en 12-1964 pour le quartier d'affaire (CNIT inauguré en 1958).

Cadre général de conception

- Gabarit de dimensions 24 x 42 x 100m haut dans lequel les constructions doivent s'inscrire.
⇒ Soit environ 30 étages de 1 000 m²
- Programme total de 850 000 m²



Tours de 1^{ère} génération

- N°38 : EUROPE 28 000m² - 28 étages
- N°1 : AQUITAINE 26 000m² - 27 étages
- N°33 : EDF - GDF 28 000 m²
- N°8 : AURORE 28 500m² - 29 étages
- N°21 : Crédit Lyonnais 26 000m² - 25 étages

Les journées techniques

2^{ème} génération : [1970 - 1980]

Contexte

- En 1969 l'expansion économique crée une demande complémentaire en bureau, puis la crise pétrolière de 1973 et une campagne d'opinion contre les tours (GAN en construction en 1972) laissent des immeubles construits vides et l'EPAD ne vend plus de droit à construire de 1974 à 1978.

Cadre général de conception

- Possibilité d'épaississement des tours
- Possibilité d'environ 200m de haut programme passé à 1 500 000 m² en 1969



Tour de 2^{ème} génération

N°3 : ARIANE - 36 étages

3^{ème} génération : [1980 - 1990]

Contexte

- Suite à la crise de 1973 à 1978 apparaît une troisième génération avec des projets réalisés seulement après commercialisation.

Cadre général de conception

- Un nouveau plan d'aménagement conduit à inventer de nouvelles formes avec des bureaux en « premier jour ».



Tours de 3^{ème} et 4^{ème} générations

- N°28 : DESCARTES - 40 étages
- N°19 : CŒUR DEFENSE - 40 étages
- N°76 : EDF

Contexte

- Les projets exploitent les parcelles exiguës de terrain, s'excentrent, s'implantent sur les premières générations démolies ou rénovées.

Cadre général de conception

- Les demandes immobilières se poursuivent alors qu'il y a plus de 2 500 000 m²



N°41 : 2^{ème} génération - FIAT

N°34 : 3^{ème} génération - ELF

N°19 : 4^{ème} génération - COEUR DEFENSE



N°3 : 2^{ème} génération - ARIANE

N°21 : 1^{ère} génération rénovée - Crédit Lyonnais

N°6 : 1^{ère} génération - ATLANTIQUE

N°76 : 4^{ème} génération - EDF



N°76 : 4^{ème} génération - EDF

N°21 : 1^{ère} génération rénovée - Crédit Lyonnais

N°91 : 4^{ème} génération - Société Générale

N°55 : 3^{ème} génération - La Grande Arche

Les journées techniques

ÉVOLUTION DES TOURS A LA DÉFENSE

La hauteur

Leur évolution en hauteur a été bloquée par le plan d'aménagement, pourtant ouvert au marché et aux attentes immobilières mais garant d'une certaine homogénéité d'ensemble.

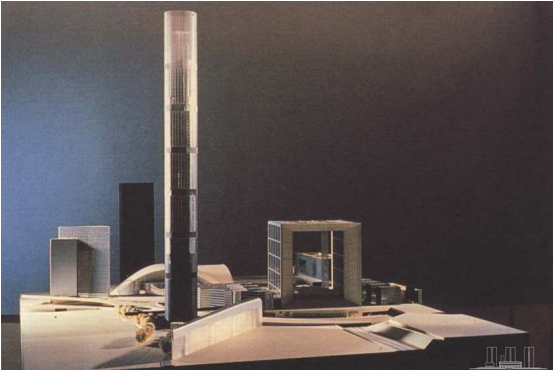
⇒ La plus haute tour de la Défense est la tour CB2 (ELF → TOTAL) suivie à 1m près par la tour CB1 (FIAT → FRAMATOME → AREVA) livrée en 1974.



Tour TOTAL



Tour FIAT



La tour sans fins

(Hauteur projetée # 425m) correspond à la dernière très grande tour projetée et étudiée dans les années 1990 - 1994 :

- Maîtrise d'œuvre architecturale : J. NOUVEL, E. CATTINI
- Maîtrise d'œuvre technique : OVE ARUP, OTH
- Maîtrise d'œuvre d'aménagement : EPAD, SCETAUROUTE

La géométrie

Les vues proposées permettent de noter notamment les impacts suivants :

- ⇒ Règles d'aménagement
- ⇒ Rentabilité (surface utile, surface de façade/surface utile...)
- ⇒ Aspect psychologique et sécuritaire pour les usagers
- ⇒ Signal architectural et d'identité pour les entreprises
- ⇒ Utilisation des terrains et droit à construire



Arche de La Défense



Cœur Défense



Tour CBX

LE MARCHÉ DES TOURS A LA DÉFENSE

Source EPAD (2003 - 2004)

- LA DEFENSE = 15% de l'investissement Financier des bureaux en Ile de France
- Loyer moyen = 450 €/m²/an
- Surfaces disponibles # Surfaces de transactions annuelles = 200 000 m² (sur un global d'environ 2500000 m²)

TOURS NEUVES

Sur la base des éléments impactant la conception suivants :

- Réglementation (notamment la sécurité incendie)
- L'environnement technico économique, comme :
 - + grandes portées plus coûteuses et rarement exploitées
 - + bon sol avec des contraintes admissibles non saturées
 - + mode opératoire, accès et approvisionnements de chantier, installation et saturation des grues.

⇒ LA SOLUTION STRUCTURELLE :

Le béton armé ou précontraint préfabriqué voire exceptionnellement post-contraint

En cours et imminent : CBX, T1, GRANITE

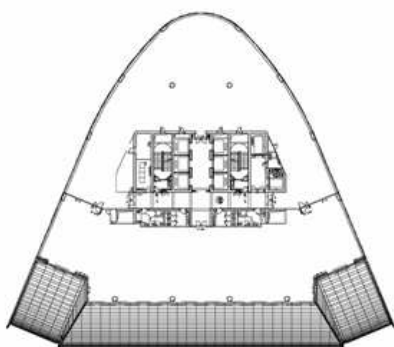
Exemple : TOUR T1 [Architecte VALODE & PISTRE ARCHITECTES] - 70 000 m², 4 sous-sol, 38 étages surmonté d'une coiffe



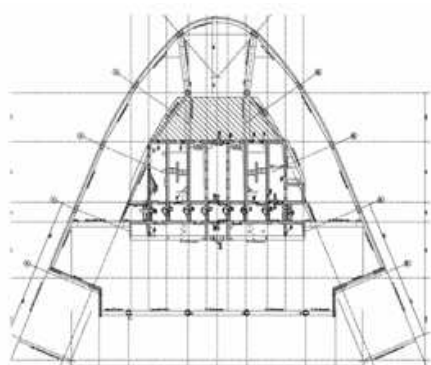
L'exemple de référence PB12 devenu OPUS :



Rénovation



NIV 31 (Batterie haute)



PH 31



Extension façade



Détail de découpe d'une ancienne façade

TOURS RÉNOVÉES

Le marché de la rénovation des tours a commencé notamment par le biais des contraintes liées à l'amiante (désamiantage ou isolement) et aux mises à niveau de confort Tous Corps d'Etats (TCE) des premières générations de tours.

CONCEPTION STRUCTURELLE DES TOURS

PRINCIPAUX CRITERES DE CONCEPTION D'UNE TOUR :

INCIDENCES VIS A VIS DES AVOISINANTS

VENT	: Effets masques majorants – minorants	! → Essais en soufflerie
SOL	: Tassements.... Gonflement	! → Etudes Géotechniques
MODES OPERATOIRES	: Stabilité des héberges...	! → « Maitrise » des interfaces Sol-Structure

→ Incidences Globales :

! ex : auto-stabilité des « ilots » / effets de butée...

STABILITE

VENT	:	!
SOL	:	!
MODES OPERATOIRES	: Phases provisoires	

RESISTANCE ET SECURITE

HYPOTHESES DE RISQUES / NIVEAUX DE SECURITE : Pouvoirs Publics

FEU : SF / CF « IGH », locaux à risques et archives (jusqu'à 4h voire 6h)

MODES OPERATOIRES : Phasage et structure évolutive

SYNTHESE TCE : Réseaux-Réervations CVC notamment ! → Présynthèse indispensable dès la phase de conception

DEFORMATIONS

SOL	: Tassements – Gonflement / Comportements temporel (Dyn-CT-LT) → les lois d'évolutions temporelles des matériaux (Sol / Béton) → Essais de fluage → Affaissements d'ensemble, différentiels, nuisibles...
STRUCTURE	: Flexion, raccourcissement, état de fissuration (Cf Inertie...) → deuxième ordre => $P \times \Delta$: Bridage et Retrait : Effets de dimensions, Effets thermiques ou équivalent en chantier et en service

CONFORT – ACCELERATION

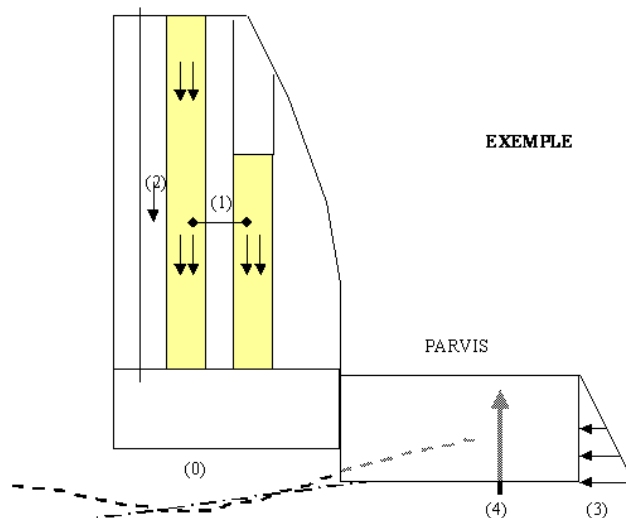
SOLLICITATIONS RAPIDEMENT VARIABLES : VENT / SEISME

→ Critère de période de retour / accélérations admissibles

→ MODE OPERATOIRES = indissociables de nombreux critères

CONCEPTION = Maitrise globale TCE

INCIDENCES VIS A VIS DES AVOISINANTS - STABILITE - DEFORMATIONS



Le tassement sous la Tour n'est pas uniforme, pour les principales raisons suivantes :

- (0) les fondations ne sont pas infiniment rigides
- (1) la structure est dissymétrique : batterie basse / Batterie haute, façade inclinée
- (2) Des charges spécifiques de superstructure localisées.
- (3) La poussée latérale.
- (4) le « déchargement » global d'une zone adjacente (ex : Parking avec des charges de structure inférieures au poids des terres en place avant terrassement ce qui induit un gonflement d'ensemble du sol qui réagit en plaque, et de légers tassements locaux au droit des semelles)
- bien sûr il y a aussi des cas de vents qui participent au même effet d'ensemble

CONCEPTION STRUCTURELLE DES TOURS

SUJÉTIONS ET SOLUTIONS TECHNIQUES PARTICULIÈRES

Les linteaux

Bien que dépendant des principes de contreventement, les linteaux des noyaux jouent un rôle majeur.

⇒ CONSTATS :

- Les efforts dans les linteaux sont également importants en partie supérieure de la Tour (effets portiques, noyau de batteries hautes moins conséquent qu'en bas) là où les contraintes verticales dans les voiles sont les plus faibles.
- Couramment les linteaux ont une épaisseur égale aux voiles qu'ils relient.
- La solution courante retenue consiste à généraliser la qualité de béton nécessaire au linteau dans le voile concerné... voire dans un ensemble compte tenu de la méthodologie et de la gestion pratique des bétons.

⇒ PRESCRIPTIONS TYPES

- Etude de présynthèse fiable en phase de conception
- Etude de contreventement et de rigidité.
 - + vérification des déformations et $P \times \Delta$
 - + vérification d'accélération

Ces études sont à itérer avec les hypothèses de vent qui dépendent de la rigidité et des modes propres de structures

Les linteaux et voiles

⇒PRESCRIPTIONS TYPES :

Concilier les sujétions béton :

- + voiles en béton « plus ordinaires » (module $\downarrow$) que les poteaux
- + linteaux pouvant être très sollicités

Renforcement des linteaux :

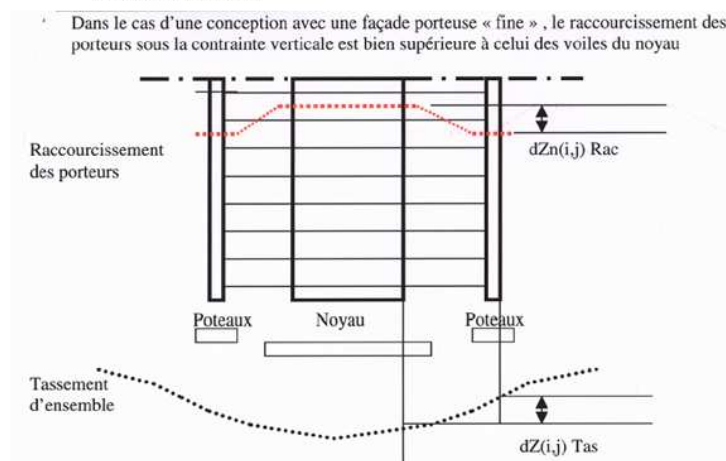
- + section augmentée
- + préfa avec f_{c28} de linteaux supérieur aux voiles
- + postcontrainte
- + linteau mixte

CONCEPTION STRUCTURELLE DES TOURS

SUJETIONS ET SOLUTIONS TECHNIQUES PARTICULIÈRES

DEFORMATIONS VERTICALES :

⇒ CONSTATS :



Ce schéma est à reproduire entre tous les couples de points porteurs (i,j) voisins et à tous les niveaux (n) de façon à caractériser les déformations totales, différentielles et évaluées au cours du temps.

⇒ Les ordres de grandeurs en jeu sont les suivants :

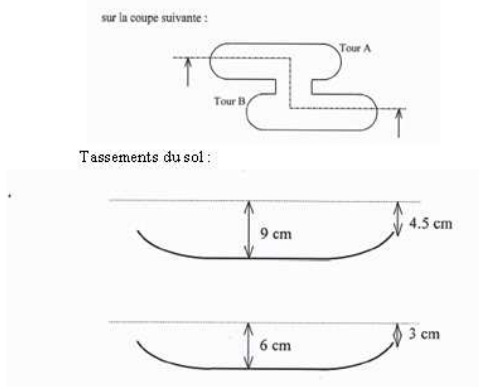
- Gonflement de fouille lors du terrassement : # 2 à 10 cm
- Tassement du sol : # 5 à 15cm à long terme.
- Raccourcissement des poteaux : # 2 mm / étage moyen, soit 80 mm sur 40 niveaux.

CONCEPTION STRUCTURELLE DES TOURS

SUJETIONS ET SOLUTIONS TECHNIQUES PARTICULIERES

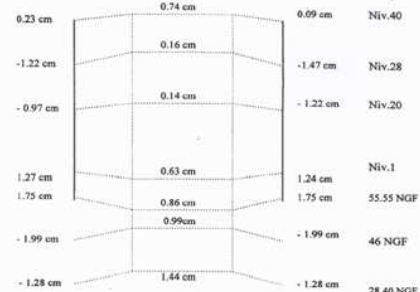
DEFORMATIONS VERTICALES :

Exemple de CŒUR DEFENSE

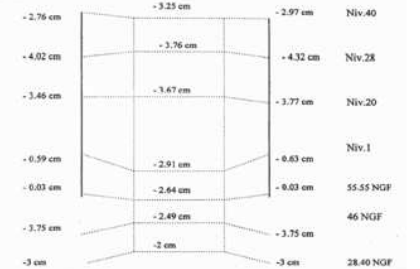


Cas intermédiaire le plus probable: (B60 : 80 MPa ; $k_d=1.5$ / B80 : 100 MPa ; $k_d=0.8$)

Livraison :



Long terme :



⇒ PRESCRIPTIONS TYPES :

- Bétons et ratios d'armatures différents suivant les porteurs (« performants » dans les poteaux, « plus ordinaires » dans les voiles)
- Prévion et contrôle des modules réels des bétons
- Etude réaliste et contrôle de déformation du sol
- Coulage type « contre - flèche », pour les verticaux et contrôle des déformations réelles

AFFAISSEMENTS THEORIQUES DEPUIS LE COULAGE DES PLANCHERS

PH 36

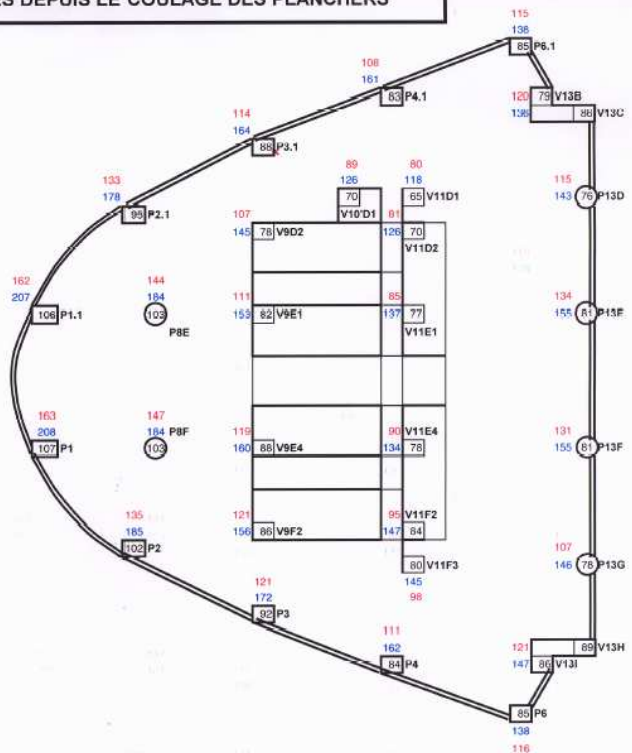
Phase : 30 ans
Date : 11 900 jours

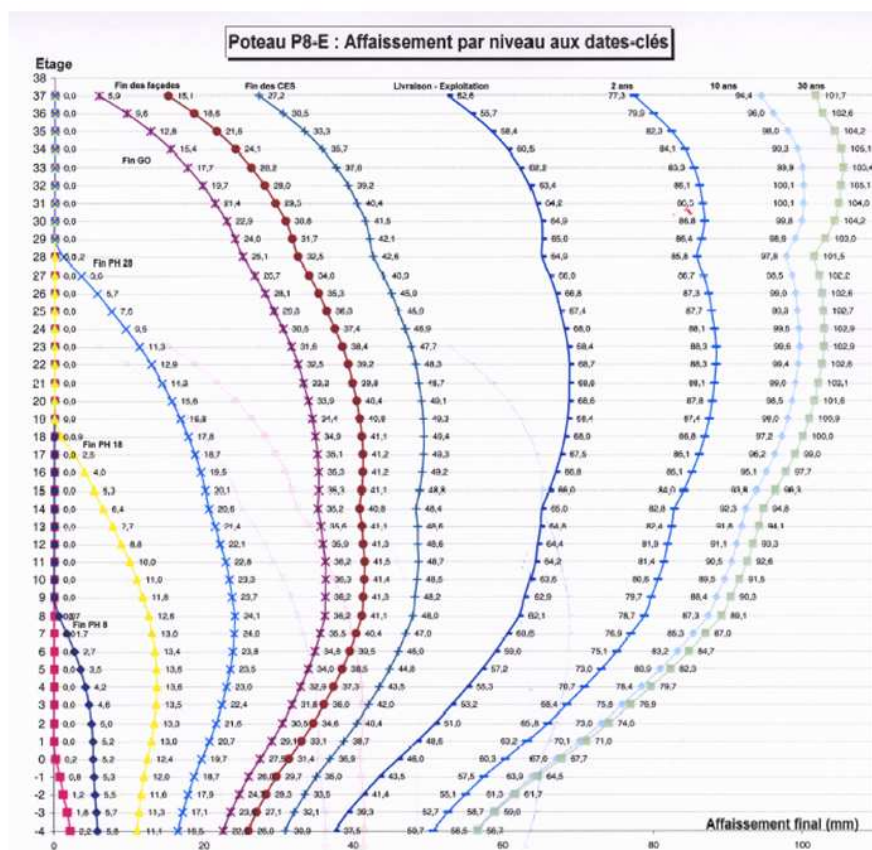
Légende :

- 126 déformations verticales du modèle (mm)
- 143 déformations verticales totales (mm) tenant compte de l'historique de chargement
- 78 affaissements théoriques (mm) avec coulage des planchers aux niveaux NGF

Rappel des dates-clés

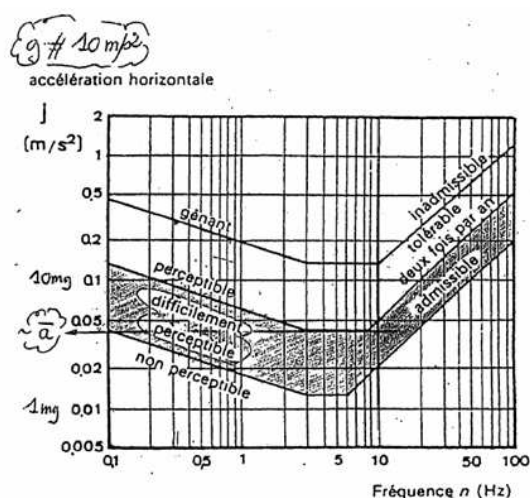
Début Travaux	0 jours
Fin Infra	300 jours
Fin du PH+8	360 jours
Fin du PH+18	435 jours
Fin du PH+28	510 jours
Fin du GO	600 jours
Fin des façades	710 jours
Fin des CES	900 jours
Livraison	950 jours
2 ans	1 670 jours
10 ans	4 600 jours
30 ans	11 900 jours





CONCEPTION STRUCTURELLE DES TOURS

ACCELERATIONS HORIZONTALES ADMISSIBLES D'APRES LES REGLES CECM



Destination du lieu	Facteur de majoration de j
Travail de précision, hôpital	1
Résidence	1,4
Bureau	4
Atelier	8
Circulation piétonne	16

TECHNIQUES STRUCTURELLES DES TOURS

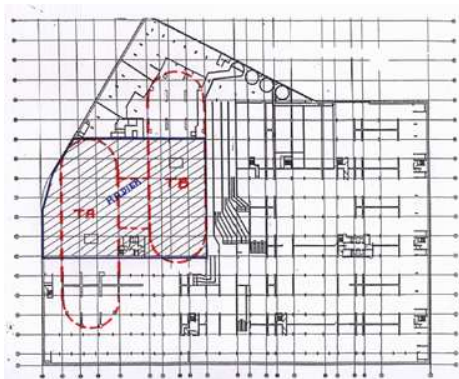
Les fondations

Les projets intègrent la particularité du site avec des fondations « superficielles » (# 25m sous l'esplanade) en tête du calcaire grossier

Exemples



Piles de fondation de l'Arche



Radier de Cœur Défense

Le contreventement

Les principaux cas suivants ont été exploités et sont adaptés dans cette gamme de hauteur de tour :

- par noyaux



Tour ELF

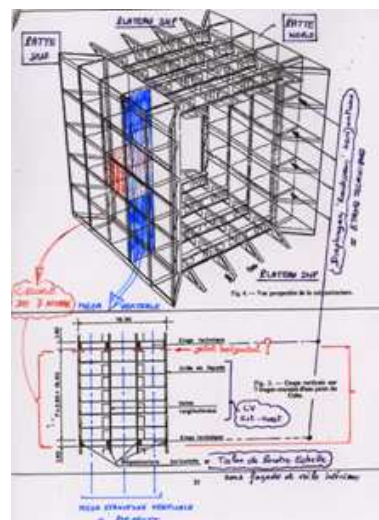
Les journées techniques

- par façade formant un tube ajouré



Tour FIAT

- par méga structure (trame de 21 m)



Arche de La Défense

Les planchers

Quelques cas de grandes portées (#15m) ont été conçus, toutefois les critères suivants :

- Bureaux en premier jour
- Façades porteuses « fines » et contrainte de raccourcissement imposent le plus souvent des portées moyenne de 6 à 9m associées à des techniques adaptées :
 - À la réglementation
 - Aux gabarits
 - Aux techniques et fonctions du bilan d'organisation (planning) et coût

⇒ Exceptionnellement ceci peut aller jusqu'au mariage d'un pont avec un bâtiment :



Vue de la construction du toit de l'Arche

CONCEPTION STRUCTURELLE DES TOURS

Constats d'évolutions techniques de la dernière décennie

Géométrie : plus audacieuse

Façade : plus transparente et donc porteurs plus fins.

Matériaux « structuraux » :

- bétons plus performants ou avec des écarts types sur leurs caractéristiques plus faibles
- sol inchangé.

Contraintes techniques et réglementaires :

Dans l'attente de l'harmonisation avec les Eurocodes, la réglementation ne couvre pas totalement les sujets et les hypothèses à prendre en compte et laisse les concepteurs devant leurs responsabilités de stratégies techniques, économiques et contractuelles acquises avec l'expérience. Par exemple :

- bridage phase
- thermique phase
- interfaces sol-structure
- déformations en construction <> tolérances

Calculs généraux (modélisation) :

- plus volumineux pour être plus représentatifs et plus rapidement exploitables dans les calculs ou justifications de détails (armatures...)
- toujours avec des limites liées notamment :
 - aux lois de matériaux
 - aux phases de construction.
 - aux caractéristiques des éléments dépendants de leurs états de contraintes (cf fissuration...)... alors qu'il peut y avoir plusieurs centaines de combinaisons différentes et que cela deviendrait non linéaire.
- plus difficile à contrôler
- établis sans obligation de qualification logicielle et humaine spécifiques.

OUVRAGES - CONCEPTION, REALISATION ET ADAPTATION

Infrastructures, par Darius Amir-Mazaheri et Gérard Timothée, PX-DAM Consultants

1) PREAMBULE

Dans la définition du terme OUVRAGE D'ART :

- Ouvrage signifie finement travaillé.
- Art signifie activité humaine spécifique faisant appel à certaines facultés sensorielles, esthétiques, intellectuelles.
- Ouvrage d'art s'entend pour des constructions d'une grande importance entraînées par l'établissement d'une ligne de communication : pont, viaduc, tunnel, port, aéroport...

Dans ces trois définitions, justifiant le terme ouvrage d'art, l'implication de l'homme est prépondérante.

Ainsi, dans notre famille professionnelle, la réalisation d'ouvrages d'art est confiée à trois entités qui se doivent d'avoir le même objectif : de construire pour le bien de la communauté.

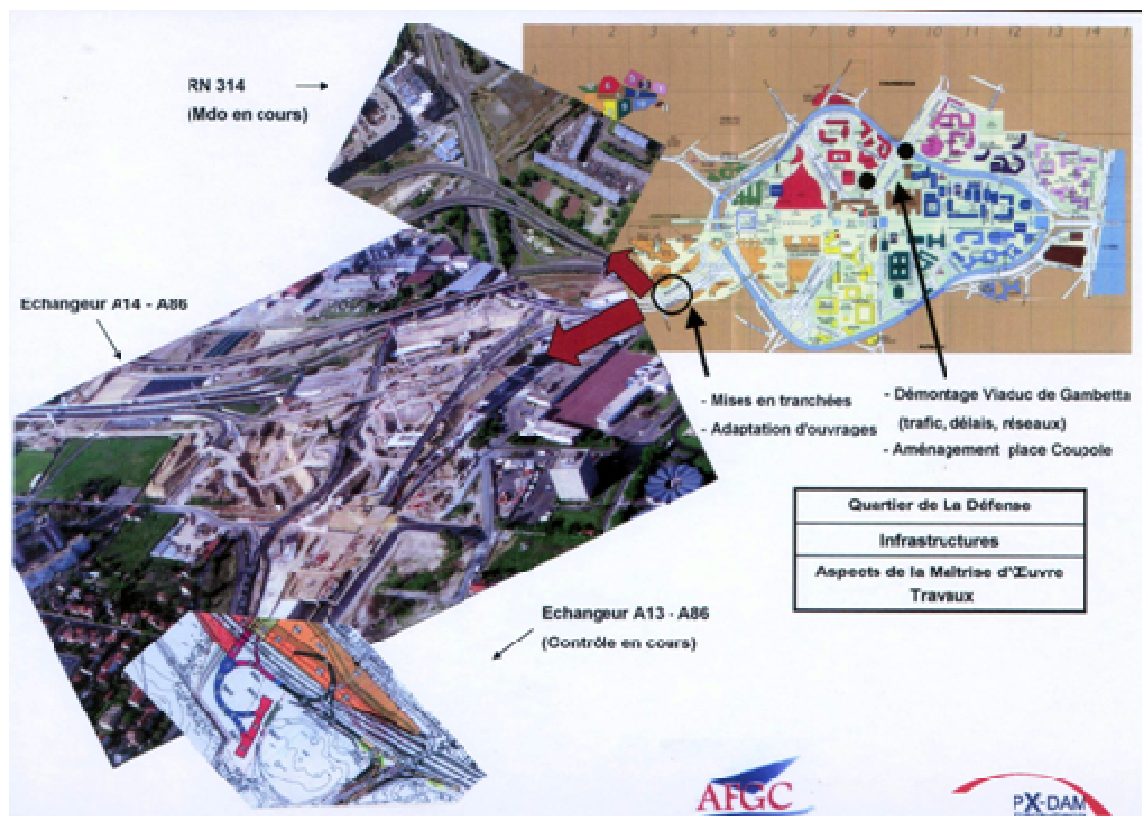
Il s'agit du Maître d'ouvrage, du Maître d'œuvre, et de l'Entreprise réalisant les travaux.

C'est cette association, d'hommes et de femmes, qui permet la réalisation des grands projets. Alors, bien sûr, les techniques évoluent mais elles seront toujours au service des hommes qui les commandent et les dirigent.

Cet exposé se limite à la présentation de quelques facettes du métier de Maître d'œuvre. Et pour mettre l'accent sur la nécessité de l'association des différents acteurs intervenant sur le projet et l'importance du dialogue entre eux, nous avons fait le choix délibéré de centrer la présentation sur l'aspect Maîtrise d'œuvre Travaux.

Pour conclure ce préambule, rappelons une phrase célèbre de Montesquieu :

Pour faire de grandes choses, il ne faut pas être un si grand génie ; il ne faut pas être au dessus des hommes, il faut être avec eux.



2) ENFOUISSEMENT DE L'AUTOROUTE A 14 (zone non concédée) SOUS M.O.A E.P.A.D

Construire, bâtir, édifier, ériger, architecturer n'est pas chose facile, en particulier dans les milieux urbanisés où il faut préserver l'environnement, les activités économiques et sociales ainsi que les liaisons horizontales de types voiries communales, départementales, nationales voire autoroutières. L'enfouissement de l'autoroute A14 à Nanterre en est un bon exemple.

Les plus grandes Entreprises Françaises ont, d'ailleurs, participé à ce projet.

2.1 Echangeur A14 / A86

Il s'agit d'un des plus grands échangeurs enterrés Européen. Constitué de deux axes principaux, huit bretelles de liaisons permettent leurs interconnexions sur quatre niveaux différents.

Les ouvrages à construire sont pour la plupart des cadres enterrés réalisés à ciel ouvert.

En fonction de la présence de deux nappes phréatiques (proximité de la Seine), les travaux de l'échangeur ont été exécutés à l'abri d'une enceinte étanche, constituée

de parois moulées, d'écrans minces et de parois classiques au coulis.

En fonction des contraintes financières, les travaux de l'échangeur se sont déroulés et se déroulent encore par phases dont l'amplitude varie de 20 à 24 mois en moyenne. Nonobstant les méthodes structurales d'exécution des différents cadres en béton armé, une des difficultés majeures, commune à toutes les phases, se déclinent sous forme d'accès/sortie et de pistes de chantier permettant l'acheminement des différentes livraisons aux multiples points d'attaques et l'évacuation des déblais, le tout en conservant ou déviant les voiries locales.

A ce stade du projet et par phases, l'association M.O.A, M.O.E, Entreprises a été prépondérante, chacun des intervenants se sentant motivés pour optimiser les liaisons internes et externes avec le site de réalisation des travaux. Les photos, avant et pendant les travaux précisent bien cette problématique :



Sécurisation des accès

Réalisation et entretien d'un réseau de pistes internes y compris mise en œuvre d'autopont.

La deuxième difficulté majeure correspond à la présence du viaduc R.E.R. En effet certaines bretelles de liaisons et l'autoroute A 86 sont implantées en limite ou sous les fondations du viaduc, superficielles ou sur pieux. Pour la phase qui nous intéresse, ces fondations seront encagées dans des parois moulées afin d'éviter tout mouvement des fondations du viaduc.

2.2 Autoroute A 14 (LOT 3) au droit de la station Nanterre Université

La difficulté majeure de la construction de ce tronçon d'A 14 enfoui, est qu'il correspond à un empilage de structures à réaliser en sous œuvre de grands murs en terre armée soutenant la RN 314 sens Paris - Province d'un côté et sens Province - Paris de l'autre.

En effet, dans cette phase de réalisation, l'autoroute A 14, à 2 fois 3 voies, est fondée sur un parking à construire en même temps. La hauteur totale entre le béton de propreté des fondations du parking et le niveau circulé de la RN 314 est d'environ 25 mètres.

Le parking est composé de portiques en béton armé à deux travées supportant le cadre béton armé des tubes A 14.

Ces travaux se sont donc déroulés à l'abri de fondations spéciales composées d'une part de parois moulées tirantées, et d'autre part de berlinoises de grandes hauteurs tirantées. Les photos suivantes précisent les différentes échelles de réalisation.



2.3 Démolition des ouvrages de l'ancienne autoroute A14

Antérieurement à la décision d'enfouir l'autoroute A 14, celle-ci était conçue aérienne.

Ainsi un certain nombre de viaducs étaient déjà réalisés et non raccordés pour la plupart d'entre eux. Constitués de caissons en béton précontraint, ils franchissaient entre autre les rues Meunier, Hébert, Sorins et le Bd Joliot Curie à Nanterre. Dans le cadre de l'enfouissement de l'autoroute A 14, ces viaducs ont été démolis ou plus exactement déconstruits. Pour la phase qui nous intéresse, le linéaire cumulé des ouvrages à déconstruire représentait environ 850 mètres répartis sur 9 viaducs.

Les difficultés majeures dans ce type d'opération sont les suivantes :

- Les ouvrages franchissent des voiries circulées d'où de nombreux phasages de déconstruction en fonction de la méthode retenue mais aussi et surtout en fonction des possibilités d'interception de voiries, de mise en sens

unique ou à double sens, et ce le jour, la nuit ou les week-end.

- La connaissance de la méthode de construction de ces ouvrages et la possession des plans d'exécution, afin de définir la méthode de déconstruction.
- Le respect de l'environnement en particulier au niveau des nuisances sonores.
- La sécurité vis à vis des tiers et des hommes de chantier.

Ainsi les méthodes suivantes ont été retenues :

Phase préliminaire pour tous les viaducs :

Dépose des garde corps et encorbellements par sciage ou grignotage (allègement) et confinement par filets autour des palées ou des tours d'étalement.



Deux méthodes ont été utilisées :

- Mise sur cintres des viaducs, tronçonnage par colis de 60 tonnes environ, levage à la grue, démolition au sol et évacuation des gravais.



- Mise sur cintres des ouvrages mais en incorporant un système de ripage des tronçons de viaducs prédécoupés (sur 15 ml environ) et délacés, par l'intermédiaire de brêlage et de câbles précontraints, pour guillotiner ou démolition au B.R.H dans une zone réservée à cet effet.



3) URBANISATION DU Bd CIRCULAIRE DE LA DÉFENSE SOUS M.O.A E.P.A.D

Démolition du Viaduc Gambetta à Courbevoie.



L'avenue Gambetta, pour sa partie en élévation, assurait la liaison routière entre La Défense et la place Charras à Courbevoie, en enjambant le Boulevard Circulaire.

Suite à la mise en service de l'autoroute A 14, le Boulevard Circulaire est réaménagé en voirie urbaine de desserte locale, perdant ainsi sa vocation d'origine de voie rapide. L'avenue Gambetta en élévation est supprimée, le trafic étant reporté sur les voiries parallèles. Afin de réaliser ce projet, le viaduc Gambetta, franchissant le Boulevard circulaire a été déconstruit.

Le viaduc précontraint se compose de 6 travées de 27 ml chacune pour une longueur totale d'environ 160 ml, qui s'appuie sur deux culées et 5 piles intermédiaires. Le tablier est constitué de 5 poutres préfabriquées en béton précontraint à section rectangulaire (hauteur 1.40 m, épaisseur 0.70 m longueur 25.85 m chacune).

En travée, ces poutres sont raidies par deux séries d'entretoises précontraintes. Un hourdis de 18 cm d'épaisseur, précontraint transversalement, réunit l'ensemble des poutres.

Les journées techniques

Les difficultés majeures de la déconstruction de cet ouvrage seront de gérer les voies piétonnes franchies en termes de sécurité, de gérer la déconstruction en particulier au dessus du Bd Circulaire en fonction des autorisations de coupures et enfin d'avérer une méthode permettant de résoudre l'équation efficacité, planning, sécurité.

La solution retenue a été la suivante :

- Allègement de l'ouvrage par dépose des encorbellements et muret gardes corps (sciage et grignotage).
- Découpe et levage du hourdis découpé en tronçon.
- Etalement et support des extrémités de poutres.
- Sciage aux câbles des poutres au niveau des chevêtres.
- Levage des poutres, en particulier au droit du Bd Circulaire, de nuit et par l'intermédiaire d'une grue de 800 tonnes.
- Transport sur le site de démolition, broyage à la pince et évacuation des gravais.

