



TOUR T1: CONFÉRENCE & VISITE à LA DÉFENSE le 23/01/07





PARTICULARITES TECHNIQUES STRUCTURELLES

INTER-DEPENDANCES HYPOTHESES / RESULTATS

POINTS CLEFS TECHNIQUES ABORDES

ENJEUX DES DEFORMATIONS

ENJEUX ORGANISATIONNELS

ETUDES-PRÉPARATION DE CHANTIER : SYNOPTIQUE PLANNING

Exposé : Les Enjeux Techniques / Structures et Interfaces

Ph. BUSI
1



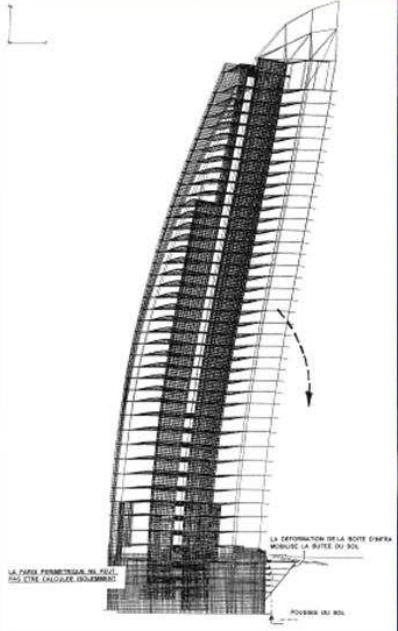
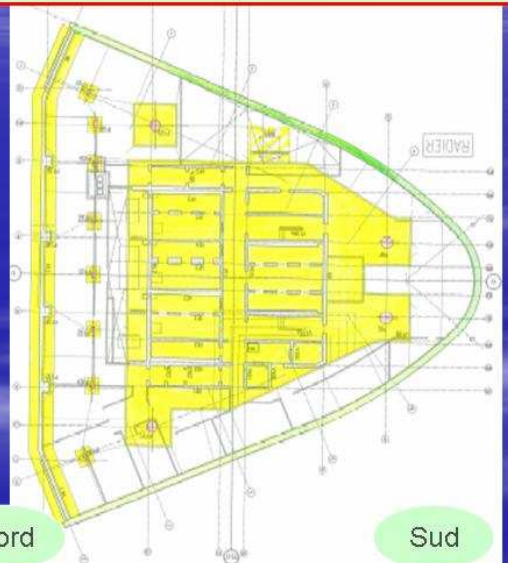
TOUR T1: CONFÉRENCE & VISITE à LA DÉFENSE le 23/01/07



PARTICULARITES TECHNIQUES STRUCTURELLES DE T1 :

LES FONDATIONS SONT ENCASTREES EN TETE DU CALCAIRE QUI CONSTITUE UNE PLAQUE DE REPARTITION POUR LES 150 000 T DE T1

→ Contraintes Géométriques et Sollicitations Importantes pour le radier et certaines fondations proches associées

Exposé : Les Enjeux Techniques / Structures et Interfaces

Ph. BUSI
2



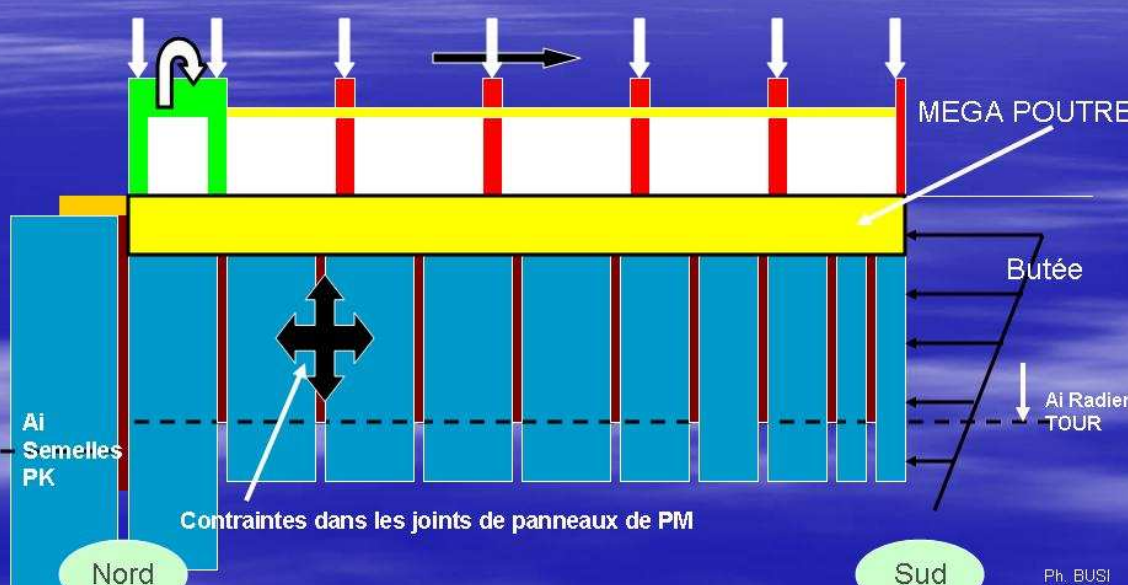
TOUR T1: CONFÉRENCE & VISITE à LA DÉFENSE le 23/01/07



PARTICULARITES TECHNIQUES STRUCTURELLES DE T1 :

LE CHARGEMENT ET L'ENCASTREMENT DANS LE SOL IMPLIQUENT LA PAROI PERIMETRIQUE DANS LA STABILITE GENERALE : BUTEE.

→ PAROI MOULEE AJUSTEE POUR SERVIR DE FONDATIONS A LA STRUCTURE DE FACADE AVEC UNE MEGA POUTRE DE COURONNEMENT FONCTIONNANT EN PORTIQUE DANS LE « PLAN » DE LA PAROI.



Exposé : Les Enjeux Techniques / Structures et Interfaces

Ph. BUSI
3



TOUR T1: CONFÉRENCE & VISITE à LA DÉFENSE le 23/01/07



PARTICULARITES TECHNIQUES STRUCTURELLES DE T1 :

LA CONCEPTION DE FACADE PORTEUSE « FINE » (BHP) CONDUIT A DES RACCOURCISSEMENTS SUPERIEURS A CEUX DU NOYAU

 MALGRE LA COMPACTITE DES FONDATIONS, LES HYPOTHESES INITIALES METTENT EN EVIDENCE DES TASSEMENTS NON UNIFORMES ET UN BASCULEMENT GENERAL Nord-Sud

→ Nécessité de Maîtriser les Hypothèses et Calculs / matériaux, contraintes, déformations, méthodologie GO et incidences TCE.

 → Obligation après les validations et choix théoriques de réaliser des essais de fluage puis de « suivre » les déformations réelles.

Noyau : $\sigma_{ELS} < 20 \text{ Mpa}$

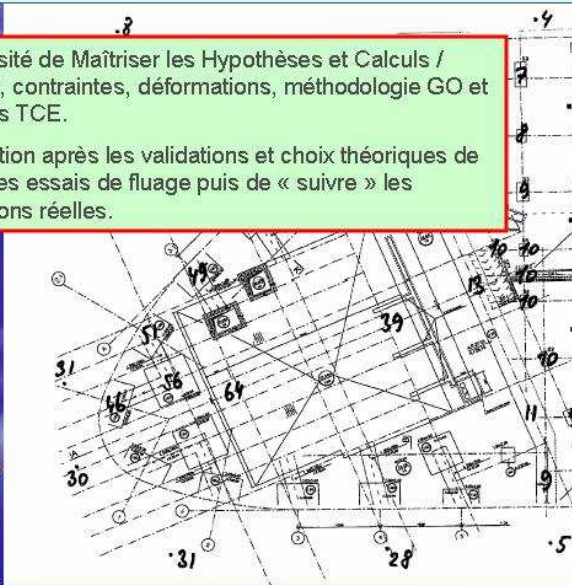
Poteaux : $\sigma_{ELS} < 33 \text{ Mpa}$

Contraintes σ_{ELS} ou $= \text{Rac. } (\Delta h)$:

Sud Nord

PM Radier Semelles

Tassements



Exposé : Les Enjeux Techniques / Structures et Interfaces

Ph. BUSI
4

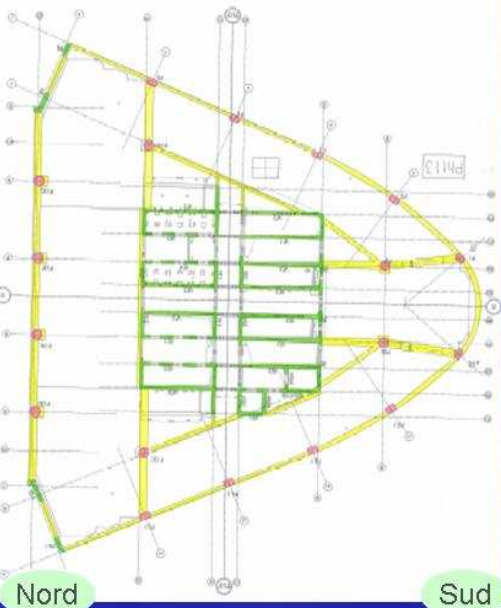


TOUR T1: CONFÉRENCE & VISITE à LA DÉFENSE le 23/01/07



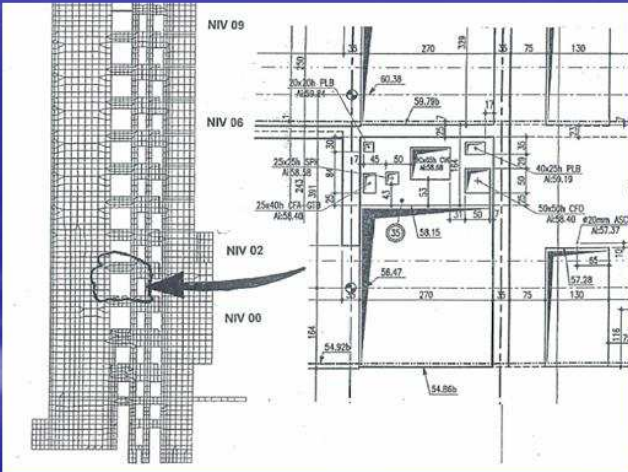
PARTICULARITES TECHNIQUES STRUCTURELLES DE T1 :

LA RIGIDITE D'ENSEMBLE DU NOYAU DEPEND DES LINTEAUX RELIANTS LES 8 « CAGES » ELEMENTAIRES



Nord Sud

→ Nécessité de prendre en compte des Hypothèses de Pré-synthèse ou des mesures conservatoires fiables



Ph. BUSI

Exposé : Les Enjeux Techniques / Structures et Interfaces 5



TOUR T1: CONFÉRENCE & VISITE à LA DÉFENSE le 23/01/07



INTER-DEPENDANCES HYPOTHESES / RESULTATS :

→ Conception et études d'exécution se déroulent de façon itérative notamment avec les modes opératoires TCE : cette conférence illustre l'engagement coordonné des équipes travaux, méthodes et études de BYBAT-IdF

RESULTATS => DONNEES de BASE		AVOISINANTS	PROJET	
			STABILITE D'ENSEMBLE	DIMENSIONNEMENT DE STRUCTURE
1 HEBERGES (du projet)	😊	# dito	↶	↶
2 SOL (du projet)	⊘	Attention aux terrassements ou rechargements	↶	↶
3 VENT (du site)	↶	Effets masques et rugosités	↶	↶
4 SEISME (P.M.)	↶	JD entre bât	↶	↶
5 FEU (pour le projet)	⊘	JD éventuels	↶	↶
6 CHARGES (du projet)	⊘	Les charges du projet ne doivent pas affecter les avoisinants	↶	↶
7 PRESYNTHESE / SYNTHESE TCE (CEA,CET) et GABARITS	⊘		↶	↶
8 MODES OPERATOIRES, LOGISTIQUE	↶	Phasage Imposé, Terrassements / Avoisinants	↶	↶

 = CAS INTER-DEPENDANTS

Ph. BUSI

Exposé : Les Enjeux Techniques / Structures et Interfaces 6

TOUR T1: CONFÉRENCE & VISITE à LA DÉFENSE le 23/01/07

INTER-DEPENDANCES

→ Maîtrise des déformations indispensable :

-nombreux critères inter-dépendants

HYPOTHESES / RESULTATS :

-Impacts conception-construction TCE

RESULTATS =>	DEFORMATIONS (Projet)					CONFORT		
DONNEES de BASE	Sol	Structure	Corps d'Etat					
1 HEBERGES (du projet)		Déformations compatibles / Heberges		Déformations compatibles / Heberges		Déformations locales / Ensemble		Acoustique (façade)
2 SOL (du projet)				Inter-actions Sol / Structure		Réseaux enterrés		Dynamique
3 VENT (du site)		sauf comportement Dyn		Inter-actions pour la part Dyn		Ex : Façade, Auvents...		part fluctuante ==> accélération
4 SEISME (P.M.)								
5 FEU (pour le projet)				JD (cas de temp = dilatation)		JD, Protections stables / Déformations		
6 CHARGES (du projet)		Tassements		Flèches, Raccourcissements		part "nuisible" fct de l'historique de chargement		part quasi permanente intégrée à la masse Modale
7 PRESYNTHESE / SYNTHESE TCE (CEA,CET) et GABARITS		Conception des Réseaux enterrés		Déformations <> Tolérance / "Nuisibles" Fct Planning				Confort acoustique liés aux équipements
8 MODES OPERATOIRES, LOGISTIQUE		Grandes Fouilles : Déchargement = Gonflement...		Str. provisoire, Corrections des Niveaux		Phasage, Corrections des Niveaux		Nuisances (vibrations, Bruits...) à limiter / avoisinants
= CAS INTER-DEPENDANTS								

Ph. BUSI

Exposé : Les Enjeux Techniques / Structures et Interfaces

7

AFGC

TOUR T1: CONFÉRENCE & VISITE à LA DÉFENSE le 23/01/07

Équipement
SIT. DE FRANCE

POINTS CLEFS TECHNIQUES ABORDES :

→ Ce synoptique permet de juger de l'importance :

- des sujets retenus dans la suite de cet exposé
- du thème des modes opératoires et de la logistique

RESULTATS =>	STABILITE	DIMENSIONNEMENT	DEFORMATIONS (Projet)			CONFORT
DONNEES de BASE	D'ENSEMBLE du Projet	DE STRUCTURE	Sol	Structure	Corps d'Etat	
1 HEBERGES (du projet)	↕ Auto-stabilité d'lot / Butée	↕ Reprise des Efforts	↕ Déformations compatibles / Hebergés	↕ Déformations compatibles / Hebergés	↕ Déformations locales / Ensemble	↕ Acoustique (façade)
2 SOL (du projet)	↕ Dim des "boîtes" d'intra et des	↕ Dim des "boîtes" d'intra et des	☹️	↕ Inter-actions Sol / Structure	↕ Réseaux enterrés	↕ Dynamique
3 VENT (du site)	↕ Dim des "boîtes" d'intra et des	↕ Dim. / contrevent	0	↕ Inter-actions pour la part Dyn	↕ Ex.: Façade, Auvents...	↕ part fluctuante ==> accélération
4 SEISME (P.M.)	↕	↕	↕	↕	↕	↕
5 FEU (pour le projet)	↕	↕	↕	↕	↕	↕
6 CHARGES (du projet)	↕ Voir les Dégressions	↕ Les charges participent à imposer les dimensions qui en découlent aussi "GD"	↕ tassements	↕ raccourcis- sements	↕ l'historique de chargement	↕ Intégrée à la masse Modale
7 PRESYNTHESE / SYNTHESE TCE (CEA,CET) et GABARITS	↕ Réservations Importantes ou significatives et systématiques	↕ Dimensions et Gabarits de Structures, Décaissés, Réseaux enterrés	↕ Conception des Réseaux enterrés	↕ Déformations <=> Tolérance / "Nuisibles" Fct Planning	☹️	↕ Confort acoustique liés aux équipements
8 MODES OPERATOIRES, LOGISTIQUE	↕ En phase Provisoire	↕	↕	↕	↕	↕ Nuisances (vibrations, Bruits...) à limiter / avoisinants
				↕ Coulage	↕	

1 : MODELISATION

2 : DEFORMATIONS TEMPORELLES :
Sujétions Matériaux / Planning /
Interfaces Façade / Dispositions
Pratiques et Suivis

3 : OPTIONS DE CONSTRUCTION ET
SUJETIONS SUR LA STRUCTURE

Ph. BUSI

Exposé : Les Enjeux Techniques / Structures et Interfaces

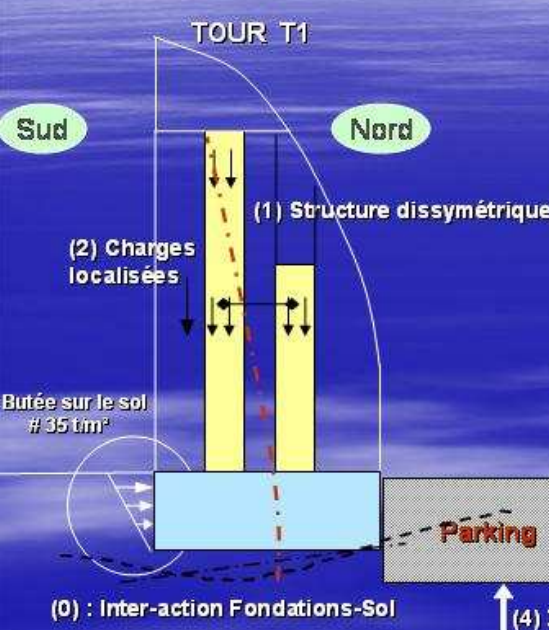
8



TOUR T1 : CONFÉRENCE & VISITE à LA DÉFENSE le 23/01/07



LES ENJEUX DES DEFORMATIONS



DEFORMATIONS VERTICALES :

- Au sommet : Noyaux et Voiles : 9 à 17 cm
Poteaux : 13 à 20 cm
- Incidences TCE # 4 mm / niveau
- Au pied : Tassements 1 à 6 cm amortis 30m autour
- Incidences / héberges

DEFORMATIONS HORIZONTALES :

- Au sommet : 37 cm (30 % seulement dû au vent)
- Incidences Façades : translation # 1cm/niveau
- Au niveau du parvis : 2 à 3 cm suivant les directions
- Incidences / héberges (et JD / Tirants Provisoires)

→ **Déformations dont Fluage à maîtriser :**

- ✓ Études + Essais Fluage (7 à 12 mois)
- ✓ Corrections GO des niveaux de coulage
- ✓ Sujétions TCE
- ✓ Suivis du Réel et Ajustements

Ph. BUSI

Exposé : Les Enjeux Techniques / Structures et Interfaces

9



TOUR T1 : CONFÉRENCE & VISITE à LA DÉFENSE le 23/01/07



ENJEUX ORGANISATIONNELS ETUDES – PREPARATION DE CHANTIER : SYNOPTIQUE PLANNING

SYNOPTIQUE PLANNING ETUDES-GO		PHBI	M-6	M-5	M-4	M-3	M-2	M-1	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18
		23/01/07							01/05										01/06							
OS Etude et Préparation de Chantier		28/02/05																								
OS Travaux : Début de la Paroi Moulée		28/04/05																								
Début de la Mega Poutre de Cour																										
Début du radier de la Tour																										
Fin GO		mars-07																								
PREPARATION ETUDE :		4 mois																								
SOL																										
VENT																										
PRESYNTHESE...																										
CHOIX ET DEVELOPPEMENTS DE LOGICIELS																										
PRE-VALIDATION DE CONCEPTION et PRINCIPES DE CALCULS DE PAROI																										
NOTES D'HYPOTHESES GENERALES																										
PRE-FOND DE PLAN																										
RECALAGE DES MODELES DE VALIDATION DE CONCEPTION (pour PM)																										
ETUDES GENERALES ET PREPARATION Trx		7 mois																								
HYPOTHESES TCE et MODES OPERATOIRES																										
DESCENTES DE CHARGES																										
MODELISATION GLOBALE																										
CALCULS DES AFFAISSEMENTS																										
CHOIX DES BETONS																										
VALIDATION / AJUSTEMENT DE LA CONCEPTION																										
ETUDES DE PM TOUR		2 mois																								
ESSAIS DE FLUAGE		12 mois																								
ETUDES DETAILLEES TCE TOUR		22 mois																								
SUIVIS DES DEFORMATIONS		10 mois																								

!! Alerte de Planification : nécessité de 4 à 6 mois de préparations (Etudes-Trx) avant l'OS !!

→ pour la réussite de T1, BYBAT-IdF a dû anticiper alors que la date d'OS n'était pas connue : implication indispensable des équipes Travaux-Méthodes-Etudes

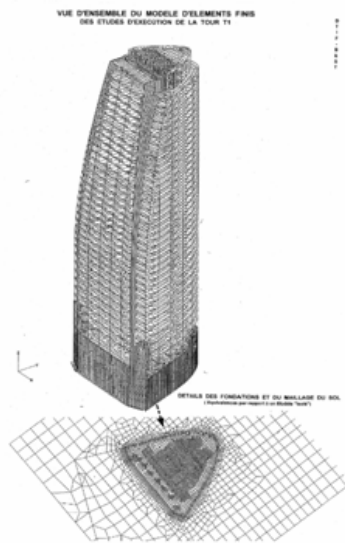
Ph. BUSI / L. CORBEIL

Exposé : Les Enjeux Techniques / Structures et Interfaces

10

LES ENJEUX TECHNIQUES

Options de construction, *Ludovic CORBEIL*



Phase Étude



En Construction



Images de Synthèse

LE SITE

- L'environnement urbain, présence d'immeubles d'habitation, de bureaux et d'un hôtel 4*, nous a obligé à apporter une attention particulière à nos modes opératoires.
- Les horaires d'ouverture du site 8h00 à 19h00.
- Les conditions d'accès à la ZAC, une entrée et une sortie pour l'ensemble des chantiers, dont une voie d'évacuation constamment libre au pied de la tour.
- Les installations de site, déviation du boulevard (classé en RN) sur 200ml, création de 300ml de barrière de sécurité piétons, modification ou création de 22 feux tricolores, et de 105 panneaux de signalisation piétons ou véhicules.

LE PLANNING

- Partenariat avec l'entreprise de Parois moulées.
- Mise en œuvre d'un cycle en 4 jours par niveau, soit une cadence de 272m² de plancher / jour / grue, la mise en place d'un autograppant et d'une station de pompage.
- Anticipation sur le choix du fournisseur de béton, afin de procéder à la mise au point des bétons en tenant compte des impératifs structurels (essais de fluage durant 10 à 12 mois), et besoin travaux (résistance à 12h00 pour le cycle et essai de rhéologie pour contrôler sa maniabilité)
- Anticipation sur le choix du partenaire pour l'outil autograppant (option technique imposée par les besoins du Bureau d'études ou vice et versa, délais de mise au point des études de l'outil et sa fabrication, durant un an)

LES GRUES

- Choix des types de grues, en fonction de nos besoins et pour ne pas retarder l'étude de site.
- Implantation des grues au sol, en fonction des besoins des travaux et de la structure béton, en tenant compte du site, des réseaux enterrés, des futures interférences entre elles.
- Anticiper l'étude de site, afin de connaître au plus tôt, les impératifs sur les cinématiques de rehaussement, et les contraintes sur la structure.
- Les saturations d'utilisation des grues dans le contexte de l'environnement du site, et définition de moyens complémentaires pour revenir dans les plages horaires du règlement de la ZAC.

LES MODES OPÉRATOIRES

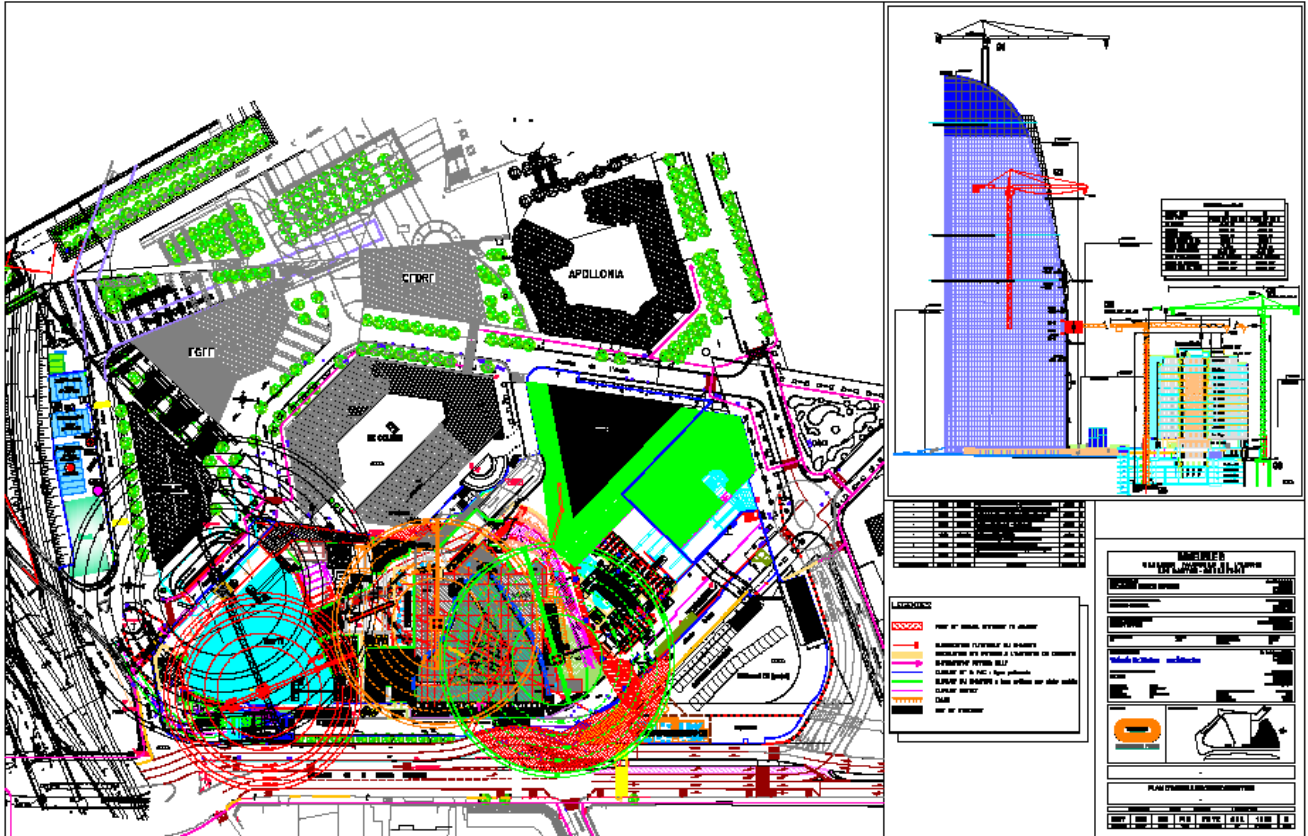
Tenir compte de la saturation des grues pour le choix des modes opératoires et en informer le BE pour en connaître les contraintes (exécution de plancher en méthode traditionnelle ne nécessitant pas de grue, ou mise au point de liaison d'armature simplifiée entre éléments préfa)

Mise en œuvre d'un lift remonte matériel, afin d'économiser les temps de grue dédiés à l'approvisionnement de matériel.

Mise en œuvre d'une station de pompage béton pour l'ensemble des bétons des verticaux du noyau C60/80 et des planchers C30/40, pour contenir les saturations des grues.

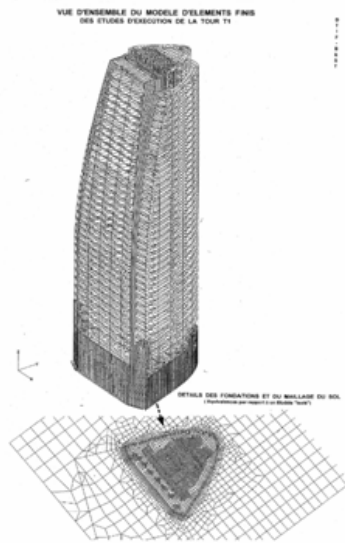
EN CONCLUSION : LA RÉUSSITE D'UN TEL CHANTIER PASSE OBLIGATOIREMENT PAR L'ANTICIPATION

- Sur la mise en place des moyens humains dans la préparation d'un chantier.
- L'installation de chantier afin d'intégrer dès le départ les différentes phases de la construction.
- Le démarrage des études d'exécution et de validation de la présynthèse du marché, pour la définition des impératifs des modes de construction.
- La définition des modes opératoires, pour définir les interfaces entre les différents acteurs de l'exécution.



LA MODÉLISATION PAR ÉLÉMENTS FINIS

Modèle de validation de conception, Nacer TAKORABET (+ Jean-Michel HABLOT et Philippe BUSI)



Phase Étude



En Construction



Images de Synthèse

1. OBJET DES ÉTUDES D'AVANT PROJET

Fin 2003, une première anticipation d'études a été lancée pour garantir, optimiser et lever des aléas notamment d'hypothèses comme :

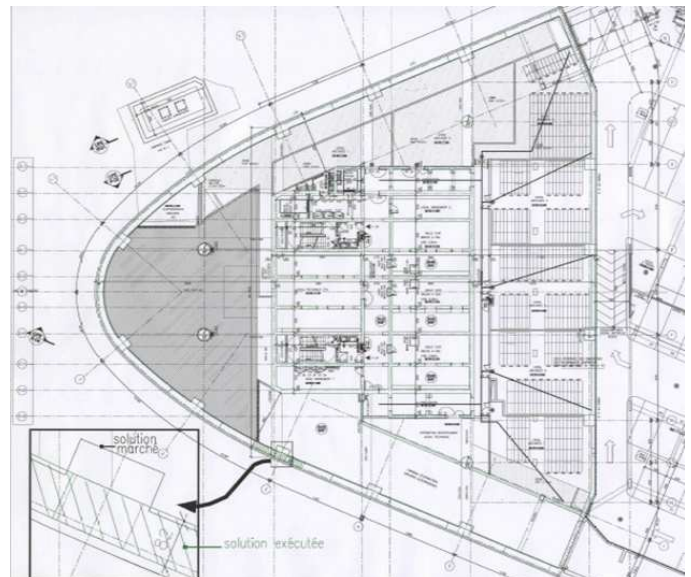
- Définition des hypothèses de base : Sol dont butée, Vent, Béton,
- Maîtrise du comportement global de la tour et de la « boîte » d'infrastructure qui l'encastre dans le sol,
- Validation/Ajustement des équarissements des porteurs verticaux,
- Incidence de la présynthèse : réservations,
- Modélisation avec diverses configurations,
- Veiller au respect des surfaces de bureaux,
- Cerner les critères de confort des usagers de la tour.

Hypothèses de Base

- Définition et Coordination de missions de spécialistes de sol pour appréhender les Hypothèses tassements, poussée, butées, frottements en statique/dynamique,
- Ajustement de la qualité et des Caractéristiques mécaniques des Bétons Ordinaires et BHP prévus,
- Exploitation des 7 Cas de charges de Vent du CCTP (hypothèses de Etude de MOE Structure),

Boîte d'Infrastructure

- Faisabilité variante de paroi périmétrique : paroi moulée ou berlinoise (avec éperons + méga longrines de redressement...),
- Recherche de la butée mobilisable du sol contigu à la paroi périmétrique : sous poids propre; directions du vent retenus,



Paroi berlinoise avec éperons et méga longrines de redressement

Comportement global de la tour

- Dépendance de la rigidité du noyau constitué d'un assemblage de cages (ascenseurs et escaliers) par des linteaux, Stabilité avec et sans Butée,
- Contribution des Poteaux/Poutres de Façade au Contreventement d'ensemble étude de variante des poutres de façade,
- Prise en compte des Réservations définies en présynthèse dans les linteaux et suivre leur évolution,
- Ajustement des dimensions du Radier ainsi que des semelles fondations pour limiter les

tassements et les contraintes au sol et le soulèvement,

- Évaluation des déplacements horizontaux et des accélérations en tête de la tour et comparaison aux valeurs limites à ne pas dépasser,
- ➔ Recours à la Modélisation paramétrique : 8 configurations en vue de cerner la contribution du Noyau, de la boîte d'infra, des Portiques de Façades, de la butée de sol, etc...

2. PRÉSENTATION SUCCINCTE DES 8 MODÈLES

- Géométrie de la structure d'avant-projet dont les paramètres retenus dans la modélisation sont les suivants :

- ⇒ Noyau seul avec radier sous son emprise légèrement élargie,
- ⇒ Infrastructure : solution Berlinoise / Eperons - variante paroi moulée
- ⇒ Radier : intégral (avec berlinoise) ou partiel (avec paroi moulée),
- ⇒ Façade : portiques avec allège ou poutres,
- ⇒ Butée : prise en compte ou non de la butée simulée par des forces,
- ⇒ Poussée des terres au repos hors cas noyau seul.

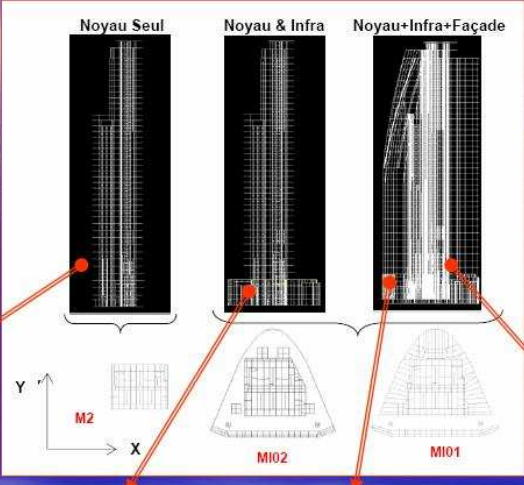


TOUR T1: CONFÉRENCE & VISITE à LA DÉFENSE le 23/01/07



Les 8 Modèles Étudiés

- 1 Modèle Noyau
- 3 Noyau+Infra
- 3 Noyau + Infra + Façade
- 1 Noyau+Infra+Façade+ Butée



Modèle Noyau	Modèles avec INFRA (sans Façade)			Modèles Complet avec façade			Façade Butée
M2	MI01	MI02	MI02 CL TRA	MI01 S. Allég	MI02 S. Allég	MI02 S. Ptr	MI02 S. Ptr
- Noyau	- Noyau	- Noyau	idem MI02	- Façade Allège	- Façade Allège	- Façade Poutre	- Faç. Poutre
- Radier partiel	- Radier intégral	- Radier partiel	+ conditions	- Radier intégral	- Radier partiel	- Radier partiel	- Radier partiel
	- Sem. Fil./isol.	- Sem. Fil./isol.	aux limites de	- Sem. Fil./isol.	- Sem. Fil./isol.	- Sem. Fil./isol.	- Sem. Fil./isol.
	- Infra. Berlin.	- Infra. Paroi M.	Terrel	- Infra. Berlin.	- Infra. Paroi M.	- Infra. Paroi M.	- PM et Butée.
n° 1	n° 2	n° 3	n° 3 Bis	n° 4	n° 5	n° 6 Bis	n° 6

Nacer TAKORABET

8

• Structure modélisée avec le logiciel EFFEL :

- ⇒ Taille du modèle Complet : 297.126 DDL; 50.000 éléments, temps calcul des 2 phases (Court Terme; Long Terme) 5 H 30 mn à l'époque,
- ⇒ Éléments surfaciques = Coque : dalle; voiles (noyau, file 13, V6/V6.1); linteaux hauts; radier; semelles filante/ isolées, paroi moulée; éperons,
- ⇒ Éléments Barre = filaire : poutres (ou allèges) et poteaux de façades & intérieurs; linteaux assimilable à des poutres,
- ⇒ Réactions de sol = ressorts: sous le radier du noyau; semelle filante du voile V13, semelles isolées sous poteaux circulaires intérieurs,
- ⇒ Butée sur la paroi = force: simulation suite à étude paramétrique spécifique sur modèle infra tronqué de la super,

• Dispositions communes

- ⇒ Efforts de Vent : appliqués sur le Noyau de contreventement,
- ⇒ Calculs en 2 phases : 1er phase avec raideurs LT béton et sol pour chargements G et G', 2e phase, raideur CT pour les cas Q et W,
- ⇒ Ossature Coiffe en charpente métallique n'est pas modélisée, ses efforts (vent notamment) sont ramenés sur le dernier niveau béton,
- ⇒ Orientation des Axes : axe X du modèle // files 8 à 12, axe Y est // files D1 à F3, axe Z est vertical ascendant,

• Cas des modèles noyau seul (sans façade)

- ⇒ Bande périmétrique de plancher est modélisé autour du noyau,

Cet artifice vise à corriger la diminution de rigidité du noyau (modélisé de la sorte) au niveau des parties de planchers qu'il englobe et qui renferment des trémies.

⇒ Poteaux inclinés en façade nord : représentés par des chargements horizontaux de poussée.

- Transfert des efforts horizontaux en Infra

⇒ Niveau moyen du terrain naturel 47.50 NGF; arase supérieure de la paroi, 45.70 NGF;

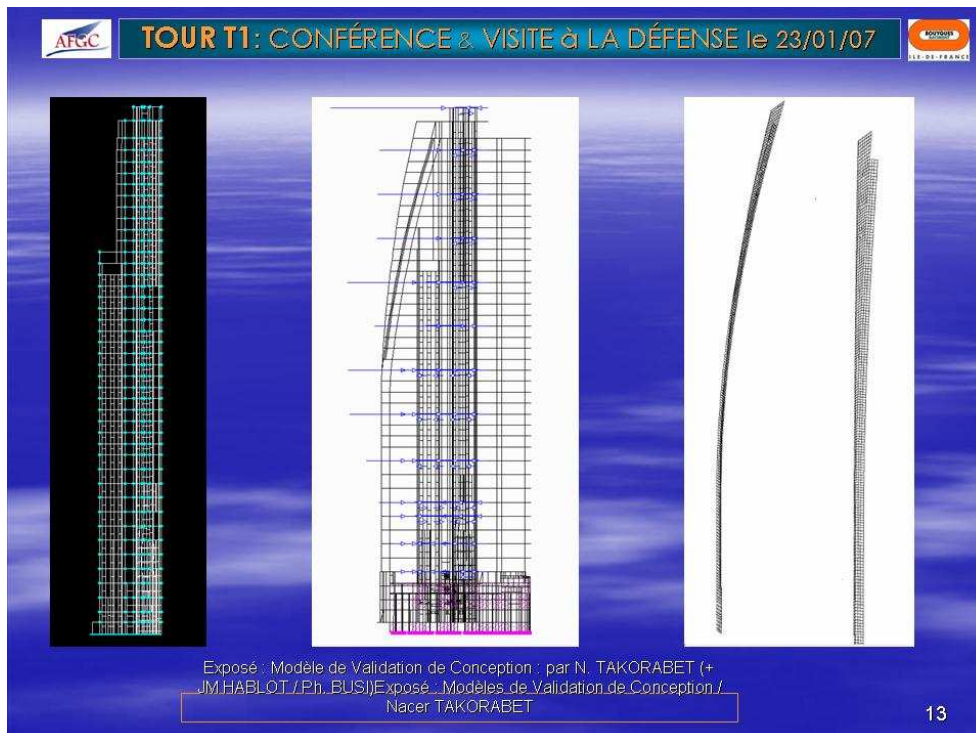
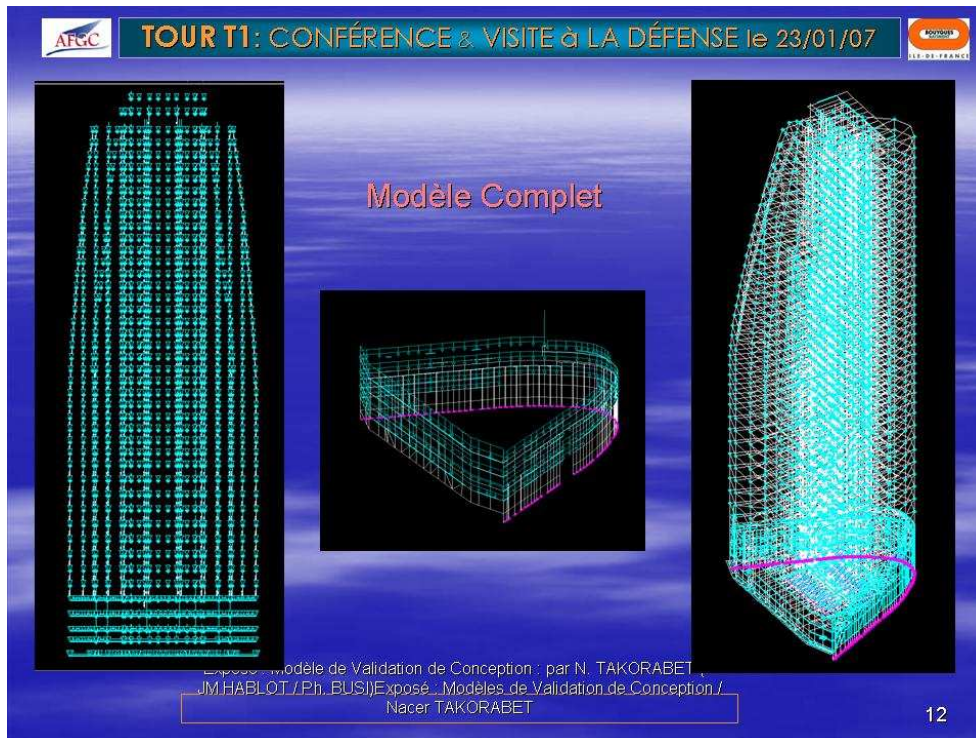
⇒ Plancher bas du -1 forme diaphragme de transfert des efforts horizontaux vers les PM et le voile en face nord,

- Raideur des linteaux, par exemple :

⇒ Étage courant de 3,91 m - linteaux de 0.95 m de hauteur

- avec percement de 60*50 cm : raideur minorée de 33 %,

- sans percement : raideur minorée de 15% (fissuration partielle)

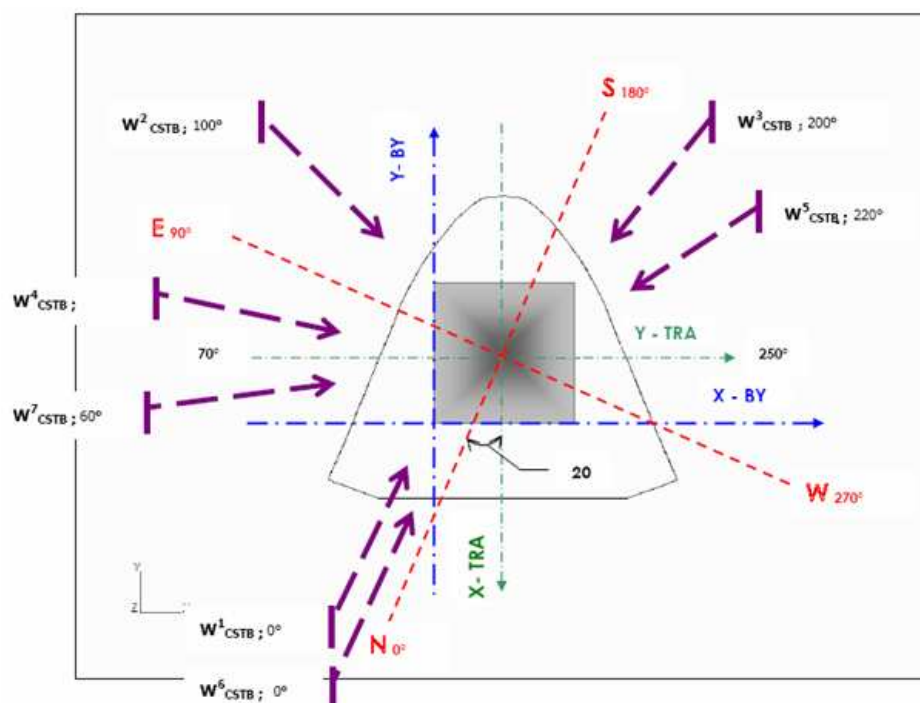


3. ÉTUDE AU VENT EN SOUFFLERIE DU CSTB

- 200 cas de charges quasi-statiques (concomitantes) à l'état limite de service exercées par le vent sur la tour T1 pour une période de retour de 50 ans :
 - torseurs globaux cumulés à la base de la tour soit au niveau 50 NGF.
 - torseurs globaux par tranches verticales de la tour appliqués aux 20 niveaux retenus.
- Coefficients d'amplifications dynamiques C_d max et C_{dmin} présenté par chacun des 3 modes propres de la tour. Chaque mode a dont 20 C_d max et 20 C_{dmin} . Pour les 3 modes, ils existent 120 C_d .
- Le CSTB préconise 2 valeurs du coefficient d'amplification dynamiques C_{dmax} et C_{dmin} pour chacun des 3 modes étudiés (translations longitudinal et latéral, torsion) et les 6 cas de vent défavorables correspondants.

Vent	α (°) / Nord	Type
W^1_{CSTB}	0°	Fx Min
W^2_{CSTB}	100°	Fy Max
W^4_{CSTB}	80°	My Max
W^5_{CSTB}	220°	My Max
W^7_{CSTB}	60°	Mz Max
W^6_{CSTB}	0°	Fy Min
W^3_{CSTB}	200°	Mz Max

Les 7 vents sélectionnés par la MOE (CCTP) et repris par BOUYGUES qui complète les secteurs non couverts



Coefficients d'amplification dynamique préconisés par le CSTB

Modes	Masse (T)	C_{dmax}	Direction	C_{dmin}	Direction
1 Longitudinal	26.237	2.12 (*)	220°	1.26	0°
2 Latéral	27.092	1.24	100°	1.34	180°
3 Torsion	11.649	1.13	60°	1.27	0°

Sur la base de ces présentes conclusions CSTB (pour les 3 modes : $C_d = 1.26$; 1.34 et 1.13), la Maîtrise d'œuvre et le Bureau de Contrôle ont recommandé :

- ⇒ Un coefficient dynamique de 1.34 « représentatif de l'évènement dimensionnant » et correspondant à la valeur maximale des 3 C_d préconisés par le CSTB,
- ⇒ L'affectation de ce coefficient unique à tous les torseurs d'efforts concomitants et à tous les niveaux (50 NGF à 235 NGF et terrasses),

CAS 1 Vent 000 : CSTB appliqué au Modèle BYG

	Max Vent rectifié-CSTB			Vent suivant axes Modèle			Vent à appliquer à la structure			
	Fx	Fy	Mz	Fx	Fy	F=Mz/d	Fx	Fy	Ty ⁺ droit	Ty ⁺ gauche
235.00	-65.80	2.40	43.90	2.40	65.80	1.49				
230.82	-328.90	-6.90	203.70	-6.90	328.90	6.92				
224.00	-288.50	-65.00	-464.40	-65.00	288.50	-15.77				
218.64	-274.60	-149.60	-820.80	-149.60	274.60	-27.87				
	-957.80	-219.10	-1037.60	-219.10	957.80	-35.23	5.57	10.70	-14.53	44.65
							-14.53	477.82		
213.54	-779.60	-246.50	248.60	214.86	-246.50	779.60		-14.65	36.34	0.51
				214.86			214.86	-29.38	81.00	-0.88
198.24	-1360.80	-577.60	2545.70	199.92	-577.60	1360.80		199.92	-29.62	43.55
181.92	-1409.80	-822.60	4958.00	184.11	-822.60	1409.80		184.11	-42.18	45.11
166.96	-1420.00	-829.70	9998.00	168.47	-829.70	1420.00		168.47	-42.55	45.44
152.00	-1446.00	-688.50	12332.80	152.83	-688.50	1446.00		152.83	-22.68	49.10
135.68	-1387.00	-502.30	15066.20	137.19	-502.30	1387.00		137.19	-16.55	47.10
120.72	-1200.00	-321.30	15013.50	121.55	-321.30	1200.00		121.55	-10.59	40.75
105.79	-1159.50	-122.00	10646.40	105.91	-122.00	1159.50		105.91	-4.02	39.37
89.44	-816.90	-39.50	4185.50	89.25	-39.50	816.90		89.25	-1.30	27.74
74.14	-568.60	71.10	-1861.90	74.66	71.10	568.60		74.66	2.34	19.31
66.49	-320.00	0.00	-39.90	69.53	0.00	320.00		69.53	0.00	10.87
58.80	-252.20	-38.20	931.40	59.70	-38.20	252.20		59.70	-1.26	8.56
50.00	-235.60	-11.20	227.90	49.80	-11.20	235.60		49.80	-0.37	8.00
Somme:	-13313.80	-4347.40	73214.60	-4347.40	13313.80	2486.06	-198.17	465.89	97.41	-97.41

4. HYPOTHÈSES GÉOTECHNIQUES : PAROIS ET FONDATIONS

Raideurs de Sol : radier, semelle paroi moulée

- Raideur Verticale du sol (MPa/m) : Valeurs parmi d'autres
- Radier K_z : CT = 35 ; LT = 10
- Semelle K_z : CT = 90 ; LT = 30
- Paroi K_z : CT = 120 ; LT = 40
- Raideurs Horizontales à l'interface sol-structure

- sous radier : K_x, K_y # 200 MPa/m (par analogie au calcul de glissement-retrait établi en EXEC sur cœur défense),
- pied de paroi moulée : K_x, K_y CT = 15, LT = 5 MPa/m.

Poussée des Terres

- Couche de remblai superficielle de 2 m : $\phi = 25^\circ \Rightarrow K_a = 0.41$
- Couche de marnes et caillasses : $\phi = 30^\circ \Rightarrow K_a = 0.33$

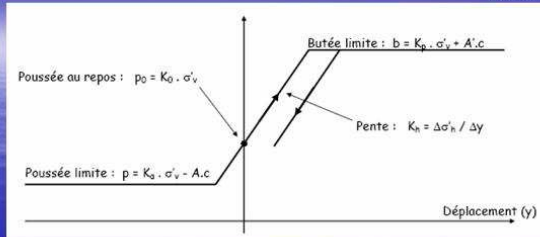


TOUR T1: CONFÉRENCE & VISITE à LA DÉFENSE le 23/01/07



Butée de la Paroi

Problématique :
Comment quantifier la butée mobilisable ?



Poussée au repos : $p_0 = K_0 \cdot \sigma'_v$

Butée limite : $b = K_b \cdot \sigma'_v + A \cdot c$

Pente : $K_b = \Delta \sigma'_h / \Delta y$

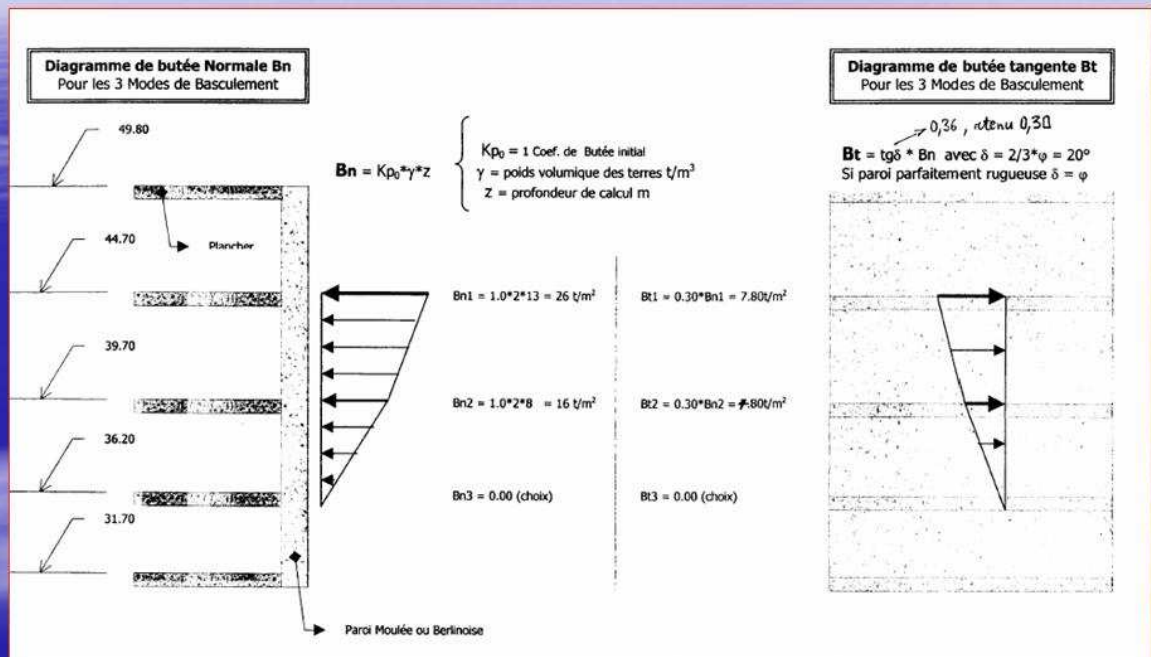
Poussée limite : $p = K_a \cdot \sigma'_v - A \cdot c$

Déplacement (y)

- A partir des 1ers modèles réalisés sans butée $\Rightarrow$ déplacements libres horizontaux aux différents niveaux de l'infra. max au plancher haut du 2e sous-sol à 44.70 NGF,
- Approche : déplacements horizontaux limités à 8 mm en tête de paroi (au lieu de 20 à 25 mm sans butée) par ajout d'efforts "extérieurs" : ceci donne une butée variable suivant les directions et cas de charges : maxi caractéristiques # 13 à 30 t/m² (soit $k_p = 0,5$ à $1,2$) en butée et 4 à 10 t/m² en frottement.
- Hypothèse : 2 mm de déplacement de la paroi vers le sol pour mobiliser un début de butée

Exposé : Modèle de Validation de Conception : par N. TAKORABET (+ J.M. HABLOT / Ph. BUSI) Exposé : Modèles de Validation de Conception / Nacer TAKORABET

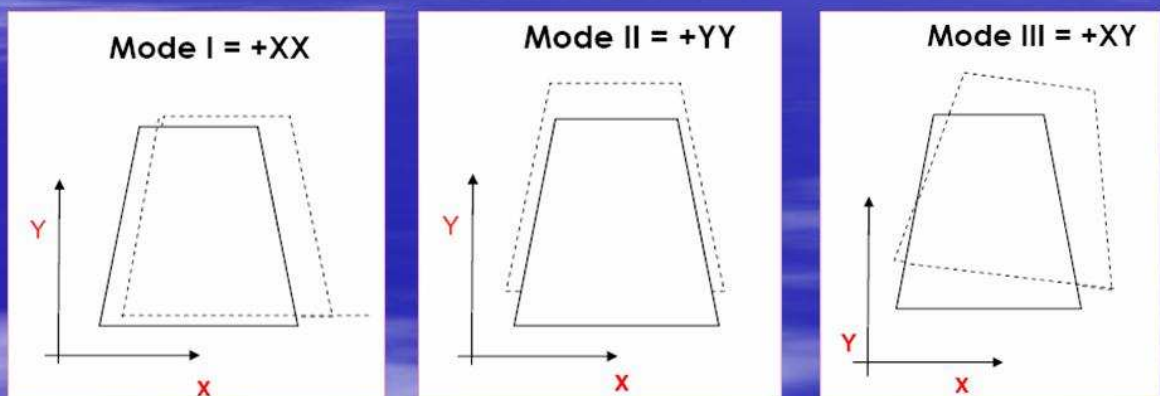
Illustration de la butée mobilisable



Exposé : Modèle de Validation de Conception : par N. TAKORABET (+ J.M. HABLOT / Ph. BUSI) Exposé : Modèles de Validation de Conception / Nacer TAKORABET

20

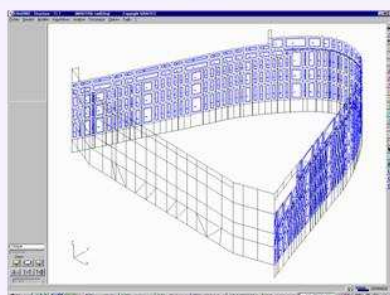
Modes de Basculement de la Tour



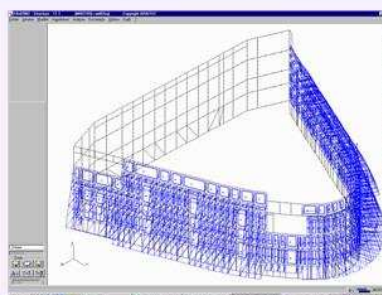
Exposé : Modèle de Validation de Conception : par N. TAKORABET (+ J.M. HABLOT / Ph. BUSI) Exposé : Modèles de Validation de Conception / Nacer TAKORABET

21

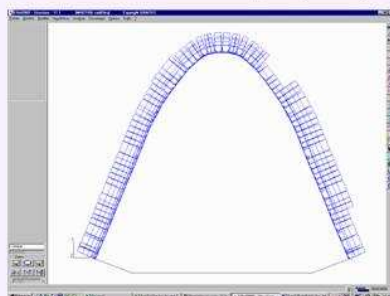
Poussée des Terres



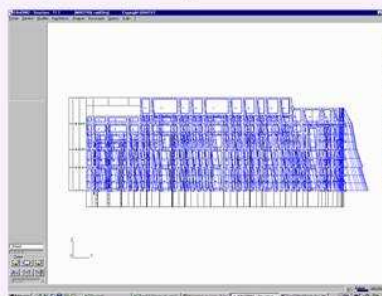
Surface de la Paroi chargée par la poussée



Perspective du diagramme de la Poussée



Vue de en plan du diagramme de la poussée

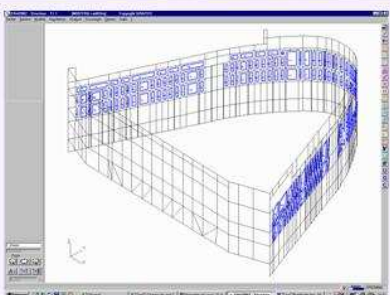


Élévation dans le XY de la poussée

JM.HABLOIT/Ph.BUSIJE Exposé: Modèles de Validation de Conception /
Nacer TAKORABET

22

Butée Mode 2 – YY



Surface de la P. M. mobilisée en Butée

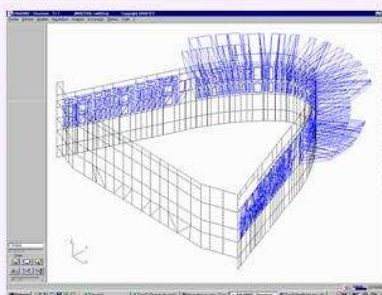
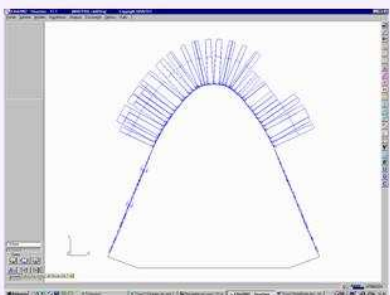
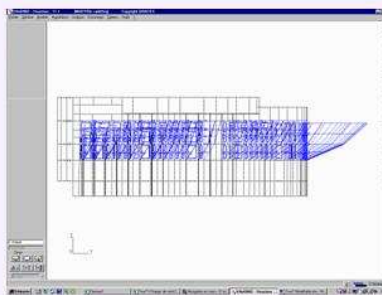


Diagramme de la Butée normale ou tangente



Vue en plan - Butée normale ou tangente

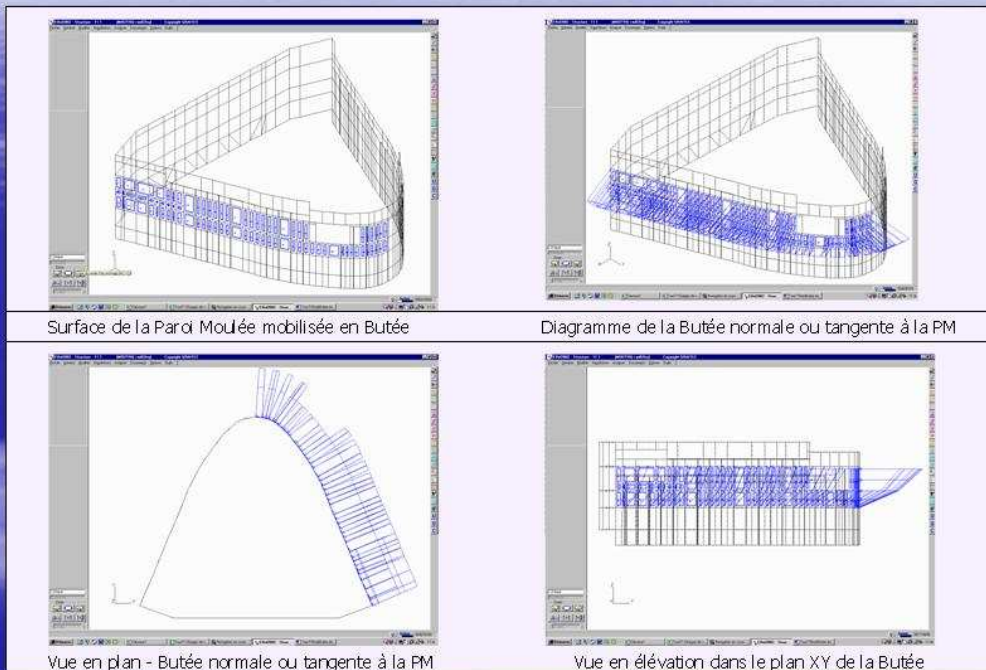


Vue en élévation dans le plan XY de la Butée

JM.HABLOIT/Ph.BUSIJE Exposé: Modèles de Validation de Conception /
Nacer TAKORABET

23

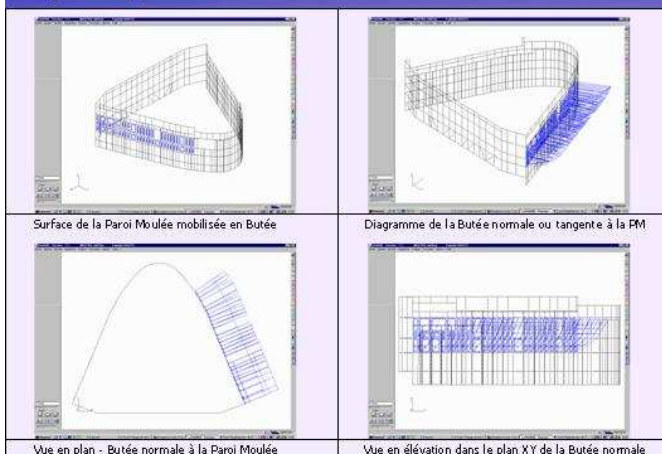
Butée Mode 3 – XY



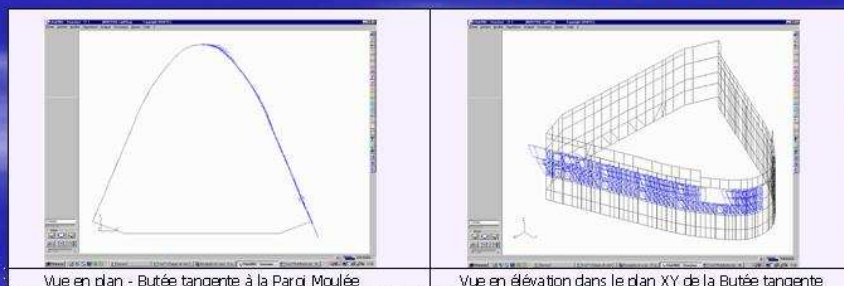
Exposé : JM HABLLOT / Ph. BUSI / Exposé : Modèles de Validation de Conception / Nacer TAKORABET

24

Butée Mode 3 – XX



Butée Tangente associée au Mode XX



Exposé : JM HABLLOT / Ph. BUSI / Exposé : Modèles de Validation de Conception / Nacer TAKORABET

25

Tour T1 MI02 Super : Radier partiel & Paroi Moulée

Evaluation de la Butée à partir du Modèle tronqué de la superstructure MI02 super TRQ

Combinaisons Modèle Complet ELU : G + 1,50' W

COMB	Ux (mm)	Uy (mm)
151	-1	21
152	10	14
153	4	3
154	-2	6
155	8	4
156	6	16
157	-6	12

Dépl. à compenser	Modes
2 + 0,50' (Ux-2)	AXES
-0,5	YY
-2	XY
-3	XY
0	YY
-5	XX
-4	XY
2	XY

G = 201	1,9	11
G+0=202	1,9	11,6

0	-7	YY
0	-6,8	YY

Butée en Intra				Déplac. à obtenir sur		
MI02 Super TRQ			Calage	Modèle complet MI02		
COMB	Ux calculé	Uy calculé	Kp	Ux	Uy	
212	-0.54	-11.72	1.5	-1.54	9.28	Très Bon
317	-5.6	-7.98	0.9	-4.4	6.01	Très Bon
303	-5.65	-2.43	0.2	-1.65	0.57	Ux (?)...Uy OK
210 extrapolé	-2	-4	0.25	-4	2	OK
109	-4.98	-5	0.7	3.02	-4	OK
323	-6.71	-8.97	1.2	-0.71	7.03	OK
312	-4.47	-7.1	0.65	-10.47	4.9	Très Bon
201	0.97	-6.8	0.5	1.9	5.2	Très Bon
201	0.97	-6.8	0.5	1.9	4.8	Très Bon

Combinaisons Modèle Complet ELS : G + W

COMB	Ux (mm)	Uy (mm)
211	0	17,66
212	7,5	12,8
213	3	6
214	0	7,8
215	6	6
216	-5	14
217	-6	12,6

Dépl. à compenser	Modes
2 + 0,50' (Ux-2)	AXES
2 + 0,50' (Uy-2)	
1	YY
-4,75	XY
-2,5	XY
-1	YY
-4	XX
-3,5	XY
2	XY

G = 201	1,9	11
G+0=202	1,9	11,6

0	-7	YY
0	-6,8	YY

Butée en Intra				Déplac. à obtenir sur		
MD2 Super TRQ			Calage	Modèle complet MI02		
COMB	Ux calculé	Uy calculé	Kp	Ux	Uy	
209	-2	-9.89	1.2	-2	7.77	Très Bon
314	-4.88	-7.42	0.75	-2.62	5.38	Très Bon
303	-2.43	-5.65	0.2	-0.57	0.35	OK
210 extrapolé	-2	-5	0.35	-2	2.8	Très Bon
107	-3.99	-4.98	0.5	-2.01	1.02	Très Bon
318	-5.78	-8.08	0.95	-0.78	5.92	OK
313	-4.69	-7.26	0.7	-10.69	5.34	Ux (?). Uy OK

Modèles de Validation de Conception

KORABET

JM HABLOT / Ph. BUSI) Exposé : Modèles de Validation de Conception
Nacer TAKORABET

26

Combinaisons de chargements

Les combinaisons de cas se répartissent en 3 familles :

- « sans poussée ni butée » dans lesquelles aucun effort extérieur venant du terrain n'est appliqué sur les parois,
- « avec poussée sans butée » dans lesquelles le seul effort extérieur venant du terrain appliqué sur les parois est la poussée,
- « avec poussée et butée » dans lesquelles les efforts extérieurs venant du terrain appliqués sur les parois sont la poussée et la butée,

Ces cas de chargements liés au sol sont combinées autres cas de charges G, G', Q et les 7 Vents

Type de Combinaisons de Charges ELU

ELU 1.35 G + 1.5 Q
ELU 1.35 G + Q
ELU 1.35 G + 1.5 Q + 1.35 Poussée sans butée
ELU 1.35 G + 1.5 Q + 1.35 Poussée + Butée
ELU 1.35 G + Q + 1.5 W CSTB + 1.35 Poussée + Butée
ELU 1.35 G + 1.5 Q + W + 1.35 Poussée + Butée
ELU G + G' + 1.5 W + Poussée + Butée
ELU 1.35 G + Q + 1.5 W CSTB sans Poussée ni Butée
ELU G + G' + 1.5 W sans Poussée ni Butée
ELU 1.35 G + Q + 1.5 W + 1.35 Poussée sans butée
ELU G + G' + 1.5 W + Poussée sans butée

5. PRINCIPAUX RÉSULTATS

Résultats des modèles

- Déformation en tête de tour : vérifié sans la butée, 40 % à 60% due au sol
- Contribution de la butée : augmente la rigidité avec écarts 30% sur déformation et 25% sur la période,
- Contraintes de s : inférieure aux contraintes admissibles (Marnes et Caillasses = 1,5 MPa ; Calcaire = 2 MPa),
- Tassements : valeur maximale 7,5 cm < valeur SIMECSOL = 9 cm

Enseignements tirés

- Paroi Moulée surmontée d'une méga poutre de couronnement (H # 3,50m) à l'aplomb des poteaux de super au lieu d'une berlinoise (avec éperons méga longrines de redressement...), Lancement de la Consultation,
- Suppression des allèges de façade et Remplacement par des poutres,
- Validation des sections des porteurs, des quantités d'armatures en jeu et des types particuliers de béton; dans le respect des surfaces de bureaux et en intégrant les modes opératoires de l'entreprise (cadences, préfa, reprises de coulage...),
- Définition des types de béton spéciaux, et de prévoir lancement essais de fluage ⇒ résultats

réalistes 7 mois avant coulage des ouvrages significatifs

- Ajustement du radier de fondations qui s'est avéré « limite » en dimensions (emprise au sol et épaisseur),
- Maîtrise des hypothèses de Vent : rapport d'étude dynamique pas directement exploitable :
⇒ Mission complémentaire confiée au CSTB.

6. CONCLUSION

Cette étude d'avant projet a permis à l'entreprise de :

- maîtriser le comportement de la tour,
- chiffrer de façon fiable,
- s'engager dans un marché d'exécution.

TOUR T1: CONFÉRENCE & VISITE à LA DÉFENSE le 23/01/07

Tour T1 : Tableau de Synthèse des Hypothèses & des Résultats des 8 Modèles

GÉOMETRIE DES MODÈLES

Modèle Noyau	M2	M101	M102	M102 CL TRA	Modèles avec Façade	M101 S. Allg	M102 S. Allg	M102 S. Ptr	Façade Butée	M102 S. Ptr
MODELISATION										
Parties découpées (Noyau, infra, Façade, PM, J) prises en compte dans les différents modèles										
fiche Synthèse	n°1	n°2	n°3	n°3 Bis	n°4	n°5	n°5 Bis	n°6		

HYPOTHÈSES DE BASE

Modèle	M2	M101	M102	M102 CL TRA	M101 S. Allg	M102 S. Allg	M102 S. Ptr	M102 S. Ptr
GEOTECHNIQUE								
Radier Kz, CT/LT (kPa/m)	10/35	35/10	35/11.7	116 (CT)	35/10	35/11.7	35/11.7	35/11.7
Semelle Kz, CT/LT (kPa/m)	-	35/10	35/10.9	130 à 170 (CT)	35/10	35/11.7	35/11.7	35/11.7
Paroi Kx, CT/LT (kPa/m)	-	Sans Objet	15/5	100000 (CT)	35/10	35/11.7	35/11.7	35/11.7
Paroi Kz, CT/LT (kPa/m)	-	Sans Objet	120/40	400 (CT)	35/10	35/11.7	35/11.7	35/11.7

PRINCIPAUX RÉSULTATS

Modèle	M2	M101	M102	M102 CL TRA	M101 S. Allg	M102 S. Allg	M102 S. Ptr	M102 S. Ptr
DEFORMA ^{CON} 200 NGF								
U_{total} Total & U _{total} (mm)	-85 600	-67 239	-60 -260	U _y = 277	-85 600	-67 239	-60 -260	U _y = 277
U_{base} U _{base} /U _{total} (%)	83 %	39 %	48 %	83 %	83 %	39 %	48 %	83 %
U_{base} U _{base} /U _{total} (%)	40 %	39 %	39 %	56.6 %	40 %	39 %	39 %	56.6 %
Inertie équivalente (m ²)	620.8	1505	1414	1360	620.8	1505	1414	1360

Modèle	M2	M101	M102	M102 CL TRA	M101 S. Allg	M102 S. Allg	M102 S. Ptr	M102 S. Ptr
DYNAMIQUE								
Période T (s)	5.56	5.50	5.67	5.78	5.56	5.50	5.67	5.78
Fréquence f (Hz)	0.177	0.182	0.176	0.173	0.177	0.182	0.176	0.173
ACC. Période de Retour 30 ans	6.70	6.70	6.60	12.5	6.70	6.70	6.60	12.5
ACC. Période de Retour 10 ans	7.50	7.50	6.30	10.8	7.50	7.50	6.30	10.8
ACC. Période de Retour 5 ans	5.70	5.70	6.30	8.20	5.70	5.70	6.30	8.20
ACC. Période de Retour 2 ans	4.30	4.30	4.70	6.10	4.30	4.30	4.70	6.10

Modèle	M2	M101	M102	M102 CL TRA	M101 S. Allg	M102 S. Allg	M102 S. Ptr	M102 S. Ptr
D^{FORM} INFRA 44.7 NGF								
U_{base} Pointe arrondie Sud (mm)	-	-	-	-	-0.60 (ex 200)	-0.00 (ex 200)	-1.04 (ex 200)	-2.00 (ex 200)
U_{base} Pointe arrondie Nord (mm)	-	-	-	-	-6.10 (ex 200)	17.66 (ex 200)	1.70 (ex 200)	3.70 (ex 200)
U_{base} Milieu côté courbe (mm)	-	-	-	-	-4.30 (ex 200)	-5.00 (ex 200)	-4.90 (ex 200)	-1.78 (ex 200)
U_{base} Milieu côté courbe (mm)	-	-	-	-	7.00 (ex 200)	14.00 (ex 200)	14.36 (ex 200)	5.30 (ex 200)

Modèle	M2	M101	M102	M102 CL TRA	M101 S. Allg	M102 S. Allg	M102 S. Ptr	M102 S. Ptr
SOL & FONDATION								
Radier : α (kPa)	-	-	-	-	1.01	1.12	1.06	1.21
Semelle filante : α (kPa)	-	-	-	-	1.60	1.52	variante	1.51
Semelle isolée : α (kPa)	-	-	-	-	1.45	1.49	Aléage	1.52
Paroi Mouleée : P (T/m)	-	-	-	-	7.21	143 à 360 t	7.48	141 à 319 t
Radier : f (cm)	-	-	-	-	4.84	4.20	variante	4.28
Semelle filante : f (cm)	-	-	-	-	4.79	4.17	Aléage	4.29
Radi/Sem. fil. : R (cm)	-	-	-	-				
Radi/Sem. iso. : R (cm)	-	-	-	-	2.19 (6.366)	2.05 (6.293)	1.97	2.78 (6.289)
Radi/Sem. iso. : R (cm)	-	-	-	-	1.18 (6.386)	1.55 (6.519)	variante	2.25 (6.357)
Radi/Sem. Noyau : R (cm)	-	-	-	-	0.19 (6.4588)	1.19 (6.1232)	Aléage	1.15 (6.123)

Noyau Seul

Noyau & Infra

Noyau+Infra+Façade

Valeur Limite	Commentaires / Observations
à définir	- Condition vérifiée même sans butée
(à l'ère INDIVIDUELLE, FUENTES)	- Déformation en tête : 40 à 60 % due au sol
HV000 : 800 kN à 2000 kN	- Ok même sans la butée
Voir notes, dpt, Urtas + Elsas	

Valeur Limite	Commentaires / Observations
à définir (T ou f)	- La butée modifie la rigidité en l'augmentant
CTCT : 15 mg (0.015 kN/m², Préventeur)	- écart : 30 % sur déformation; 25 % sur période
Valeur à confirmer avec sa Période de retour	- Calcul à expliciter : méthode d'ordre "Simplest"

Valeur Limite	Commentaires / Observations
Hypothèse BY : 8 mm	
renforcement linéaire max à 47.70 NGF de la Paroi	
ou Bétonné dans le sol	

Valeur Limite	Commentaires / Observations
1.5 MPa	- Marnes et Calcaires :
2.0 MPa	- Calcaire :
2.0 MPa	- Estimation Rapport de Sol Simecol : 9 cm max
L / 500	- Tens. calculé 7,48 on inférieure au Max SIMECOL
F102 S Ptr (m.kN) : 5. ad; Rad : R = 2.39 cm (1,88)	
Effet d'ensemble indispensable	

(voir tableau 1/11) - DCE - Apôse - Modèles de validation de conception

Nacer TAKORABET

30