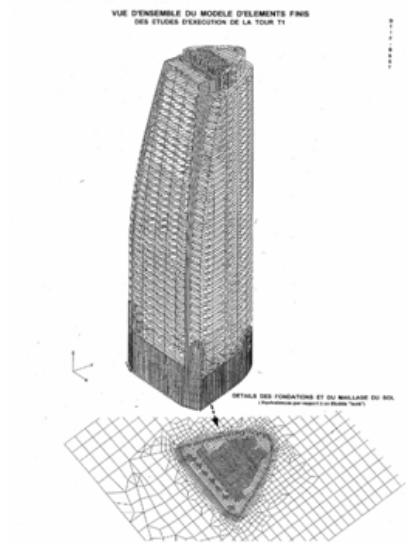


ÉTUDES ET HYPOTHÈSES SPÉCIFIQUES

Principes justificatifs et suivi des affaissements différentiels entre verticaux, *Nicolas BROSSIER*



Phase Étude



En Construction



Images de Synthèse

1 - LES ENJEUX

Dans un bâtiment courant, les porteurs (poteaux et voiles) sont dimensionnés :

- en résistance
- en déformation : souvent négligeable pour les verticaux

En revanche, dans une tour IGH, les déformations verticales ne peuvent pas être négligées. Dans le cas de la tour T1, les ordres de grandeur sont les suivants :

- Voiles : 90 à 170 mm
- Poteaux : 130 à 200 mm

(Somme des déformations toute hauteur + tassements)

Les spécificités des IGH sont :

Leur grande hauteur

Des charges permanentes et d'exploitation élevées

L'utilisation des bétons hautes performances (BHP) permet de réduire les sections des poteaux.

Pour la génération des tours récentes (comme T1), on rencontre couramment une conception du type suivant :

Façade structurelle « fine » : poteau - poutre
Noyau dimensionné par le contreventement et les circulations verticales

Des cas de sinistres et de désordres ont été observés dans des tours similaires :

- Panneaux de façade brisés
- Planchers en pente

D'autres risques sont à envisager après livraison :

- inversion de pente des réseaux gravitaires
- détérioration des revêtements de sol et cloisons fragiles

ou en cours de chantier :

- support béton incorrect (planéité insatisfaisante vis-à-vis des corps d'état)

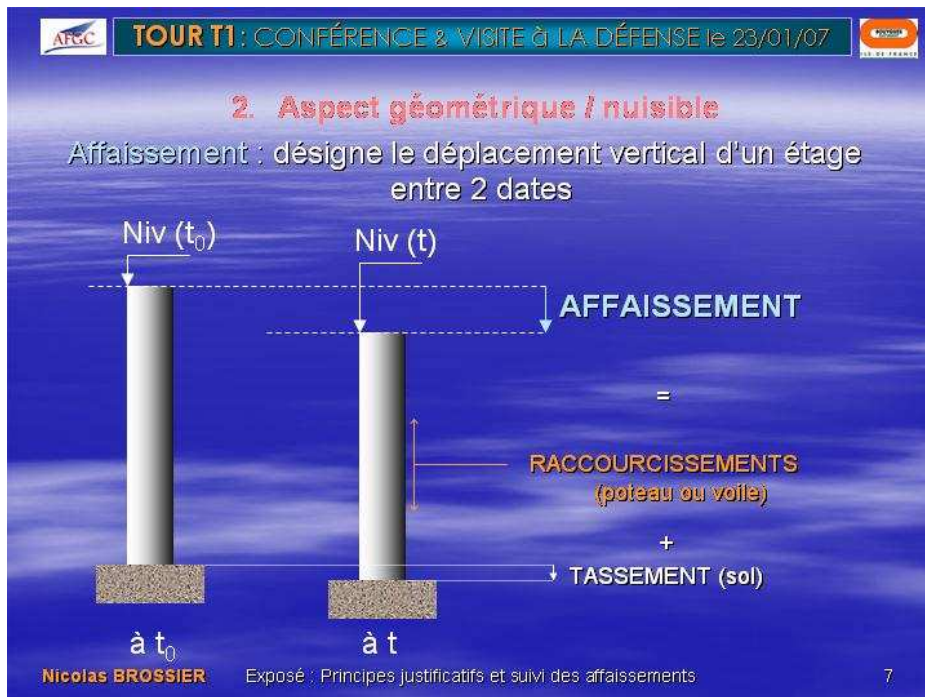
Les modèles aux éléments finis utilisés pour le dimensionnement des tours permettent de calculer des déformations verticales. Cependant, la plupart présentent des insuffisances :

- Construction non phasée
- Pas d'historique de chargement
- Lois de comportement béton «classiques»

(non liées à un âge et un calendrier)

⇒ D'où la nécessité d'une étude spécifique, avec pour objectif : la justification des affaissements théoriques

2 - ASPECT GÉOMÉTRIQUE / ASPECT NUISIBLE



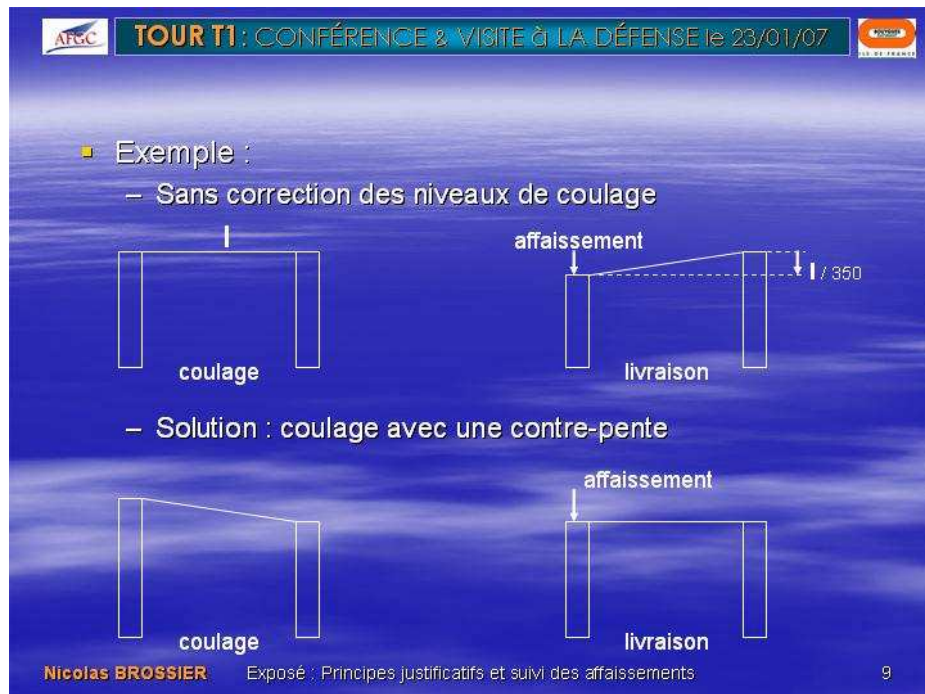
Le sujet des affaissements est étudié sous 2 aspects : géométrique et nuisible

▪ Aspect géométrique :

Il faut s'assurer que la géométrie du support béton respecte certains critères à une date donnée

Par exemple : pente des planchers à la livraison inférieure au 1/350e de la portée

Cet aspect peut être traité en jouant sur les niveaux de coulage



▪ Aspect nuisible :

On doit s'assurer que les déformations différentielles n'engendrent pas de désordres dans les revêtements et cloisons ou des dysfonctionnements des équipements

Par exemple : ouverture ou pincement excessif des joints de façade

Cet aspect est indépendant d'un éventuel rattrapage de niveau de coulage

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

■ Exemple : avec pose des façades horizontale

– Coulage horizontal :



10 ans

– Coulage avec contre-pente :



10 ans

Nicolas BROSSIER Exposé : Principes justificatifs et suivi des affaissements 11

L'affaissement nuisible dépend :

- des sections des porteurs
- des qualités de béton
- des ratios d'aciers
- des charges appliquées et de leur historique
- des tassements du sol
- du planning de pose des éléments « fragiles »

C'est un élément dimensionnant.

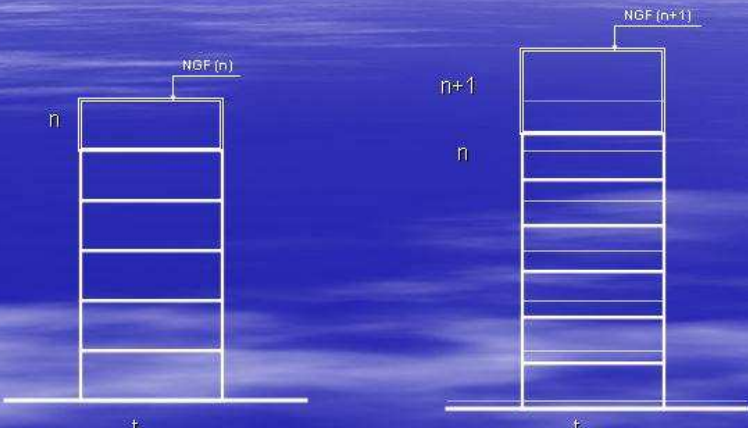
Il permet de justifier les affaissements.

3- PRINCIPES DE CALCUL DES AFFAISSEMENTS THÉORIQUES

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

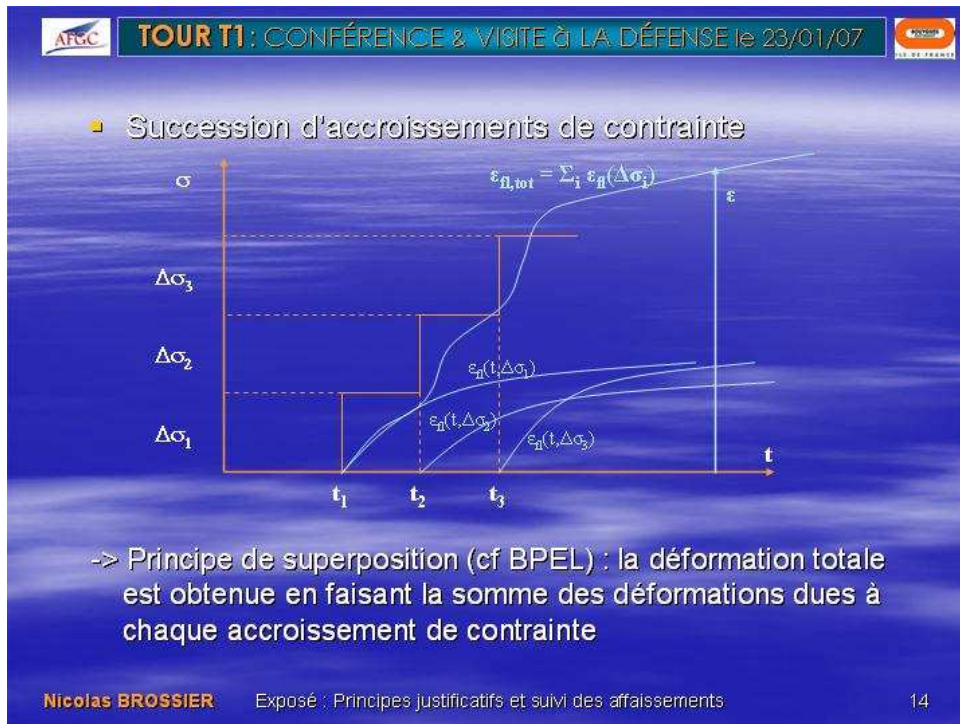
3. Principes de calcul des affaissements théoriques

■ Construction par phases successives



Prise en compte de l'historique de construction et de chargement

Nicolas BROSSIER Exposé : Principes justificatifs et suivi des affaissements 13



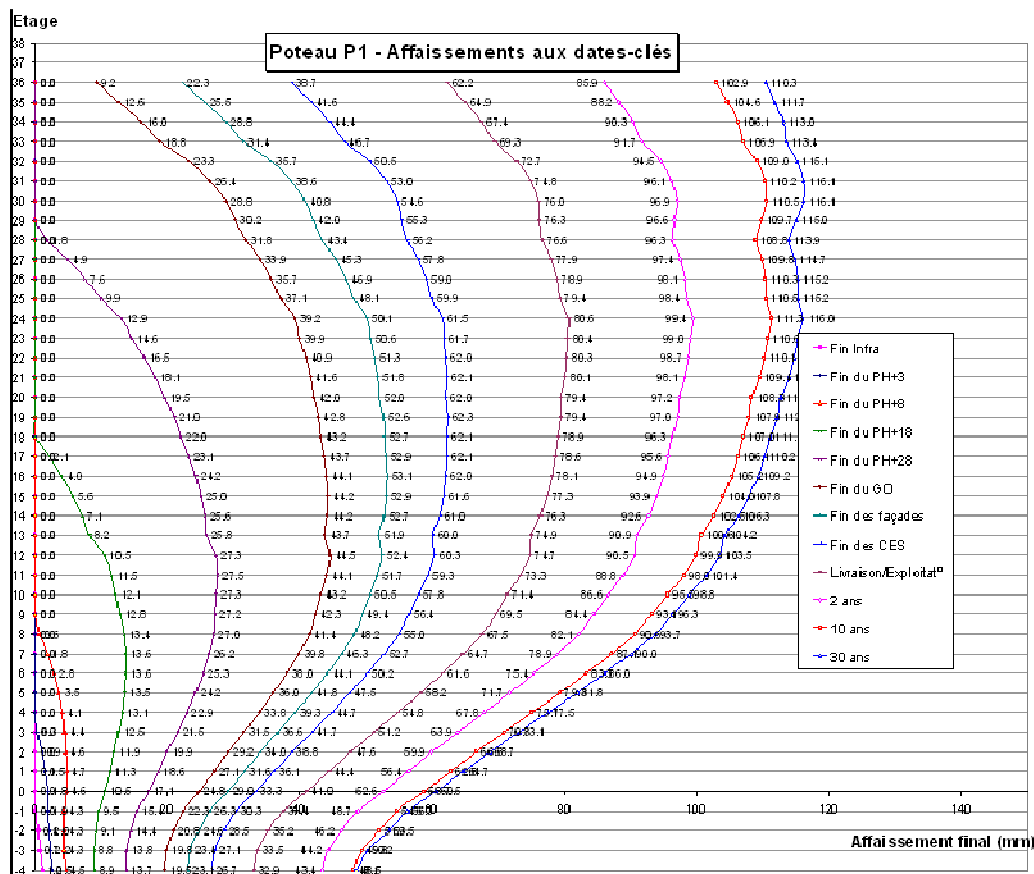
Résultats bruts :

Pour chaque étage n et chaque date t, on obtient $S_n(t)$ = la somme des raccourcissements et tassements sur les niveaux inférieurs à n, à la date t

Affaissements :

L'affaissement total du niveau n à t est donné par :

$A_n(t) = S_n(t) - S_n(t_0)$, où t_0 = date de coulage du PH n

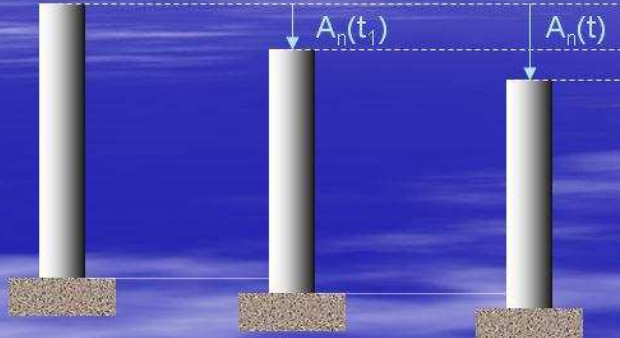


4 - JUSTIFICATION DES AFFAISSEMENTS NUISIBLES

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

4. Justification des affaissements nuisibles

■ Résultat à obtenir : Affaissement différentiel nuisible



Affaissement Nuisible =
 $A_n(t) - A_n(t_1)$
 $= S_n(t) - S_n(t_1)$

Nicolas BROSSIER Exposé : Principes justificatifs et suivi des affaissements 17

- Résultat à obtenir : Affaissement différentiel nuisible

Il faut calculer, pour chaque étage, l'affaissement à chacune des dates suivantes :

- intervention des corps d'état en :
 - façade
 - faux-plafond
 - faux-plancher

- dates-clés :

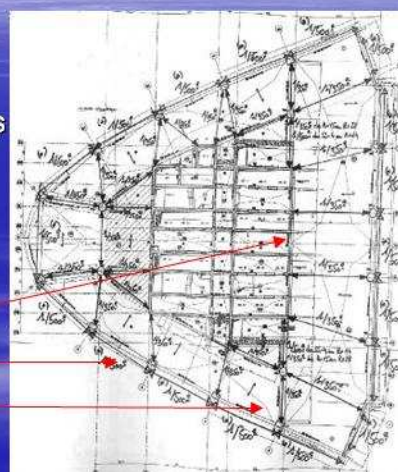
- livraison
- 2 ans
- 10 ans
- 30 ans

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

Exploitation des résultats :
 On compare les affaissements nuisibles entre 2 porteurs voisins

■ Critères « courants » :

- 1/500e : zones « fragiles » :
 - Sanitaires
 - Façades
- 1/350e : zones courantes



Nicolas BROSSIER Exposé : Principes justificatifs et suivi des affaissements 19

L'exploitation peut s'avérer laborieuse car il s'agit de comparer des affaissements entre porteurs pour de nombreux cas de charges si possible concomitants :

- 54 porteurs $\Rightarrow$ 62 couples de porteurs

- 41 étages (SS-4 à R+36)
- 4 dates-clés

$\Rightarrow$ Environ 10 000 comparaisons pour une seule série de données !

Dans le cas de T1, cette analyse préalable a permis :

- de valider les sections des porteurs
- d'ajuster les qualités de bétons et les quantités d'aciers, dans le respect des objectifs
- d'identifier 2 risques sur les zones archives et la façade $\Rightarrow$ des mesures conservatoires ont été prises dès la phase des études générales

5- Essais et ajustements

Des essais en laboratoire ont été menés pour valider les hypothèses de comportement du béton :

- Essais de résistance et de module sur éprouvettes à 7, 14 et 28 jours
Objectif : valider f_{cj} et E_{ij}
- Essais de chargement non destructifs (pendant 12 mois)

Objectif : valider le modèle comportemental et ajuster les paramètres pour le calcul du retrait et du fluage

L'analyse des essais a permis de conclure que :

- Les résultats sont en accord avec le modèle réglementaire « AFREM » (annexe 14 du

BPEL) $\Rightarrow$ le calcul théorique est validé sur la base du comportement réel des matériaux

- La formulation du béton du noyau devait être ajustée (C60 trop «raide») pour limiter le différentiel avec la façade

6- Contrôle géométrique et suivi

Première phase : traitement de l'aspect géométrique

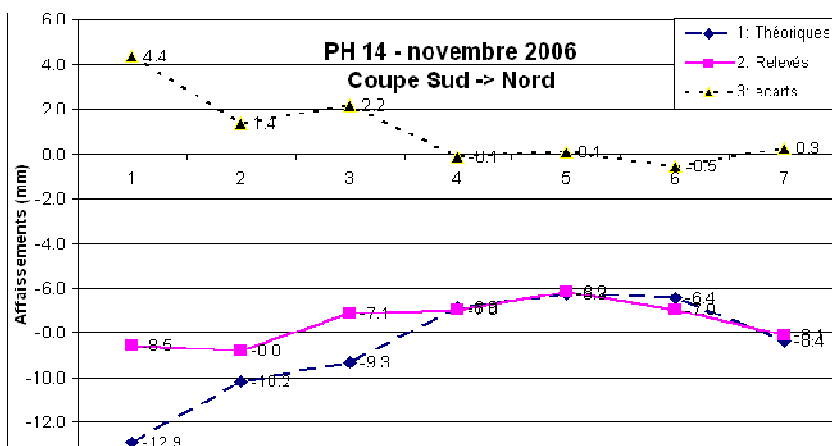
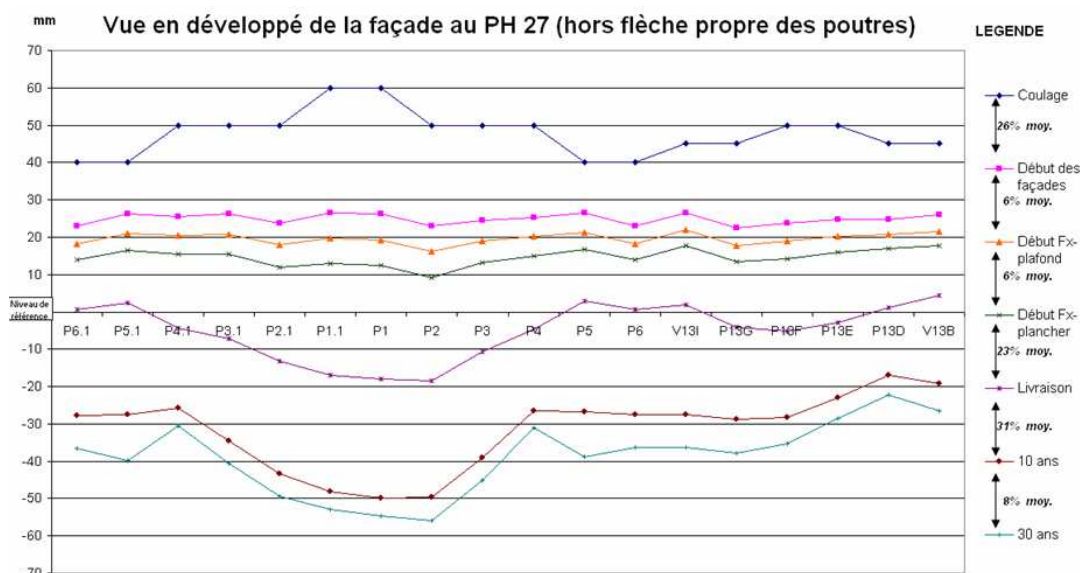
Les niveaux de coulage sont ajustés pour que :

- La rive du plancher soit pratiquement horizontale (à +25mm p/r NGF théorique) à la réception du support par le façadier
- Chaque étage soit globalement au niveau NGF théorique le jour de la livraison du bâtiment.

Nota : cette disposition est hors tolérance d'exécution

Deuxième phase : contrôle des déformations in situ

- Le géomètre du chantier mesure régulièrement les altimétries de 39 repères sur 8 étages de référence
- Les déformations observées sont comparées aux valeurs théoriques calculées précédemment :

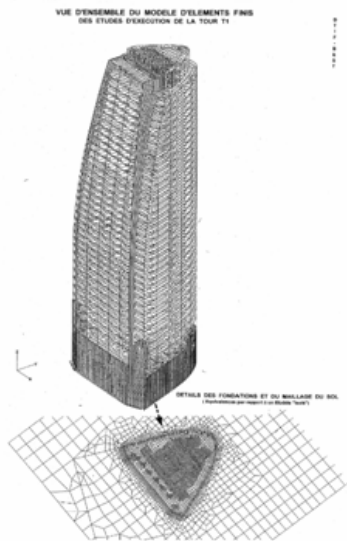


Conclusions (à ce jour) :

- Les affaissements totaux mesurés sont du même ordre de grandeur que la théorie
- Les affaissements différentiels relevés restent en deçà des critères limites choisis

ÉTUDES ET HYPOTHÈSES SPÉCIFIQUES

Etude aérodynamique en soufflerie - Incidence du changement de coiffe, Nacer TAKORABET



Phase Étude



En Construction



Images de Synthèse

1. INTÉRÊT ET NÉCESSITÉ DU RECOURS AUX ESSAIS EN SOUFFLERIE

Approche plus réaliste et globale tout indiqué pour les bâtiments élancés et/ou de géométrie « audacieuse » pouvant être sensible aux oscillations et avoir une incidence sur les avoisinants pour plusieurs directions du vent.

- ⇒ Tester voire Optimiser en phase de conception les géométries d'ouvrages dans leur environnement,
- ⇒ Étudier l'impact du projet sur l'environnement proche et les usagers,
- ⇒ Prendre en compte les interactions Vent-Structure avec les variations temporelles du vent,
- ⇒ Prendre en compte l'environnement pour les effets sur le bâtiment projeté

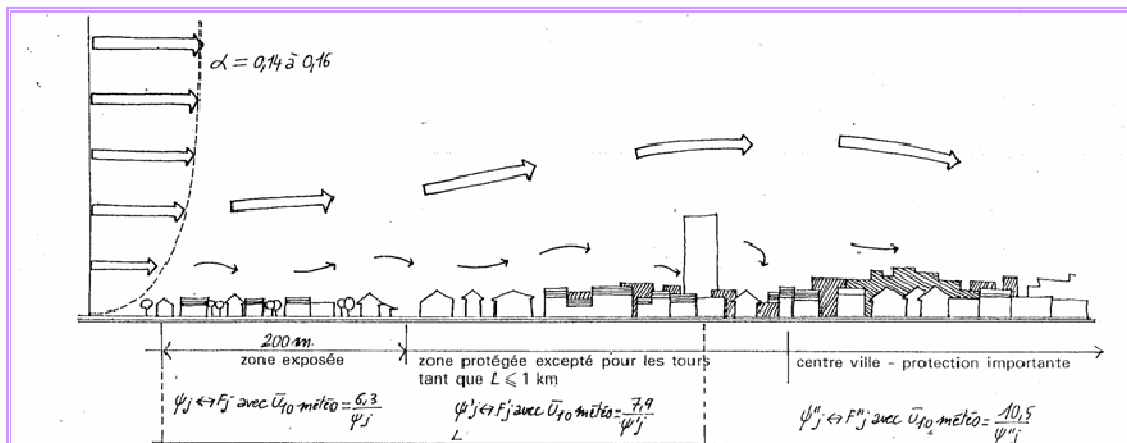


Illustration de l'Action du Vent en Zone Urbanisée

Incidence de la rugosité urbaine sur la variation (logarithmique) de la vitesse moyenne du vent avec la hauteur.
3 zones sont mise en évidence : Zone exposée; zone protégée exceptée les tours; centre ville protégée

2. HYPOTHÈSES DES ESSAIS EN SOUFFLERIE

Essais soufflerie sur bases Eurocode 1

Simulation expérimentale du Vent en Soufflerie par le CSTB sur maquette 1/200ème sur un rayon de 360 m autour de la tour intégrant les autres tours avoisinantes à

l'intérieur de ce rayon (ELF, Framatome, Cœur Défense, CBX,...).

Vent de référence Vref

Vent de Référence Vref correspondant vitesse moyenne sur 10 mn à 10 m du sol d'un terrain de rugosité rase campagne (catégorie 2),

Probabilité annuelle de dépassement de 0.02 $\Rightarrow$ période de retour de 50 ans,

Paris : $V_{ref} = 26 \text{ m/s}$.

Rugosité du site de La Défense

► Secteur Nord-Est à Sud-Est 60 à 160°

Zones urbaines : bâtiments occupant au moins de 15 % de la surface et de hauteur moyenne supérieure à 15 m

$\Rightarrow$ Zones Bâties de la Ville de Paris

- Vent Catégorie 5; $K_t = 0.25$; $z_0 = 2 \text{ m} \Rightarrow V_{ref} \text{ moy (186 m)} = 29.5 \text{ m/s}$

► Autres directions : 0-59° et 161-360

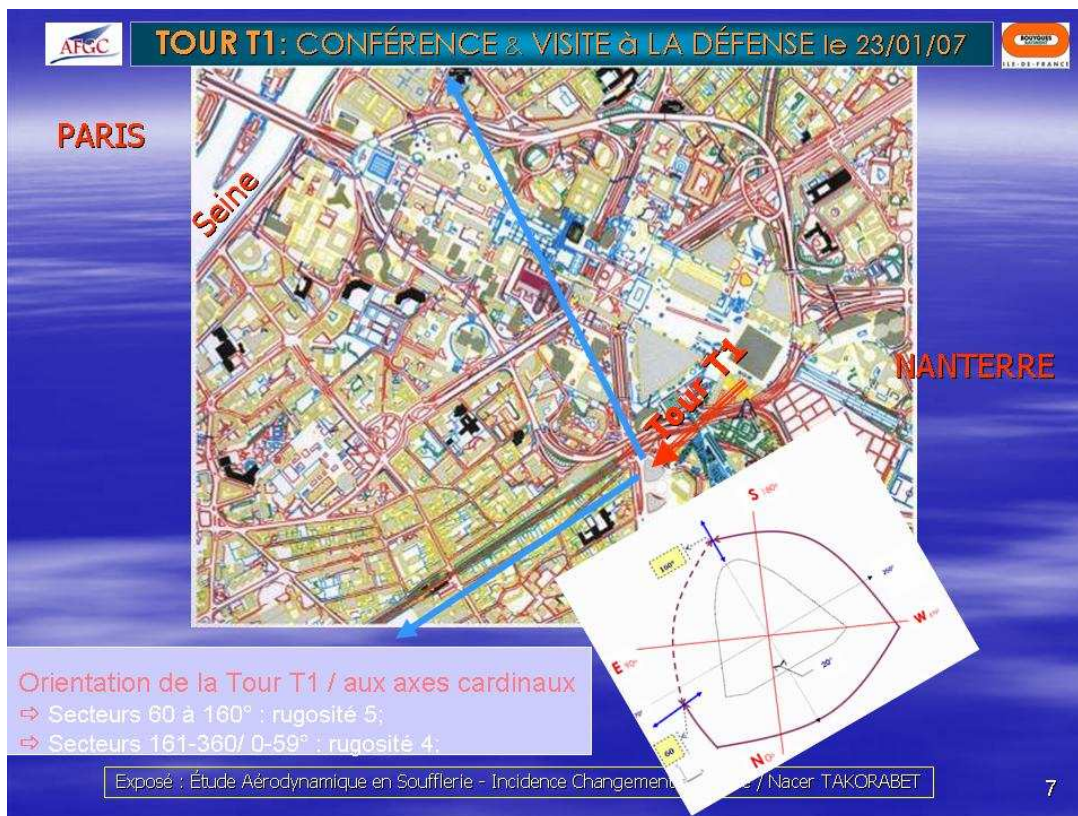
Zone urbanisée, industrielle et forestière (de moindre rugosité)

$\Rightarrow$ au Sud, Bois Boulogne & Seine; au Nord et Ouest, Banlieue

- Vent Catégorie 4; $K_t = 0.23$; $z_0 = 0.75 \text{ m} \Rightarrow V_{ref} \text{ moy (186 m)} = 33 \text{ m/s}$

► Valeurs caractéristiques à utiliser

- Sans majoration pour les vérifications à l'ELS
- Majorées de 50 % pour les vérifications ELU.



Caractéristiques modales de la tour (sans la butée du sol contigu ni masse du radier)

Masse T/ml en fonction de la hauteur

Tronçon Vertical	NGF 1	NGF 2	Masse
Infrastructure	32	50	1290
Super haute tech.	50	94	700
Batterie basse	94	125	770
Batterie interm.	125	160	710
Batterie haute 1	160	172	780
Batterie haute 2	172	204	530
Locaux techniques	204	214	330
Coiffe	214	235	10

8 Premiers Modes

MODE NO.	FREQUENCY (Hz)	PERIODES (s)	
1	3.003171E-01	3.30	Translation X
2	3.060260E-01	3.27	Translation Y
3	5.088037E-01	1.97	Torsion
4	1.155532E+00	0.87	2e Mode Translation X
5	1.236780E+00	0.81	2e Mode Translation Y
6	1.399105E+00	0.71	
7	2.050467E+00	0.49	
8	2.425364E+00	0.41	

- Masse total de la Tour est de l'ordre de 150000 tonnes.

- Amortissement Modal rapporté au Critique : 1%

3. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL DE LA SOUFFLERIE

Conception de la maquette

- Maquette de la Tour : rigide en plexiglas; échelle 1/200e; enveloppe externe apparente exposée au vent (intérieur vide),
- Environnement urbain proche provoque des effets de masque, de contournement et de sillage $\Rightarrow$ reproduit sur un rayon de 360 m qui intègre les bâtiments existants,
- maquette d'environnement conçue en disque tournant pour que l'axe de symétrie de la maquette de la tour puisse former successivement les d'angles adéquats avec l'unique direction du vent généré.
- Rugosité de l'environnement lointain du site est reproduite à l'aide de rugosités distribuées sur le plancher de la soufflerie à amont de la maquette d'essais et de son environnement proche.

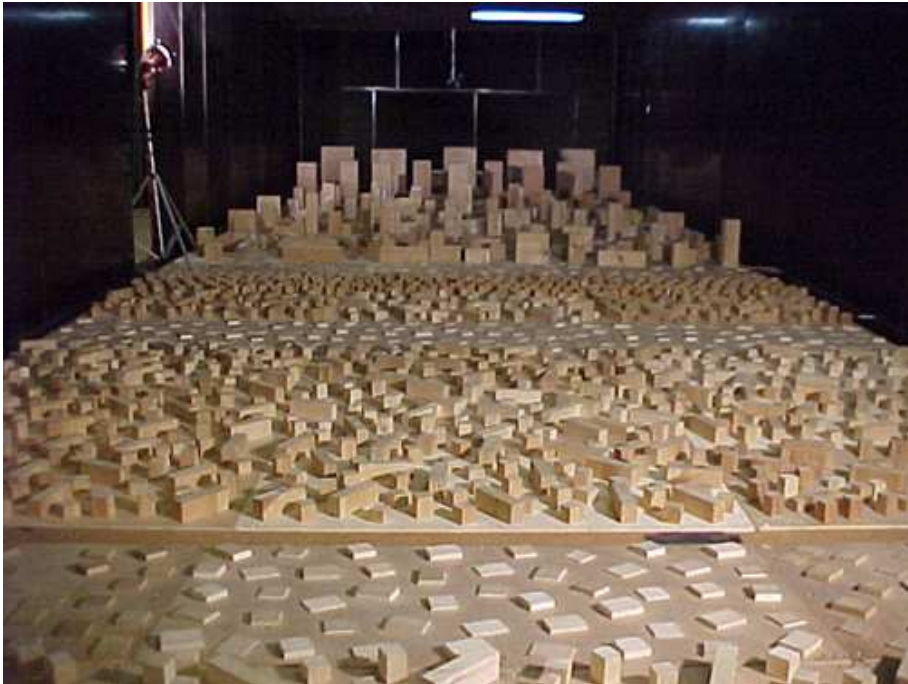


Maquette de la Tour T1 : Rigide en plexiglas échelle 1/200e - Façades Nord & N/O et Bâtiments proches



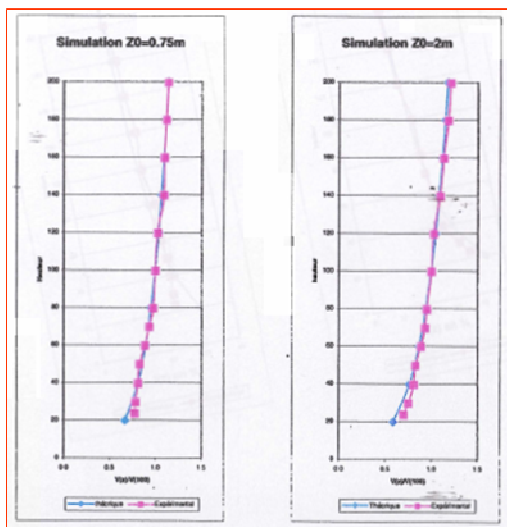
Maquette de l'environnement proche

- $\Rightarrow$ Sur un rayon d'environ 400 m centré sur la tour T1 et intègre notamment les tours Egée, Adria, Elf, Fiat, Esplanade, le CNIT et l'Arche de la Défense, etc...
- $\Rightarrow$ Conçue tournante pour former successivement les d'angles adéquats avec l'unique direction du vent généré



Rugosité dans la veine d'essais (en amont de la maquette d'essais)

Vref moy / qref 50 ans sommet tour (186 m)
 Rugosité 5: 29,5 m/s 53,3 daN/m²
 Rugosité 4: 33,0 m/s 66,7 daN/m²



Gradients de vitesse pour les deux rugosités

Soufflerie atmosphérique

Essais de simulation à échelle réduite des écoulements atmosphériques turbulents avec reproduction des effets du vent dans les conditions naturelles et de l'environnement proche.

① - Veine principale

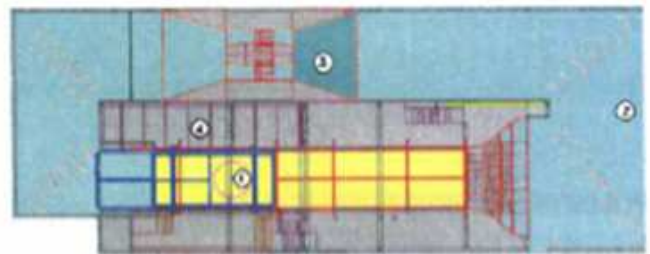
- L = 20 m; l = 4 m, H réglable de 2 à 3 m;
- Vitesse de l'écoulement = 0 à 30 m/s
- Reproduction du vent naturel à échelle réduite
- Table tournante et support de sonde pilotés par microprocesseur

- Chambre de visualisation laser
- Fosse de mesure

② - Écoulement de retour

③ - Propulseur avec hélice à pas variable

④ - Caisson de mesures/informatiques



Directions de vent

- Conformément au repère météorologique. En général, un vent de direction 0° vient du nord. Un vent de direction 90° vient de l'Est.
- Scrutation en direction est réalisée par pas de 20° : 0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240 260 280 300 320 340

Équipements de mesures

- Prises de Pressions : L'enveloppe est équipée de quelques centaines de points de prises de pression connectées à autant de capteurs de pressions.

Cette instrumentation permet de connaître, de façon instantanée et synchrone, la répartition des pressions sur la surface du bâtiment.

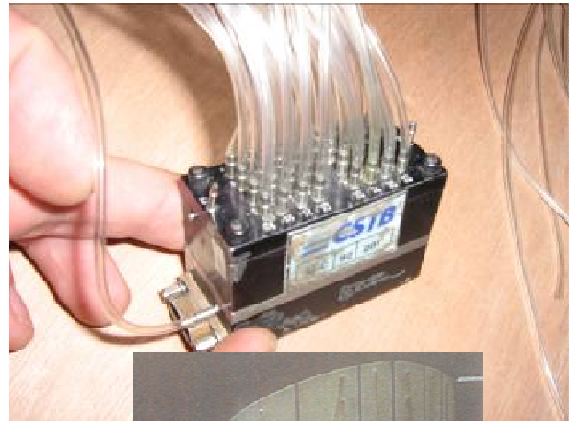
Nota : Le vent n'étant pas généré à l'intérieur de l'enveloppe, la pression interne n'est pas mesurée contrairement aux éléments dont les deux faces sont exposées au vent comme les auvents,

- Balance de Pesées : évaluation du torseur global de l'action du vent sur la tour par pesée directe grâce à une balance dynamométrique à 6 composantes introduite à la base de la maquette,
- Ces pesées servent de valeur de référence : elles permettent notamment de vérifier la validité des intégrations des prises de pression..
- Positionnement des prises de Mesures : répartis sur l'enveloppe externe avec distribution en hauteur décrivant des « couronnes » de mesures horizontales à positionner idéalement sur les niveaux des planchers.



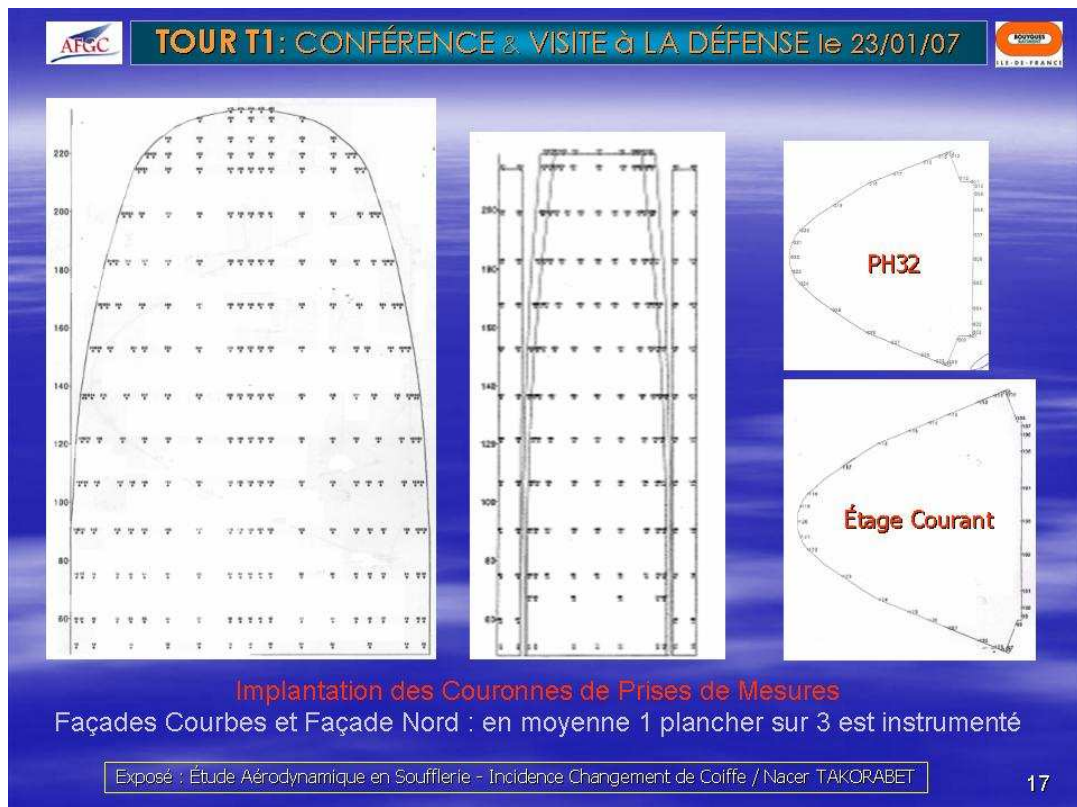
Balance de pesées

- ⇒ Torseur Global à la base de Maquette par direction
- ⇒ Validation des intégrations des prises de pression



Capteur de Pression Multivoie

- ⇒ 32 voies de mesures synchrones/capteur
- ⇒ 16 Capteurs connectés à autant de prises de pressions; soit $16 \times 32 = 512$ points de prises de pressions sur la maquette



Etage N°	H étage (m)	Plancher (NGF)	CSTB (NGF)	Ecart (m)
	4.76	235.00	235.00	0.00
Coiffe	4.76	230.82	230.82	0.00
	4.76	224.00	224.00	0.00
	4.76	218.64	218.64	0.00
39	4.76	214.59	213.54	1.05
36	4.08	199.80	198.24	1.56
32	3.91	183.99	181.92	2.07
28	3.91	168.35	166.96	1.39
24	3.91	152.71	152.00	0.71
20	3.91	137.07	135.68	0.00
16	3.91	121.43	120.72	0.71
12	3.91	105.79	105.79	0.00
8	4.93	89.13	89.44	-0.31
5	4.93	74.31	74.14	0.17
4	4.93	69.41	66.49	2.92
2	4.93	59.55	58.80	0.75
0	4.93	49.69	50.00	-0.31

Les couronnes de mesures des pressions ne coïncident pas toutes avec les planchers :

Pour les cas courants de bâtiment avec des façades en murs rideaux appuyés horizontalement sur les planchers, il est judicieux de prévoir les couronnes de mesures au niveau des planchers.

Exposé : Étude Aérodynamique en Soufflerie - Incidence Changement de Coiffe / Nacer TAKORABET

18

4. RÉSULTATS PRÉSENTÉS

↳ Façades

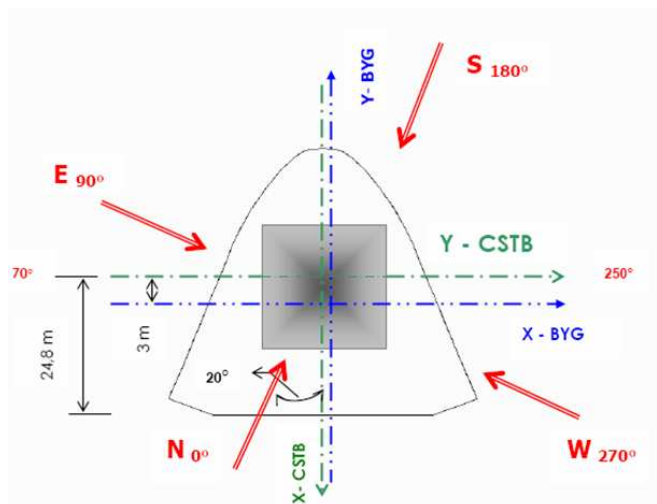
- Différences de pressions extrêmes/enveloppes Max et Min mesurés.

↳ Structure

- Torseurs d'efforts quasi-statiques globaux concomitants à la base de la tour,
- Torseurs quasi-statiques globaux concomitants sur toutes les couronnes,
- Coefficients d'amplification dynamiques C_d (Min/Max) concomitants pour le mode principal et les pseudo-coefficients des modes secondaires participatifs (à 40%),
- Torseurs d'efforts dynamiques (de même type que les torseurs quasi-statiques).

↳ Éléments singuliers

- Effets locaux sur éléments singuliers (auvents, acrotères,...) : torseurs enveloppes (Min/Max) toutes directions confondues.



Changement d'Axes : CSTB à BYG

$$X_{BYG} = Y_{CSTB}$$

$$Y_{BYG} = -X_{CSTB}$$

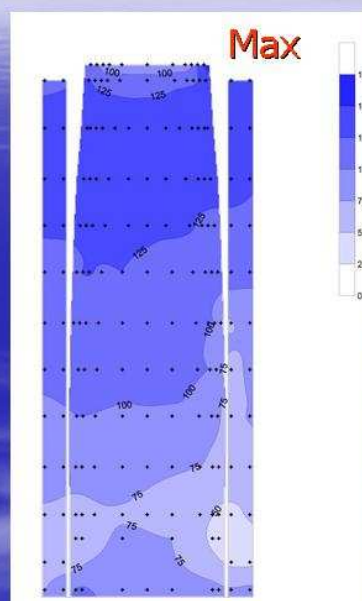
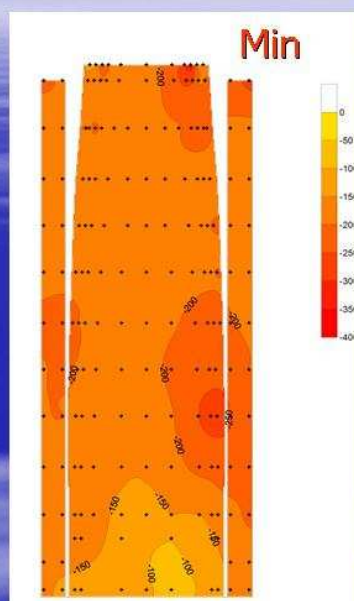


TOUR T1: CONFÉRENCE & VISITE à LA DÉFENSE le 23/01/07



➤ Résultats : Isovaleurs des Pressions Mesurées

FACADE NORD



Charges Locales Externes Enveloppes
toutes Directions Confondues (non Concomitants)

Exposé : Étude Aérodynamique en Soufflerie - Incidence Changement de Coiffe / Nacer TAKORABET

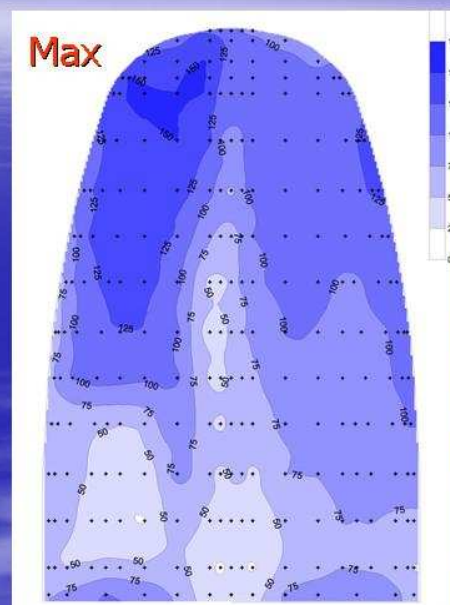
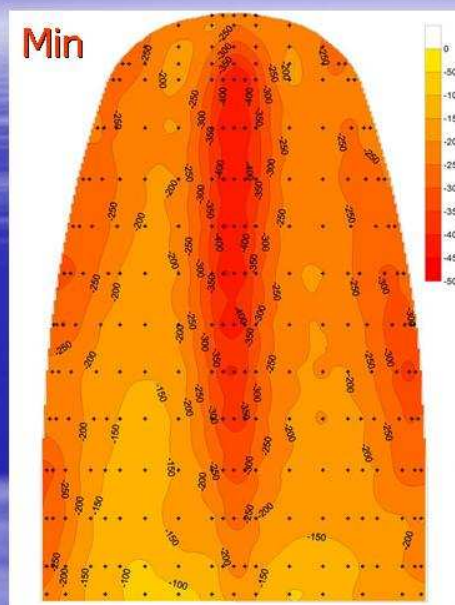
21



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



FACADES SE & SW



Charges Locales Externes Enveloppes (daN/m²)

Compression jusqu'à « 150 » en tête de tour

Arrachement jusqu'à « -400 » en façade sud et « -300 » sur les arêtes

Exposé : Étude Aérodynamique en Soufflerie - Incidence Changement de Coiffe / Nacer TAKORABET

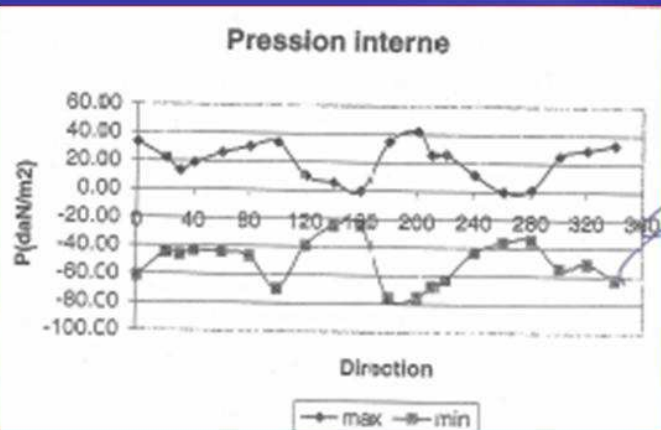
22

➤ Résultats : Pressions Internes Calculés

Unique et Constante par direction à cumuler avec les charges externes

Pression Interne
Synthèse résultats

Direction (degré)	Valeur maximum (daN/m ²)	Valeur minimum (daN/m ²)
0	33.32	-61.40
20	22.29	-44.85
30	13.46	-45.99
40	19.00	-43.15
60	26.21	-43.94
80	30.81	-46.61
100	33.97	-39.66
120	10.39	-38.88
140	5.72	-25.00
160	0.00	-34.14
180	34.85	-75.58
200	42.29	-75.20
210	25.65	-67.20
220	25.14	-62.60
240	11.87	-43.15
260	0.00	-36.09
280	1.30	-34.01
300	25.31	-54.36
320	23.57	-50.93
340	33.35	-62.28



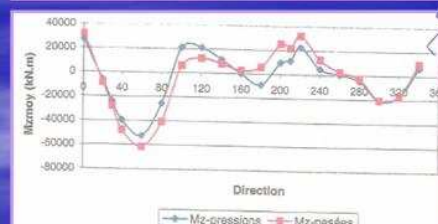
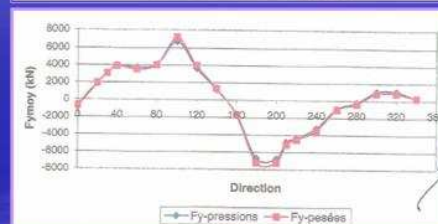
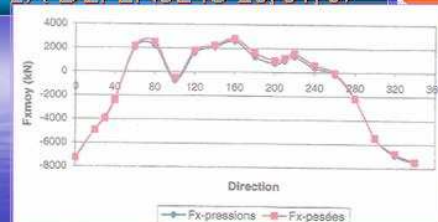
Exposé : Étude Aérodynamique en Soufflerie - Incidence Changement de Coiffe / Nacer TAKORABET

23

➤ Résultats : Torseurs Quasi-statiques Globaux Moyens à la base de la tour

Direction	Fx kN	Fy kN	Mx kN.m	My kN.m	Mz kN.m
0	-7235.2	-621.4	-135203.8	-676401.3	31917.7
20	-4899.9	1997.1	124230.4	-460617.3	-8355.7
30	-3943.9	3073.7	242484.3	-364513.9	-28061.6
40	-2386.9	3893.2	338615.9	-216064.5	-47764.7
60	2182.2	3526.7	319352.3	201107.4	-61497.3
80	2519.5	4051.8	396882.3	228190.6	-40804.3
100	-490.0	7164.1	717896.9	-117537.6	6248.2
120	1802.6	3974.2	416580.7	126498.7	12388.9
140	2264.1	1345.3	140536.9	195754.3	7843.5
160	2825.0	-1700.0	-183974.3	278990.9	2811.0
180	1647.9	-7204.4	-756378.2	150494.2	5680.0
200	1004.9	-7185.2	-723931.9	96898.4	25390.9
210	1193.5	-5079.8	-518541.2	140644.2	21928.7
220	1568.0	-4547.3	-466332.4	192856.0	32267.6
240	609.5	-3481.8	-350167.3	97625.9	12478.6
260	-52.9	-1060.2	-130057.6	-45193.1	2467.5
280	-2186.8	-370.1	-38350.2	-286449.6	-2678.3
300	-5480.8	841.3	132752.7	-556789.4	-20518.3
320	-6782.9	860.6	112972.1	-603433.4	-16636.1
340	-7463.4	276.5	35489.7	-648962.0	9605.2

Efforts Globaux Moyens
Pesées Directes



Comparaisons Pesées Directes
et Intégration des Pressions

Exposé : Étude Aérodynamique en Soufflerie - Incidence Changement de Coiffe / Nacer TAKORABET

24

Tri des 120 torseurs dynamiques

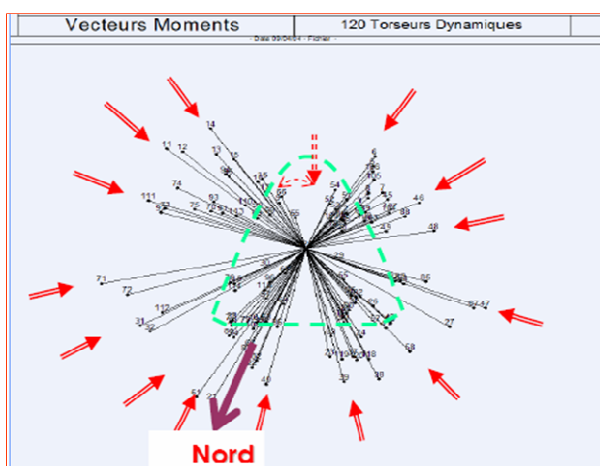
- Tracé des 2 roses des vents 120 torseurs dynamiques globaux à la base de la tour : Vecteurs Tranchants et vecteurs moments;

$$Mrés\ dyn = \sqrt{(Mx^2 + My^2)}$$

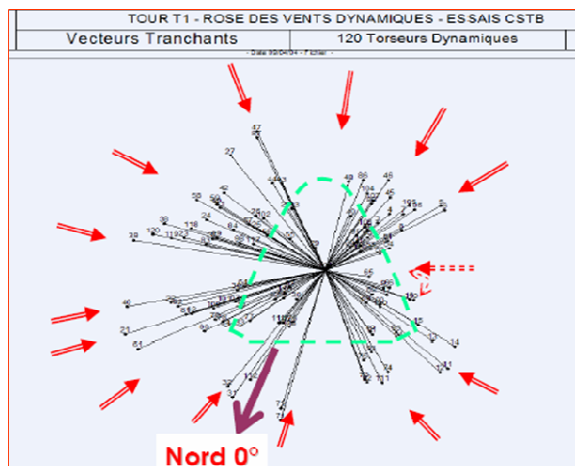
$$Trés\ dyn = \sqrt{(Fx^2 + Fy^2)}$$

- .Mrés et Trés ne couvrent pas mêmes secteurs d'angles : la comparaison et la sélection des torseurs portent sur ces 2 vecteurs simultanément,
- 3 Premiers Modes pour la détermination des amplification dynamique des torseurs quasi-statiques,
- Critère Torsion : pour départager 2 Torseurs équivalents Mrés et Trés, on examine le moment de torsion ou retenir la torsion du torseur concurrents.

➤ Sélection de 15 Cas 120 = 2(Min, Max)*3(Fx Fy Mz)*20(Directions)



Roses des 120 vents dynamiques :
Vecteurs moments globaux à la base de la tour



Roses des 120 Vents Dynamiques :
Vecteurs tranchants

N° Torseurs	Directions	Type	Coefficients Dyn. Cd		
6	80°	Fx max	1,64	0,81	0,79
10	160°	Fx max	1,63	0,84	0,91
11	180°	Fx max	2,20	0,89	0,62
14	220°	Fx max	2,19	1,05	0,89
21	0°	Fx min	1,26	1,71	1,14
31	180°	Fx min	3,53	1,16	1,02
33	210°	Fx min	2,37	0,68	0,75
39	320°	Fx min	1,28	0,91	0,86
40	340°	Fx min	1,24	1,13	0,67
46	80°	Fy max	0,87	1,23	0,85
47	100°	Fy max	1,37	1,25	1,15
48	120°	Fy max	0,52	1,39	0,61
58	300°	Fy max	1,03	2,13	0,84
71	180°	Fy min	1,69	1,37	0,91
111	180°	Mz min	1,02	1,03	1,75

Torseurs sélectionnés

Tableau 7.2

LES 15 TORSEURS DYNAMIQUES DE VENT SELECTIONNES

Torseur Dynamique de composante principale Fx - Fx maximal										Torseurs Quasi-Statiques : Pour Mémoire									
α	Fx(kN)	Fy(kN)	Mx(kN.m)	My(kN.m)	Mz(kN.m)	Cd(Pg)	Cd(Pg)	Cd(Pg)	N° Torseur	Fx	Fy	Mx	My	Mz	Très	Mrs			
80	10247.77	6697.31	59186.92	1007386.38	-53419.21	1.64	0.81	0.79	6	5813.8	4955.8	421687.8	537782.0	-37164.1	7639.39	683936			
160	7673.33	-3327.51	-412847.09	730232.05	16553.68	1.63	0.84	0.91	10	4522.0	-1440.9	-184900.6	446676.3	2757.6	4746.02	480663			
180	10603.60	-10835.58	-1190868.87	1090162.56	-25622.70	2.20	0.89	0.62	11	4372.5	-7512.2	-840447.3	328500.3	-3838.8	8632.06	902366			
220	11221.05	-8401.96	-814173.94	1315802.55	58920.90	2.19	1.05	0.89	14	4748.3	-6079.6	-585547.9	649241.8	41431.1	7714.14	874289			
Torseur Dynamique de composante principale Fx - Fx minimal																			
0	-17338.51	-7180.60	-804438.01	-1665583.92	91860.01	1.26	1.71	1.14	21	-13171.4	-4347.3	-511454.3	-1312604.3	73219.7	13870.28	1408728			
180	-8059.62	-14058.08	-1417959.87	-898283.30	-42004.40	3.53	1.16	1.02	31	-2142.9	-10734.7	-1067538.3	-197004.4	-20220.3	10946.50	1085564			
210	-7996.23	-6233.07	-629676.15	-781812.06	-18220.93	2.37	0.68	0.75	33	-2498.3	-3936.7	-397256.3	-209273.5	-3121.8	4659.84	449008			
320	-16591.08	3946.58	325511.50	-1465379.52	-47602.02	1.28	0.91	0.86	39	-12285.4	934.3	98068.8	-1047274.6	-31295.6	12320.88	1051856			
340	-17185.52	-4100.71	-337679.38	-1482935.30	347146.4	1.24	1.13	0.67	40	-13374.0	-1730.3	-106482.5	-1202556.4	18727.5	13485.47	1207257			
Torseur Dynamique de composante principale Fy - Fy maximal																			
80	5478.17	10088.14	967335.92	506098.89	-57267.81	0.87	1.23	0.85	46	2660.3	8014.3	750423.6	223604.2	-41012.7	8444.30	783029			
100	-5914.77	15504.32	1536753.20	-651511.71	68186.32	1.37	1.25	1.15	47	-3287.5	12188.2	1172923.9	-394938.1	51791.4	12604.47	1237623			
120	2049.06	9958.05	1094593.34	192190.99	29687.86	0.52	1.39	0.61	48	272.0	7008.9	636090.4	20822.1	17184.0	7014.18	636431			
300	-11134.93	7890.12	891006.30	-1124562.34	-48000.98	1.07	2.13	0.84	58	-8488.4	3595.1	347756.4	-852803.2	-30989.1	9218.33	920982			
Torseur Dynamique de composante principale Fy - Fy minimal																			
180	-3851.39	-16637.51	-1747850.58	-384225.20	-37581.00	1.69	1.37	0.91	71	-400.5	-11498.6	-1168824.4	-27649.7	-15796.9	11505.57	1169151			
Torseur Dynamique de composante principale Mz - Mz minimal																			
180	4940.49	-12471.28	-1343907.17	528681.80	-72254.97	1.02	1.03	1.75	111	1489.6	-9147.90	-993085.60	172106.30	-37388.20	9268.39	1007889			

Exposé : Étude Aérodynamique en Soufflerie - Incidence Changement de Coiffe / Nacer TAKORABET

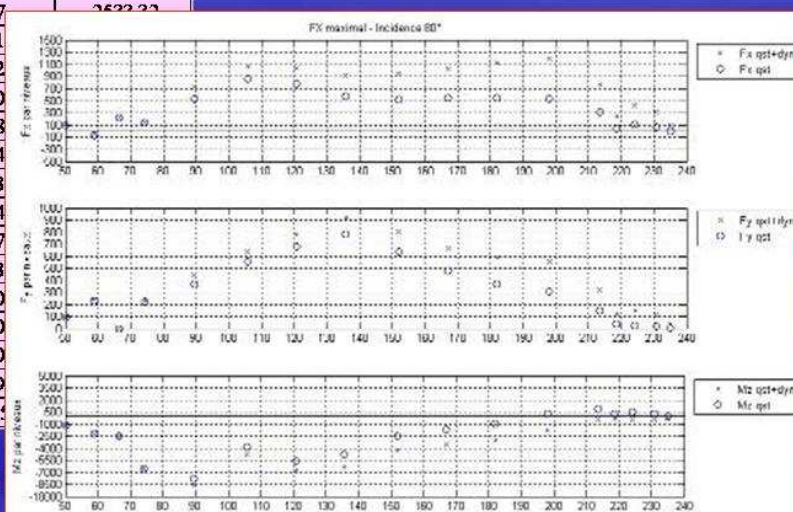
29

Torseur 6 - FX maximal - Incidence 80°

H	maxi qst+dyn		
(m)	Fx (kN)	Fy (kN)	Mz (kN)
0.00	10347.77	6697.31	-53419.21
50.00	103.11	94.41	-1187.81
58.84	-37.82	242.84	-2245.40
66.49	236.82	5.97	2622.23
74.14	143.96	231.1	
89.44	723.93	443.2	
105.76	1071.74	636.0	
120.72	1038.77	779.8	
135.68	923.48	918.4	
152.00	949.61	801.3	
166.96	1024.83	662.4	
181.92	1123.92	586.7	
198.00	1185.32	557.3	
213.54	761.93	318.0	
218.64	251.80	121.0	
224.00	426.61	147.0	
230.82	319.30	112.9	
235.00	100.56	38.24	

Torseurs Dynamiques par Couronne : Cas 1 Sélectionné

Comparaison Graphique
Composantes Fx Fy Mz Dynamiques
aux mêmes grandeurs quasi-statiques



Exposé : Étude Aérodynamique en Soufflerie - Incidence Changement de Coiffe / Nacer TAKORABET

30

Tour T1 : 15 TORSEURS de VENTS CSTB TRAITES pour CHARGER de la STRUCTURE
Sont donnés à titre d'Exemples les Torseurs Sélectionnés n°1 et n°15

(hors torseurs de la coiffe en attente de sa configuration finale)

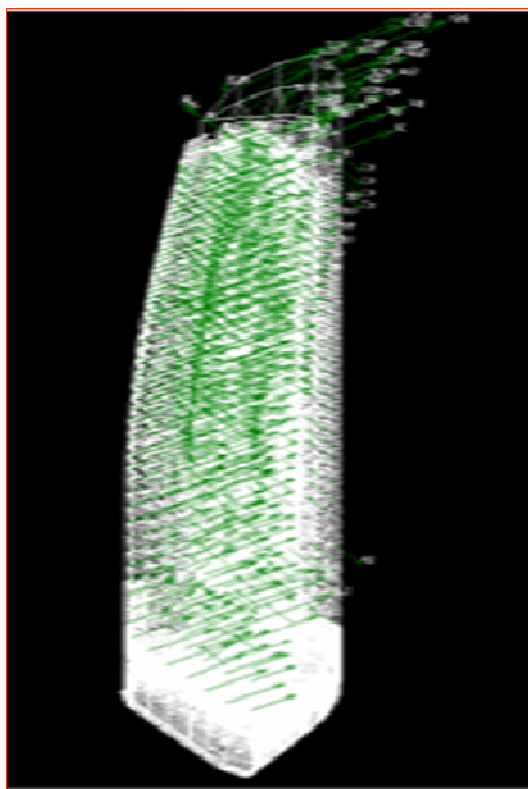
n°1

Torseur 6 - FX maximal - Incidence 80°

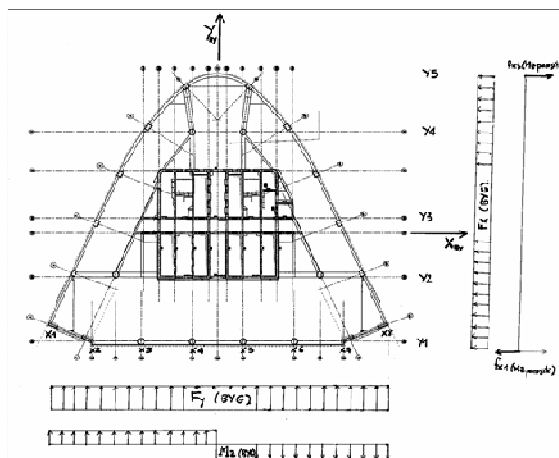
	Fy1	Fy2	Fy3	Fy4	Fy5	Fy6	Fy7	Fy8	Fx1	Fx1''	Fx2	Fx3	Fx4	Fx5'	Fx5	Fz=AL*ΔFL
50	-10,5	-23,3	-26,3	-27,0	-2,4	-2,3	-2,1	-0,9	11,9	20,0	22,2	25,4	25,0	1,8	9,9	8,1
59,86	-6,9	-15,4	-17,4	-17,9	28,7	27,9	24,7	11,1	30,6	51,4	37,2	65,3	64,2	4,7	25,5	20,8
69,41	-23,4	-51,7	-58,4	-60,1	-7,6	-7,4	-6,5	-2,9	0,8	1,3	1,4	1,6	1,6	0,1	0,6	0,5
74,31	-34,4	-76,2	-86,1	-88,6	47,4	46,1	40,8	18,4	29,2	48,9	54,4	62,1	61,1	4,5	24,3	19,8
89,44	-75,0	-166,1	-187,5	-193,0	-13,8	-13,4	-11,9	-5,4	55,9	93,8	104,4	119,1	117,2	8,7	46,6	37,9
105,99	-79,1	-174,3	-196,9	-203,4	-103,4	-100,2	-88,6	-40,1	79,9	134,9	140,5	171,2	168,5	11,9	67,0	55,0
121,63	-86,4	-186,3	-211,0	-222,3	-78,6	-74,6	-65,9	-30,5	95,8	166,6	181,8	211,4	208,1	11,9	82,7	70,8
137,27	-80,5	-166,4	-189,4	-206,9	-66,4	-60,8	-53,4	-25,8	106,7	199,7	209,8	253,4	249,5	6,2	99,1	93,0
152,91	-76,0	-147,4	-169,0	-195,4	-95,0	-82,2	-71,7	-37,0	84,6	179,0	177,0	227,2	223,7	-5,6	88,9	94,5
168,55	-81,4	-144,2	-167,5	-209,3	-118,3	-94,7	-81,5	-46,0	39,8	153,7	139,2	195,1	192,0	-17,5	76,3	93,8
184,19	-90,9	-142,1	-168,1	-233,9	-147,0	-105,7	-89,3	-57,1	40,8	143,0	114,7	181,5	178,7	-31,2	71,0	102,2
200	-96,1	-126,0	-153,5	-247,3	-185,6	-115,2	-94,6	-72,1	18,3	147,4	94,5	187,1	184,2	-55,9	73,2	129,1
214,35	-21,7	-133,1	-222,8	-190,9	-114,0	-18,6					0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Exposé : Étude Aérodynamique en Soufflerie - Incidence Changement de Coiffe / Nacer TAKORABET

31

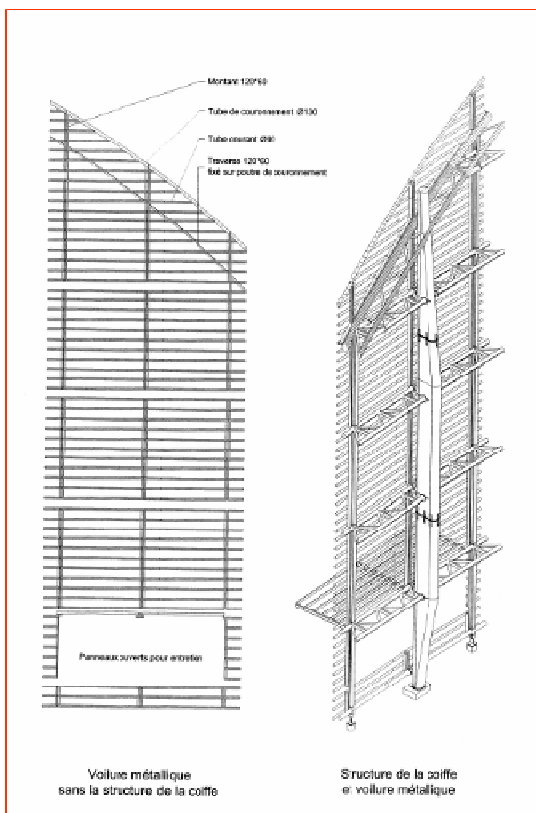
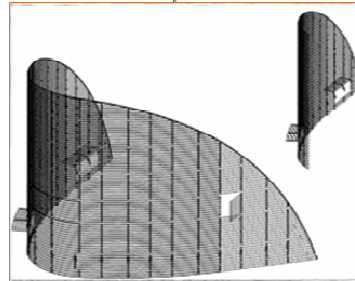
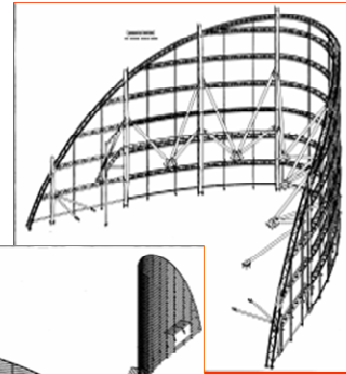


Chargement du Modèle

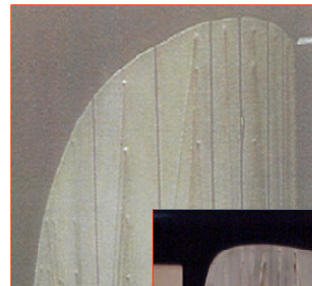


- Fy Mz transformées en diagrammes uniformes : répartition sur les 8 points X1 à X8,
- Fx uniforme : répartition sur les 5 points Y1 à Y5
- 2 forces compensatrices fx1, 5 de la torsion parasite due à la * géométrique suivant l'axe X.

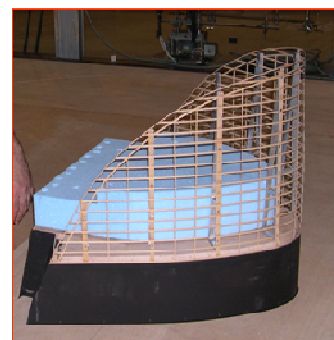
5. INCIDENCE CHANGEMENT DE COIFFE



Maquettes d'essais des 2 configurations



Coiffe initiale opaque



Coiffe retenue poreuse en résille

Recours à de nouveaux essais

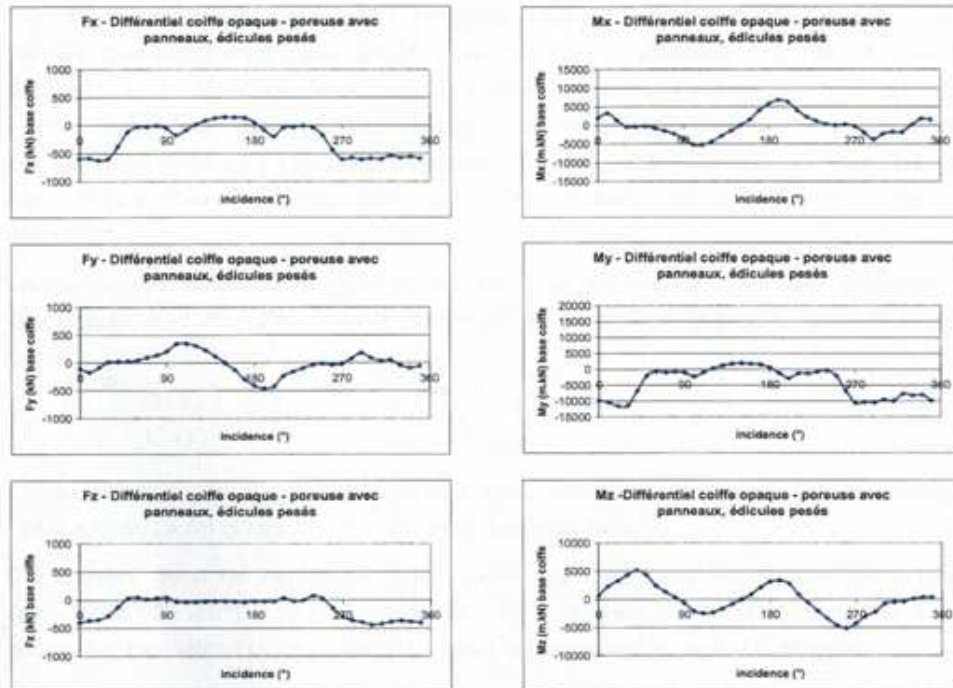
- ⇒ Examiner l'évolution des efforts sur la tour et sur la coiffe,
- ⇒ Définir des charges de vent concomitantes pour les 15 directions de vent retenues jusqu'alors et assurer la cohérence entre avec l'étude de base.
- ⇒ Prise en compte des panneaux publicitaires,

Difficultés particulières

- ⇒ Coiffe poreuse en résille le vent passe à travers : pas possible de mesurer les pressions en soufflerie,
- ⇒ Mesures par « balance de pesées » des efforts Globaux à la base de la coiffe,
- ⇒ Nécessité de faire les mêmes essais sur la coiffe opaque pour servir de référence.

Principaux Résultats

- ⇒ Efforts moins importants (prévisible) que ceux de la coiffe opaque et peu variable avec la direction du vent,
- ⇒ Pas d'amplification dynamique,
- ⇒ Différences moyennes sont indiquées sur les courbes ci-dessous,
- ⇒ Efforts globaux moyens à la base de la tour = efforts globaux 2002 - différences moyennes 2006 entre les 2 coiffes.



vent CSTB	Vent Coiffe Opaque						Vent Coiffe Poreuse					
	FX	FY	MX	MY	MZ	Mx2+My2	FX	FY	MX	MY	MZ	Mx2+My2
6	6696.8	-9540.3	937741	605477	53564	1116226	7092	-9340	906730	670156	45626	1127505
10	-3465	-6867	695341	-401218	-16636	802792	-3180	-6931	705835	-350176	-17911	787925
11	-10839.9	-9922.1	921916	1193550	25711	1508141	-10466	-10203	971182	1124601	16134	1485908
14	-8402.6	-9998.7	1189702	-831130	-59025	1451264	-8560	-9318	1074941	-853460	-51962	1372550
21	-7183.1	16627.6	-1682933	-810630	-92093	1867989	-6682	15880	1552722	-723753	-92475	1713115
31	-14060.7	6908.6	-705253	1419360	42379	1584918	-13696	6278	-596351	1352351	32787	1478001
33	-6233.1	6680.7	-659263	-639707	18800	918615	-6468	6106	-558920	-675526	18314	876771
39	3213.2	15877.1	-1438070	338499	48107	1477372	3153	15981	1456769	327139	45937	1493049
40	-3994.8	15853.4	-1483247	-346742	-35176	1523237	-3779	15604	1440271	-308503	-34512	1472940
46	9652.8	-5399.2	519099	934449	56770	1068952	9839	-5331	510672	963007	49797	1090032
47	14919.1	5914.5	-673988	1470759	-68825	1617836	14631	5280	-562078	1417036	-63488	1524442
48	10131.9	-1966.3	199683	967621	-30150	988010	10242	-2243	249085	983389	-29128	1014445
58	7493.9	11134.8	-1133823	764282	48207	1367363	6990	10943	1099909	677148	48363	1291638
71	-15720.2	3850.2	-391923	1625523	37695	1672103	-15264	3355	-306196	1543475	28139	1573553
111	-12474.4	-4940.8	536116	1345310	72119	1448199	-12072	-5167	575195	1271451	60426	1395506

	Fx	Fy	Mx	My	Mz	Mrés
Min	2.99	2.00	8.39	5.32	0.41	1.89
Max	1.97	4.05	10.68	3.79	19.35	9.04

Écarts en % des efforts moyens globaux à la base de la tour