

Article de *Graeme MacQueen* et *Tony Szamboti*

**The Missing Jolt:
A Simple Refutation of the NIST-Bazant Collapse Hypothesis**

Analyse et commentaires

Introduction

Graeme MacQueen et *Tony Szamboti* se proposent au travers d'un article publié sur le site <http://www.journalof911studies.com/> (Volume 24 – Janvier 2009) de démontrer que la théorie de Bazant et du Nist sur l'effondrement de la tour Nord du World Trade Center (WTC1) est fautive.

Ce papier m'a été proposé par un internaute pour que je lui donne mon avis. J'avais déjà eu l'occasion de lire certains articles de ce site (notamment ceux de *Gordon Ross*), et j'avais été surpris par le manque de rigueur scientifique (soyons polis et courtois...) de ce qui y était publié.

Avec la nouvelle année, la lecture de cet article était un bon moyen de vérifier si ce site repartait sur de bonnes résolutions et de nouvelles bases, et inversement.

De plus, le papier étant tout neuf, son étude était intéressante puisqu'au 22/01/2009 aucun site de « debunking » n'y fait référence.

Après avoir expliqué l'idée défendue par les auteurs, je développerai dans deux parties (A et B) les critiques et commentaires que je peux faire de cet article.

La partie A présente des développements compréhensibles par un élève de lycée, la B nécessite un peu plus de connaissance en matière de mécanique et de calcul de structures, niveau Bac +2.

L'idée

Les auteurs proposent, au travers de l'étude d'une vidéo, d'évaluer l'accélération du bloc supérieur de la tour Nord au moment de l'effondrement. D'après leur développement, la vitesse croît de manière régulière, ils arrivent à une accélération quasiment constante sur les 3 premières secondes de la chute.

Or, comme la théorie du Nist et de Bazant fait la supposition qu'un bloc de 12 étages s'effondre sur le reste de la structure (suite au flambement des colonnes de l'étage qui cède), au moment où le bloc d'étages considéré entre en contact avec le plancher de l'étage juste en dessous, il devrait y avoir une décélération de l'ensemble. Bazant a même calculé que pour que cette décélération stoppe complètement l'effondrement, il aurait fallu que les colonnes situées juste en dessous puissent supporter plus de 30 fois le poids des étages supérieurs.

Nous verrons, grâce aux calculs des auteurs, que cette valeur est probablement surestimée mais peu importe car de toute façon, même à 5 fois le poids des étages supérieurs, il est certain que la tour n'y aurait survécu.

C'est donc une démonstration par l'absurde que les auteurs nous proposent : la théorie de Bazant et du Nist nécessite une variation de l'accélération au moment de la chute et des contacts entre les planchers, nous ne la voyons pas d'après nos calculs donc la théorie est fautive.

Nous verrons dans la partie A que pour montrer qu'il n'y a pas de décélération au moment du premier contact entre étages (et les suivants) les auteurs ont utilisé une méthode qui, justement, ne leur permet pas de voir les variations de l'accélération... c'est quand même un peu embêtant !

Dans la partie B, nous nous intéresserons aux considérations plus structurelles et aux approximations qui sont formulées.

PARTIE A

Exploitation des données et évaluation de l'accélération au cours du temps

Les données :

Nous allons bien sûr utiliser dans la suite les données fournies par les auteurs en leur faisant une totale confiance quant aux valeurs présentées.

A chaque pas de temps, le nombre de pixels correspondant à la chute de la tour est évalué à partir des images ce qui moyennant un ratio calculé par les auteurs permet de déterminer une distance en pieds (feets). Je garderai ici les mêmes unités que les auteurs pour pouvoir établir les comparaisons.

Les données brutes sont les suivantes :

t	Pixels	d
0	0	0
0,17	1	0,88
0,34	2	1,76
0,5	4	3,52
0,67	6	5,28
0,83	9	7,92
1	13	11,44
1,17	17	14,96
1,34	23	20,24
1,5	29	25,52
1,67	37	32,56
1,83	44	38,72
2	52	45,76
2,17	61	53,68
2,34	71	62,48
2,5	81	71,28
2,67	92	80,96
2,83	104	91,52
3	117	102,96
3,17	130	114,4

La vitesse de chute :

La vitesse d'un solide est donnée en mécanique par la dérivée de son déplacement par rapport au temps :

$$v = \frac{\delta d}{\delta t}$$

Sur un intervalle de temps connu, on peut écrire : $v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$ qui est la moyenne de cette vitesse sur l'intervalle de temps Δt .

Compte tenu du découpage qui a été fait des séquences et des mesures de distances fournies, il est possible de calculer cette vitesse suivant deux méthodes.

Pour un instant t_i , la vitesse peut s'évaluer sur l'intervalle de temps précédent (de t_{i-1} à t_i) :

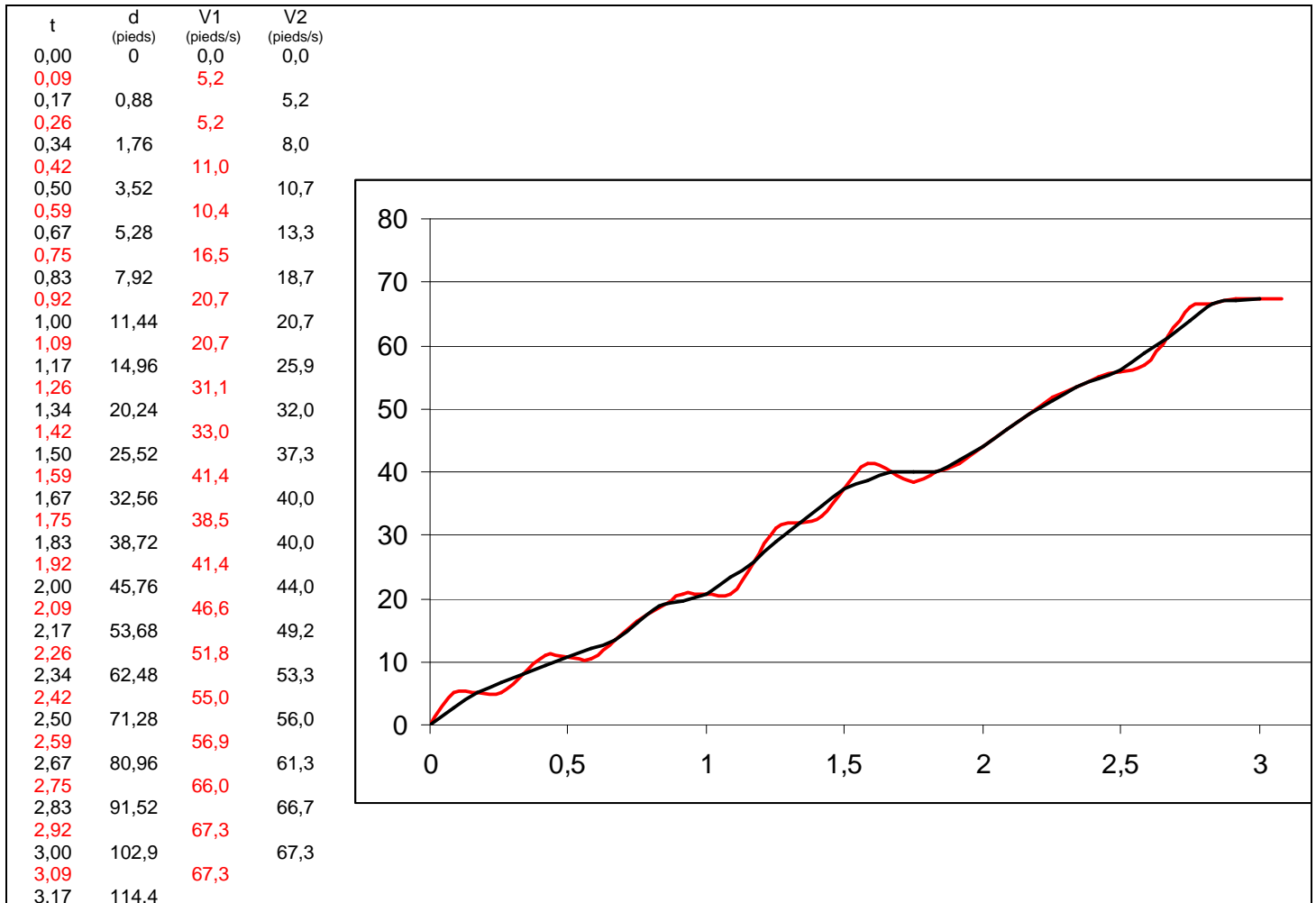
$$V1_i = \frac{d_i - d_{i-1}}{t_i - t_{i-1}}$$

(cette vitesse peut alors être considérée comme celle d'un point fictif situé entre t_{i-1} et t_i)

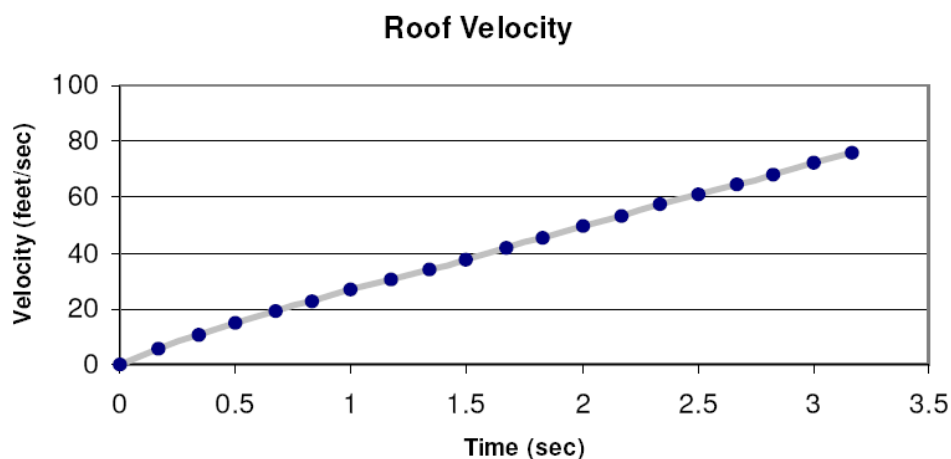
Il est aussi possible d'exprimer la vitesse sur les deux intervalles de temps autour de t_i (de t_{i-1} à t_{i+1}) :

$$V2_i = \frac{d_{i+1} - d_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}}$$

Application numérique :



Le lecteur constatera que ces courbes sont très différentes de celle proposée par les auteurs :



Pourquoi une telle différence ?

Les auteurs procèdent dans un premier temps à l'évaluation d'une **accélération moyenne** depuis $t = 0$ jusqu'au point considéré (détails p8 de l'article) :

$$a = 2d / t^2$$

where d = distance
a = acceleration
t = time

Ensuite, ils recalculent apparemment la vitesse par itération :

$$v = v_0 + at$$

where v = velocity at that point
 v_0 = velocity at previously measured point

Cette méthode est bien sûr totalelement incohérente avec l'objectif de départ qui est d'évaluer les variations de l'accélération au cours du temps... En moyennant l'accélération de 0 à t_i on fait disparaître bien sûr toutes ces fluctuations !!

D'ailleurs, *s'il est fait l'hypothèse d'une accélération moyenne depuis $t=0$* plutôt qu'une méthode itérative, l'autre solution est de recalculer la vitesse directement :

$$V_i = a_i . t_i$$

J'ai procédé aux deux calculs sur notre jeu de données...

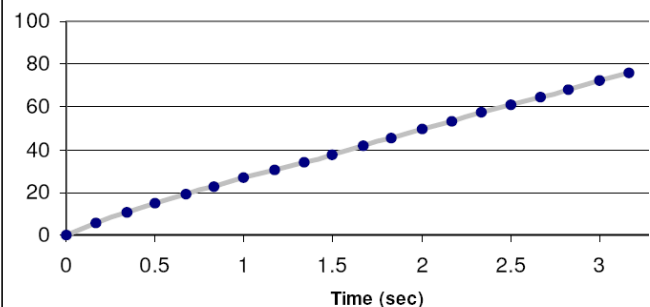
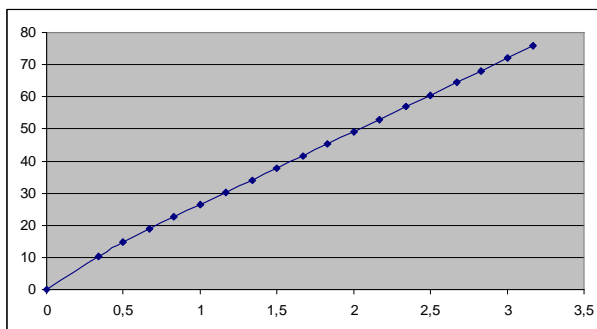
t	d	accélération (McQueen)	V Incrémentée	V recalculé
0,00	0	0,0	0,0	0,0
0,17	0,88	60,9	10,4	10,4
0,34	1,76	30,4	15,5	10,4
0,50	3,52	28,2	20,0	14,1
0,67	5,28	23,5	24,0	15,8
0,83	7,92	23,0	27,7	19,1
1,00	11,44	22,9	31,6	22,9
1,17	14,96	21,9	35,3	25,6
1,34	20,24	22,5	39,2	30,2
1,50	25,52	22,7	42,8	34,0
1,67	32,56	23,3	46,7	39,0
1,83	38,72	23,1	50,4	42,3
2,00	45,76	22,9	54,3	45,8
2,17	53,68	22,8	58,2	49,5
2,34	62,48	22,8	62,1	53,4
2,50	71,28	22,8	65,7	57,0
2,67	80,96	22,7	69,6	60,6
2,83	91,52	22,9	73,3	64,7
3,00	102,96	22,9	77,2	68,6
3,17	114,4	22,8	81,0	72,2

Le tracé des quatre courbes superposées est alors le suivant...



Premières constatations :

1. Aucune des courbes tracées ne correspond à celle des auteurs. Apparemment, ils auraient tracé la courbe verte mais en partant du temps $t = 0,34$ et non $0,17$... *Cela n'est pas précisé dans le texte.* Comment a été replacé le premier point dans ce cas ?? Ci-dessous le graphique en sautant le point $t=0,17$ s comparé au graphe original...



Cela colle assez bien dans ce cas. Par contre ces vitesses restent supérieures aux vitesses réelles : 72 feets/s à 3s pour les auteurs alors qu'on n'est qu'à 67 réellement (courbes rouges et noires).

2. La méthode incrémentale proposée (en vert sur le graphe précédent) n'est ni cohérente sur un plan scientifique, ni satisfaisante sur le plan des résultats obtenus. Elle surestime assez largement les vitesses et lisse la courbe de telle façon qu'elle rend compte très grossièrement de la réalité physique.

3. La courbe noire opère également un lissage puisque la vitesse moyenne est estimée sur deux intervalles de temps. Elle est donc moins précise.

4. Il est clairement visible sur la courbe rouge (vitesses estimées sur les intervalles les plus courts disponibles) que **l'accélération n'est pas constante au cours du temps**.

A retenir

- 1) Le premier point n'est pas significatif compte tenu du fait qu'il correspond à 1 pixel de déplacement. Les auteurs ont sûrement eu raison de l'écarter, encore faut-il le dire et expliquer comment ils le reconstruisent pas la suite.
- 2) L'accélération n'est pas constante au cours du temps. Il est donc **ABSURDE** de les moyenner pour reconstruire les vitesses. **Surtout lorsqu'on veut justement évaluer les variations éventuelles de cette accélération !!!!**
- 3) Compte tenu de la précision de mesure, qui se fait au pixel près, il faut faire attention aux variations de distance entre deux points qui ne seraient pas significatives... La partie de courbe en dessous de 1 seconde devrait être écartée.

Calcul des accélérations :

Comme pour les vitesses, le calcul des accélérations peut se faire à partir des vitesses en chaque point connu :

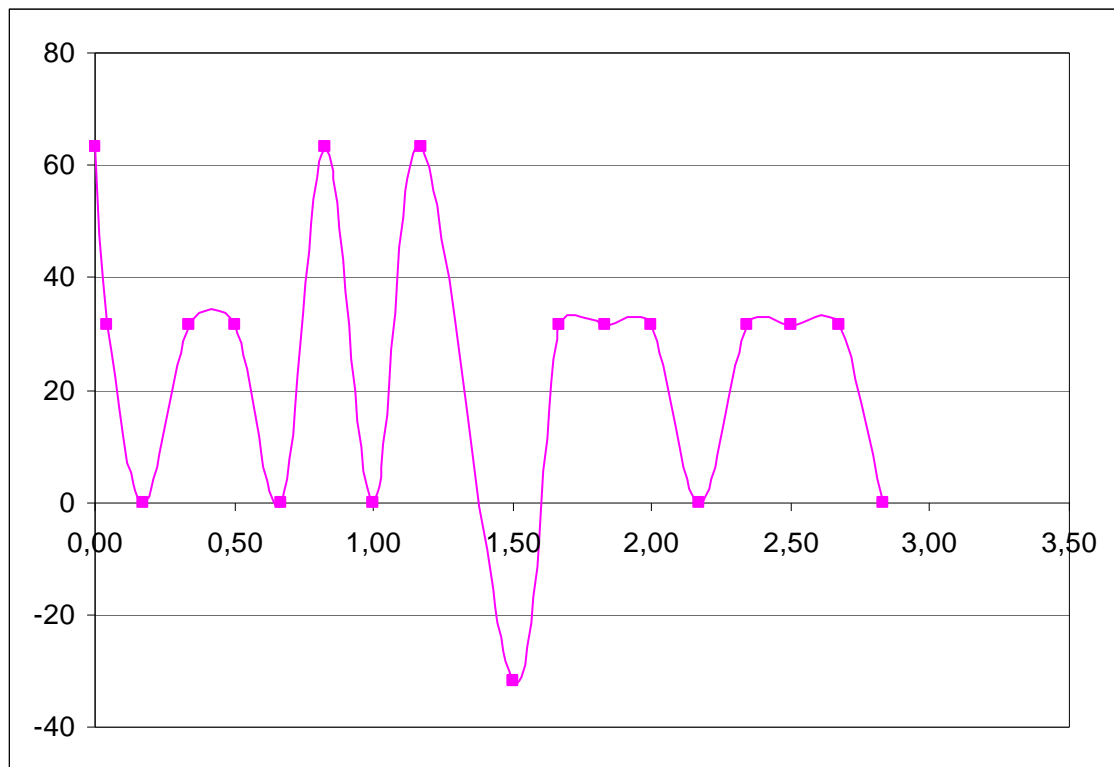
$$a_i = \frac{v_i - v_{i-1}}{t_i - t_{i-1}}$$

(accélération moyenne sur un intervalle de temps pour un point fictif qui se situerait entre t_{i-1} et t_i .)

t		pies/s V1	accélération
0,000	0	0,0	
0,042			63,4
0,083		5,3	
0,167	0,88		0,0
0,250		5,3	
0,333	1,76		31,7
0,417		10,6	
0,500	3,52		0,0
0,583		10,6	
0,667	5,28		31,7
0,750		15,8	
0,833	7,92		31,7
0,917		21,1	
1,000	11,44		0,0
1,083		21,1	
1,167	14,96		63,4
1,250		31,7	
1,333	20,24		0,0
1,417		31,7	
1,500	25,52		63,4
1,583		42,2	
1,667	32,56		-31,7
1,750		37,0	
1,833	38,72		31,7
1,917		42,2	
2,000	45,76		31,7
2,083		47,5	
2,167	53,68		31,7
2,250		52,8	
2,333	62,48		0,0
2,417		52,8	
2,500	71,28		31,7
2,583		58,1	
2,667	80,96		31,7
2,750		63,4	
2,833	91,52		31,7
2,917		68,6	
3,000	102,96		0,0
3,083		68,6	
3,167	114,4		

De façon plus générale si les intervalles de temps sont constants : $a_i = \frac{(d_{i+1} - d_i) - (d_i - d_{i-1})}{\Delta t^2}$

Cela nous permet de tracer la courbe suivante :



Il serait hasardeux de tenter d'interpréter cette courbe. En effet, les données ne sont pas assez précises pour que les valeurs de l'accélération soient fiables. En effet, on peut voir des pics qui sont égaux à deux fois l'accélération correspondant à la gravité (32 feet/s²). C'est bien sûr physiquement impossible et prouve que la précision des mesures n'est pas suffisante pour pouvoir conclure de manière fiable.

Cela provient du fait que les accélérations sont déterminées à partir du calcul $[(d_{i+1} - d_i) - (d_i - d_{i-1})]$ ce qui correspondent à 1 ou 2 pixels par rapport aux données d'origine, même pour $t = 2,5$ s. Compte tenu de la précision de la mesure qui se fait à 1 pixel près, cela donne des résultats aléatoires.

Les vitesses, elles, sont beaucoup plus fiables car à partir de $t=1$ seconde, $(d_i - d_{i-1})$ donne déjà plusieurs pixels de différence. La mesure devient donc significative.

En conclusion de cette partie, nous pouvons dire que si les auteurs s'intéressent aux variations de l'accélération au cours du temps, leur méthode consistant à déterminer à chaque étape l'accélération moyenne de $t=0$ jusqu'au point considéré est totalement contreproductive.

Bien qu'il soit quasiment impossible d'interpréter les résultats en dessous de $t=1$ s compte tenu de l'imprécision des mesures, il est évident qu'entre 1 et 3 secondes, les vitesses ne varient pas linéairement (courbe rouge) contrairement à ce qu'affirment les auteurs.

Toute la démonstration des auteurs tombe donc à l'eau.

Nous allons voir néanmoins dans la partie B, quels sont les autres développements proposés sur le plan de la mécanique des structures.

PARTIE B

Etude de la structure – Considérations mécaniques

Les auteurs écrivent :

“Bazant claims that a minimum force amplification of 31g, or 31 times the static weight of the upper stories, would have occurred in a collision between the upper and lower blocks of the Twin Towers after a fall of one story. “

Bazant n’a jamais écrit cela. Apparemment, les auteurs n’ont pas bien compris le calcul auquel ils font référence ! Il a été écrit que pour absorber l’énergie cinétique du bloc supérieur qui venait de tomber en chute libre de 3,75m, et **donc arrêter l’effondrement**, il aurait fallu que les colonnes encaissent 31g.

Apparemment, Bazant se serait trompé dans la raideur des colonnes d’un facteur 10 (71GN/m pour Bazant, 7 GN/m après calcul des auteurs qui semble grossier mais correct, à première vue), ce qui veut dire que le calcul proposé ne donnerait pas 31 g mais plutôt 11g...

(Calcul initial de Bazant où C correspond à la raideur)

$$P_{\text{dyn}}/P_0 = 1 + \sqrt{1 + (2Ch/mg)} \approx 31$$

Bazant ayant écrit l’article deux jours après la catastrophe, il indique d’ailleurs qu’il a pris cette valeur de C sans avoir de données fiables.

Même à 11g, c’est de toute façon bien trop par rapport à ce qu’auraient pu supporter les colonnes puisque même McQueen et Szamboti avancent un ‘facteur de sécurité’ de 5 sur les colonnes périphériques...

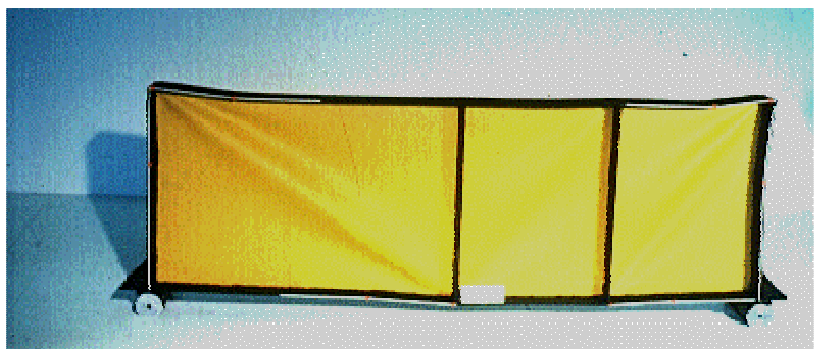
De plus, ce calcul n’est valable que si la charge est intégralement transmise sur les colonnes restantes, or, il est bien évident qu’une fois l’effondrement amorcé, les colonnes n’ont pu reprendre les efforts directement. L’ensemble de la structure en mouvement a reporté les charges de manière anarchique sur les colonnes et le plancher.

Ce qu’il faut donc bien comprendre à ce niveau, c’est que de toute façon, cette valeur de 11 g ne sera jamais reprise par les colonnes : elles vont évidemment céder bien avant !...

Comme cette valeur leur semblait surévaluée, les auteurs ont alors souhaité calculer eux même l’énergie dissipée dans la rupture de ces colonnes pour évaluer la décélération. Ils proposent le détail du calcul dans les annexes D et E.

Point 1 : Calcul de l’énergie élastique

Les auteurs font référence dans cette partie au classement des sections qui est proposé dans l’Eurocode 3 (construction métallique). Ces classes sont destinées à évaluer le risque de voilement des parois minces. Les photos ci-dessous montrent des cas de voilement en flexion. En anglais on parle de « local buckling » ou de « **shear buckling** » car ce phénomène est souvent dû à un effort tranchant trop important près des appuis ou des points d’application des charges.



Mais ce phénomène peut aussi apparaître en compression :



En fonction de la taille des membrures, le voilement peut se produire bien avant l'atteinte de la limite élastique. C'est pour cela qu'on évalue avec l'Eurocode des *sections efficaces* qui se substituent aux sections réelles des éléments dans le cas des classes 4.

Le long paragraphe proposé par les auteurs permet ensuite de dérouler un calcul où ils souhaitent évaluer l'énergie élastique emmagasinée dans les colonnes, mais j'avoue que j'ai du mal à comprendre leur démonstration, en particulier au point 3.

- ❖ Une valeur de 19.84 in est donnée sans qu'on sache d'où elle sort... Elle semble être celle du déplacement en tête des colonnes du 97^{ème} étage, mais sans que soit précisée la charge. Compte tenu de la rigidité trouvée par les auteurs (40,500 kips/in), nous arrivons à un effort équivalent de 803 520 kips soit 364 470 243 kg ou encore 364 470 Tonnes. Si on évalue le poids de la tour à 300 000 tonnes, 12 étages correspondent à 32 727 tonnes. On serait donc sur une charge de 11 fois le poids des étages supérieurs ??? Cela voudrait donc dire qu'ils ont actualisé la décélération de Bazant ? Cela n'est dit nulle part... Au passage, 19.84 in correspond à une déformation de 0,14 % des colonnes sur la hauteur totale de la tour ce qui veut dire que certaines colonnes ont dû lâcher (les classes 4 et celles à 40 ksi) ce qui réduit encore la raideur du ressort utilisé pour la démonstration...
- ❖ Un calcul de la résistance des colonnes est fait ensuite en prenant un facteur totalement arbitraire de 50 % sur les classes 4 (les Eurocodes donnent une méthode pour le calcul de la résistance efficace en fonction des dimensions. Comme ces dimensions des éléments sont fournies par les auteurs, ils peuvent effectuer le calcul sous peine de se tromper lourdement !). Les auteurs arrivent à une valeur de résistance de l'étage 97 de 216 500 kips soit 98 074 tonnes. *Cela correspond à environ 3 fois la charge estimée des 12 étages* (32 727 tonnes). Le 'coefficient de sécurité' ne serait donc plus que de 3 ?????
- ❖ C'est alors qu'un autre calcul apparaît où la résistance du 55^{ème} étages est introduite (821 600 kips) et le déplacement en tête de colonnes est recalculé en faisant le ratio avec la résistance du 97^{ème} : $(216.5/821.6) \times 19.84 \text{ in} = 5.22 \text{ in}$... Explication ? Aucune... Ensuite, cette distance de 5 pouces est utilisée pour le calcul de la déformation du ressort... Pourquoi ? Est-ce réaliste par rapport à la limite élastique des colonnes ?

Tout cela est totalement incompréhensible pour le commun des mortels... En tout cas, j'ai beau le tourner dans tout les sens, j'ai du mal à trouver un sens physique à ce dernier calcul, sans parler des approximations préalables... De plus, comme expliqué plus haut, si les colonnes reprennent les 11g par leur énergie élastique (c'est bien sûr impossible), l'effondrement s'arrête, plus besoin de développer les points 2 et 3. On ne peut pas prendre 11g dans ce paragraphe et continuer le calcul sinon on compte deux fois l'énergie !...

Point 2 : Calcul de l'énergie plastique de compression.

Ce développement montre bien que les auteurs n'ont qu'une vague idée du calcul de structure. En effet, faire l'hypothèse que les sections de classe 1 pourraient reprendre 3 % de déformation axiale est une pure et simple hérésie scientifique ... sûrement soufflée par Ross qui en a fait la base de ses calculs.

Si une colonne entre en plasticité sur toute sa hauteur, on peut considérer qu'elle n'a plus de rigidité (modèle élastoplastique parfait communément admis pour l'acier dans les codes de calcul, $E=0$ à partir de ce moment) ce qui fait **qu'elle va entrer en flambement immédiatement**... Or, cette plasticité intervient pour une déformation de 0,22 % dans le cas d'un acier à 65 ksi (450 MPa) !!!

Faire l'hypothèse que toute la colonne va encaisser une déformation de 3 % est donc totalement absurde.

Point 3 : Calcul de l'énergie plastique dissipée dans des rotules plastiques

C'est justement parce que les colonnes entrent en plasticité que des rotules plastiques peuvent apparaître. Ces rotules sont alors *très localisées*.

D'autre part, le choix de prendre trois rotules à l'étage sous-entend que les colonnes sont supposées être encastrées en pied.

Si ce phénomène de rotule plastique s'était produit jusqu'à la valeur de 2π utilisée par Bazant et les auteurs, on aurait retrouvé tout un accordéon de poutres en bas des tours... Or, ce ne fût pas le cas : très peu de poutres ont été tordues à 180° ...

Pourquoi ?

- D'abord les déformations sont trop importantes pour que le métal puisse y résister, celles qui l'ont été sont sûrement celles qui sont montées fortement en température au niveau des incendies.
- Ensuite, les liaisons entre les colonnes étaient assurées par un boulonnage qui n'était pas conçu pour résister à un couple équivalent au moment encaissé par une rotule plastique. Les boulons se sont donc rompus bien avant l'atteinte de cette rotule plastique. C'est visible sur les nombreuses photos des décombres où les boulons sont manquants. C'est aussi cette rupture brutale qui a pu créer l'éjection de certains éléments.

Là où les auteurs commentent une grave erreur, c'est qu'ils utilisent tous les points potentiels de dissipation de l'énergie et les prennent tous à leur maximum.

Bazant a fait cela pour montrer que même en étant très pessimiste et en prenant des situations totalement illusoires sur le plan de la mécanique, l'effondrement ne pouvait s'arrêter.

Là, l'idée n'est plus la même : il faut évaluer l'énergie perdue sur un étage avant que l'effondrement ne se poursuive, pour voir si cela est perceptible sur la courbe de vitesse. Il faut donc évaluer cette énergie au plus juste et ne pas prendre plusieurs postes de dissipation d'énergie lorsqu'un seul suffit à la rupture d'un étage et la poursuite de l'effondrement !!

Pour finir, un point de forme et non de fond :

p 23, une surface (3,726) est donnée en "in³" ce qui doit être une erreur de frappe. Ce qui est bizarre, c'est que les 'reviewers' aient laissé passer cela... N'auraient-ils pas relu assez attentivement ?

En conclusion de cette partie, nous pouvons dire que les auteurs commettent une grave erreur de méthode :

- soit on cherche à prouver que l'effondrement ne pouvait pas se poursuivre et on tente de montrer que toute l'énergie imaginable et mobilisable peut suffire (élastique et plastique)... C'est ce que fait Bazant et il montre que c'est bien sûr impossible...
- soit on cherche à évaluer l'énergie perdue en étudiant la courbe des vitesses et il faut alors déterminer l'énergie suffisante à anéantir la résistance d'un étage pour voir si elle peut influencer notablement (c'est à dire de façon mesurable) sur la courbe des vitesses...

Les quantités à évaluer sont bien évidemment très différentes dans un cas et dans l'autre, et dans le deuxième cas, il ne faut pas surévaluer cette énergie pour éviter de conclure prématurément.

C'est l'étourderie que commettent les auteurs en plusieurs endroits où une connaissance très superficielle de la mécanique des structures les amène à surévaluer largement l'énergie plastique dissipée.

Les mêmes erreurs commises par Ross sont ici reprises, ce qui prouve que le site qui publie ces articles ne tient aucun compte des remarques formulées par les personnes ayant démontré ces insuffisances.

Conclusion

L'article proposé par *Graeme MacQueen* et *Tony Szamboti* me semble très insuffisant (doux euphémisme) sur le plan scientifique.

Il n'aurait, à coup sûr, jamais été accepté dans une revue à comité de lecture. En tout cas c'est l'avis que j'aurais rendu si j'avais eu à le donner....

Et ce refus n'aurait pas été donné **en raison du but final de la démonstration, mais de l'incohérence de cette démonstration** qui utilise une méthode totalement incompatible avec les objectifs scientifiques visés.

D'abord, on ne peut pas évaluer des variations de vitesses si on en fait des moyennes.

Ensuite, sur la partie plus orientée sur le calcul de structure, les auteurs ne semblent pas avoir totalement compris quel était le comportement d'éléments métalliques soumis à de la compression lorsqu'ils entrent en plasticité. Une avancée est faite avec la prise en compte du phénomène de voilement des âmes minces, mais les approximations présentées sont des plus hasardeuses.

Après celui de Gordon Ross que j'avais pu également lire en détail, cet article montre que les personnes qui ne sont pas spécialisées dans le calcul de structures souhaitent appliquer des recettes propres à leur domaine d'étude, mais qui sont totalement incompatibles pour rendre compte des phénomènes mis en jeu.

Ce qui est encore plus étonnant, c'est le nombre de personnes qui sont sensées avoir travaillé sur ce type d'articles, il n'y a qu'à lire les remerciements des auteurs...

Cela m'amène à m'interroger fortement sur l'honnêteté du site <http://www.journalof911studies.com/> car il est impossible que parmi toutes ces personnes (il y en a même une 'spécialisée' en génie civil !!), au moins une qui aurait relu l'article dans sa totalité n'ait pas pointé les incohérences flagrantes de la démonstration !

Venant d'une personne (Steven E. Jones, coéditeur du site) qui veut expliquer la démarche scientifique à qui veut l'entendre, c'est assez savoureux...

JQ

Le 22/01/2009