

# Vibrations dûes à la turbulence du vent

M. Guesdon      M. Pluviose      M. Watremetz  
Centre technique des industries mécaniques — CETIM

*Les forces exercées par le vent sur les structures sont évaluées à partir des normes en vigueur. Ces normes, relativement anciennes, ne permettent généralement que le calcul de la composante moyenne des efforts appliqués sur les structures. Néanmoins, depuis quelques années, un certain nombre de réglementations et de projets de normes internationales apparaissent, tendant à prendre en compte la composante dynamique de ces efforts. Après quelques rappels sur le vent, on cite les méthodes actuelles de dimensionnement des structures soumises aux excitations aléatoires dues à la turbulence atmosphérique.*

Les vibrations aléatoires dues au vent constituent un sujet très vaste et complexe.

Les forces exercées par le vent sur certaines structures, comme par exemple les appareils de levage, sont évaluées à partir des normes AFNOR, DIN, FEM, SIA [6]. Les essais qui ont permis l'établissement de ces règles sont déjà anciens et ont été réalisés en soufflerie à faible taux de turbulence. Ces normes permettent de calculer la composante moyenne des efforts appliqués, la composante dynamique est rarement mentionnée. Néanmoins, on peut maintenant trouver quelques informations dans le document DTU « Neiges et vents » [12] et dans le manuel canadien de calcul des structures [3]. En général, cela consiste à majorer les efforts moyens par un coefficient qui prend en compte divers paramètres : site, élancement de la structure... etc. Certains pays envisagent de prendre en compte cet aspect dynamique en déposant des projets de normes à l'ISO.

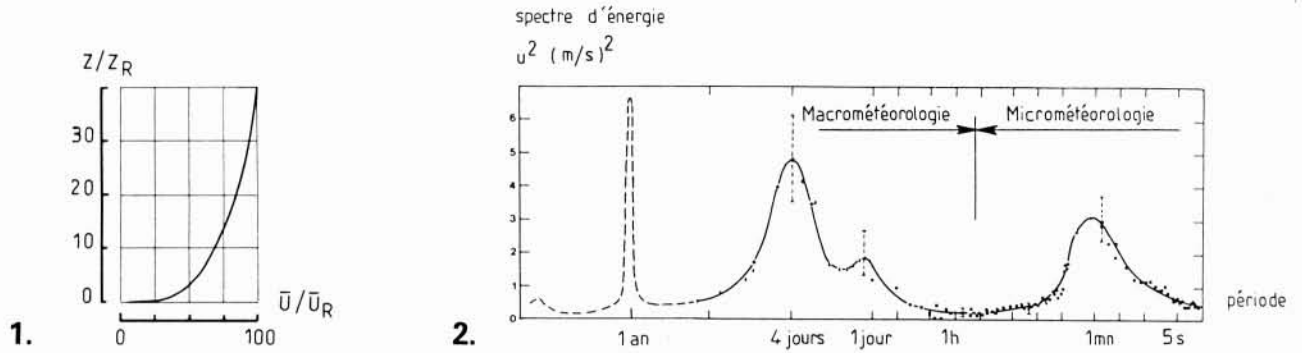
## 1. Caractérisation du vent

L'ensemble, formé par l'atmosphère et les océans, qui est soumis au rayonnement solaire, constitue un système fluide très complexe, siège de phénomènes nombreux dont le vent.

La circulation atmosphérique et la distribution statistique des différents champs (pression, vitesse... etc.) sont encore mal connues. Pour une altitude comprise entre 0 et 600 mètres, c'est-à-dire dans ce qu'il est convenu d'appeler la couche limite atmosphérique, le vent est ralenti par les frottements sur la surface de la terre, laquelle engendre des fluctuations dans l'écoulement : la turbulence. On suppose généralement que la direction du vent moyen est constante dans l'épaisseur de la couche limite atmosphérique, de même on fait l'hypothèse que l'écoulement est en stabilité neutre en négligeant ainsi les effets thermiques locaux.

### Vibrations caused by wind turbulence.

*The forces exerted by the wind on structures are assessed from current standards. These standards, relatively old, generally only allow for the average component of forces applied onto the structures to be calculated. However, for some years, a number of international regulations and tentative standards, tending to take into account the dynamic component of these forces, are being issued. After some observations concerning the wind, the current dimensioning methods of structures subjected to random excitations due to atmospheric turbulence are quoted.*



1. Exemple de profil de vitesse moyenne de vent (cas d'une banlieue).
2. Spectre d'énergie du vent atmosphérique (Van der Hoven).

Par traitement statistique de données expérimentales et par utilisation de la dynamique des écoulements turbulents, on est en mesure de prédire la vitesse du vent dans la couche limite atmosphérique turbulente [4].

La vitesse moyenne du vent  $\bar{U}(z)$  peut être représentée simplement par la loi en puissance proposée par Davenport (figure 1):

$$\frac{\bar{U}(z)}{\bar{U}(z_R)} = \left( \frac{z}{z_R} \right)^\alpha$$

expression dans laquelle  $z_R$  est une côte de référence et  $\bar{U}(z_R)$  est la vitesse moyenne mesurée à la côte  $z_R$ ,  $\alpha$  étant un nombre sans dimension caractérisant la rugosité du terrain. Les valeurs de  $\alpha$  couramment admises sont:

- $\alpha = 0,16$  pour les régions planes
- $\alpha = 0,28$  pour une région boisée ou une banlieue
- $\alpha = 0,4$  pour une région urbaine à forte densité de construction.

On choisit également assez souvent, parmi de nombreuses autres propositions [9], une loi logarithmique due à Prandtl.

L'énergie du vent est distribuée sur une large bande de fréquence près du sol. L'analyse spectrale sur une longue période de temps permet de mettre en évidence plusieurs échelles de fluctuations. La figure 2 montre les résultats obtenus par Van der Hoven d'après des expériences effectuées à 100 mètres de hauteur sur la vitesse horizontale du vent.

Le spectre montre un trou d'énergie pour des périodes d'environ 1/2 heure. Par commodité, le mouvement atmosphérique est alors séparé en « turbulence atmosphérique » ou « fluctuations micrométéorologiques » d'une part et d'autre part en « fluctuations macrométéorologiques » pour lesquelles les vitesses moyennes sont quasi-permanentes. Il est clair que les échelles de temps macrométéorologiques n'ont pas à être prises en compte

ici car elles sont bien plus longues que celles associées avec les effets dynamiques du vent sur les structures. Si on moyenne la vitesse du vent pendant 1/2 heure environ, la vitesse moyenne sera alors à peu près stable et la vitesse du vent sera un processus aléatoire localement stationnaire.

On note également que l'intensité de la turbulence  $I = \sqrt{u^2}/\bar{U}$  est d'environ 20 à 30 % au sol et qu'elle décroît avec l'altitude [11].

Les valeurs de la vitesse moyenne du vent sont connues à partir de relevés effectués dans les stations de la météorologie nationale.

Les variations de cette vitesse en fonction de l'altitude peuvent être estimées par la loi précédente de Davenport par exemple, en l'absence d'informations locales.

Les fluctuations de vitesse sont rarement étudiées expérimentalement, sauf dans des cas particuliers tels que le choix du site pour l'implantation d'un aéroport.

## 2. Vibrations des structures excitées par le vent

On peut, pour schématiser, assimiler l'obstacle à un système où l'entrée serait le vent et la sortie, les efforts ou les déplacements considérés comme la réponse de l'obstacle.

C'est une difficulté importante de décrire le plus correctement possible la structure de l'écoulement abordant un obstacle de forme aérodynamiquement complexe avec des faces en pression, des zones en dépression, des décollements locaux plus ou moins stationnaires... etc.

Les structures offertes à un vent même régulier peuvent être soumises à des sollicitations dynamiques qui les mettent en état d'oscillations forcées. On distingue principalement parmi ces actions :

- les tourbillons alternés de Bénard-Karman [11] [16];
- les oscillations auto-entretenues de galop;
- les oscillations auto-entretenues de flottement [5].

La turbulence amont, mais aussi la turbulence aval engendrée en partie par l'obstacle et l'environnement, provoque des oscillations des obstacles dans le sens du vent, ces vibrations sont les formes les plus courantes d'excitation d'une structure dans le vent. Les fluctuations turbulentes de l'écoulement sont transmises à l'obstacle par les pressions fluctuantes aux parois, lesquelles induisent une vibration de l'obstacle.

### 3. Méthodes de dimensionnement des structures soumises aux excitations aléatoires du vent

#### 3.1. Normes, règles et leurs limites

Pour les constructions classiques, l'expérience acquise a permis l'établissement de normes et règles [3] [6] [12].

Les actions dynamiques exercées par le vent sur les constructions de grande hauteur et flexibles (cheminées, phares... etc.), il est toujours possible de justifier des dispositions différentes de celles des règles à la suite d'essais en soufflerie. De la même manière, lorsqu'une construction a une forme inhabituelle hors règlement et est répétée à un grand nombre d'exemplaires, des coefficients aérodynamiques différents de ceux des règles pourront être admis à la suite d'essais en soufflerie.

Les ouvrages de dimensions exceptionnelles (hauteur supérieure à 122 mètres par exemple, d'après le manuel canadien de calcul des structures [3]) et tout autre bâtiment dont les propriétés de légèreté, de basse fréquence et de faible amortissement les rendent susceptibles aux oscillations n'entrent pas dans le cadre des prescriptions générales des règles. Leur stabilité aérodynamique et leur comportement sous l'action dynamique des rafales de vent doivent être justifiés par des méthodes scientifiques tenant compte de l'intensité de la turbulence du vent et de la rugosité de la surface du terrain ainsi que des propriétés géométriques et physiques du bâtiment. Généralement les résultats obtenus par le calcul auront à être confirmés par des essais en soufflerie simulant correctement tous les facteurs (caractéristiques aérodynamiques, aéroélastiques, d'amortissement et, le cas échéant, d'environnement). Parmi les bâtiments de dimensions exceptionnelles, qui hors normes ont eu à être analysés en détail, citons par exemple :

- la tour Eiffel, qui est l'exemple le plus connu d'une construction métallique soumise à l'action du vent [1];
- certaines constructions comme la tour Maine-Montparnasse [17] [2] [8], les tours de réfrigération des grandes centrales de production d'électricité avec étude des effets de l'interaction entre divers réfrigérants [21], les grues à tour.

Nous imagerons notre propos par des résultats extraits des travaux menés au CETIM [15] [20], à la demande de la commission « Manutention - Levage ».

Le pionnier dans l'établissement de méthodes théoriques de calcul des structures soumises à l'action du vent semble avoir été Davenport [3] [8].

Le calcul est relativement complexe et toutes les situations ne peuvent être appréhendées actuellement [17] [19]. Il se décompose généralement en trois grandes étapes qui sont :

- la connaissance des caractéristiques du vent et la description des efforts qu'il induit sur la structure;
- l'étude de la réponse de la structure à ces efforts;
- l'étude de la fatigue.

#### 3.2. Méthodes expérimentales

##### 1) Essais en soufflerie

Bien que la connaissance des charges de vent sur les structures se soit bien améliorée, la compréhension des mécanismes qui relient un champ d'écoulement turbulent aux nombreux effets du vent sur une structure n'est pas suffisamment claire pour envisager une approche analytique. Les modélisations du vent en soufflerie ainsi que l'étude expérimentale des interactions vent-structure doivent être poursuivies.

*Similitude du modèle* : Les efforts moyens globaux et les moments sur une structure sont généralement déterminés en utilisant une maquette rigide. Le modèle doit être géométriquement semblable au prototype. Les efforts fluctuants et les moments sont habituellement déterminés à partir de mesures sur une maquette aéroélastique [7] [10] [14] [15]. Il importe d'abord de réaliser une maquette dynamiquement semblable au prototype (*figure 3*, p. suiv.).

Les principes de l'analyse dimensionnelle et de la similitude conduisent à respecter au mieux un certain nombre de paramètres sans dimensions [7] [10] [14] [15] [20]. Tous ne peuvent être respectés simultanément et il s'agit alors de conserver constants les nombres qui caractérisent les aspects les plus importants du phénomène étudié.

Par exemple pour la maquette de grue réalisée au 1/10<sup>e</sup>, deux paramètres ne peuvent être parfaitement dominés :

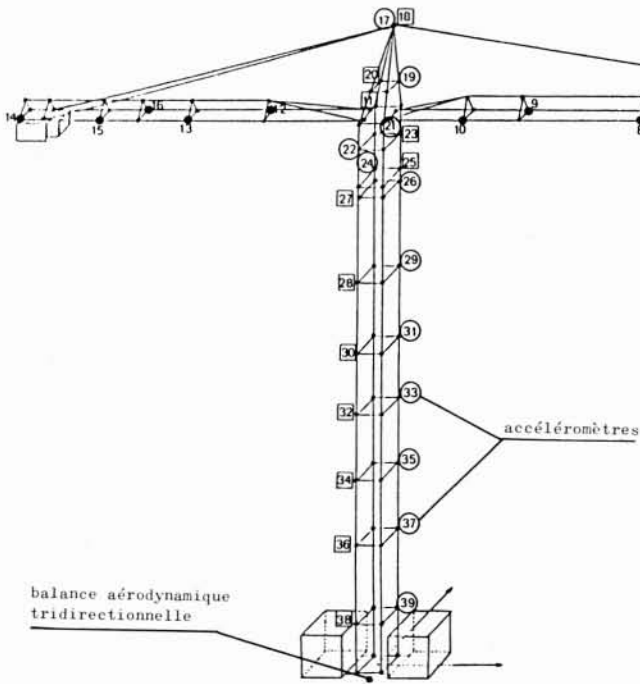
- la rugosité de surface des éléments du treillis;
- l'amortissement global. Il est impossible à maîtriser car il résulte de l'amortissement interne du matériau, de l'amortissement des liaisons et de l'amortissement aérodynamique. Il est mesuré *a posteriori*.

Puisqu'il s'agit d'évaluer certaines composantes du torseur des efforts aérodynamiques s'exerçant sur les modèles, on est conduit à réaliser des balances aérodynamiques [10] [14] [15].

Il importe que les premiers modes du système ainsi constitué — balance surmontée de la maquette — soit au-dessus de la bande de fréquence d'excitation.

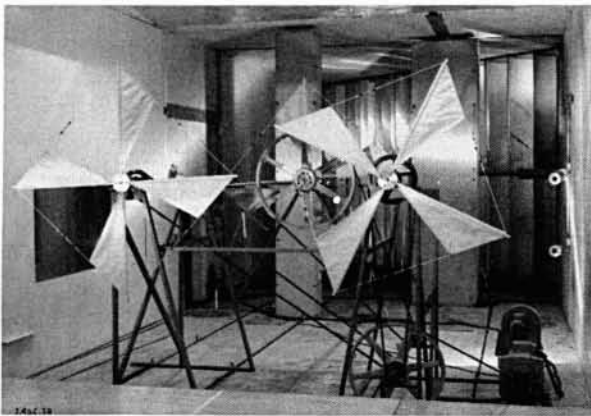
*Simulation du vent* : La simulation de l'écoulement dans la couche limite atmosphérique suppose au moins deux conditions :

- réalisation d'un gradient vertical de vitesse, obtenu expérimentalement en disposant des obstacles de forme

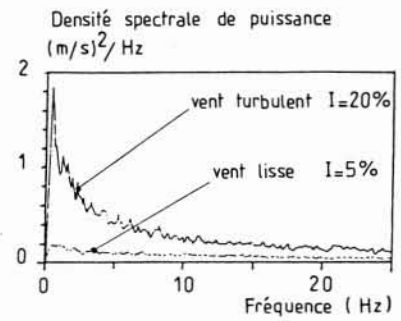


3.

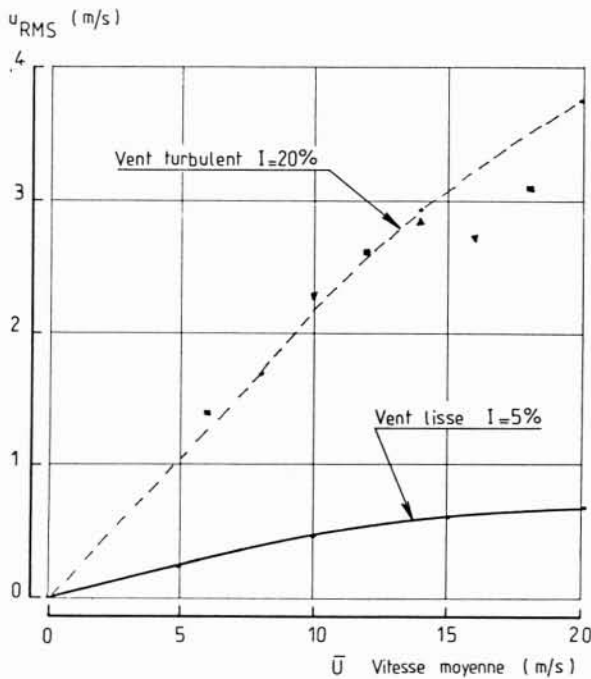
3. *Modèle de grue à tour et maillage.*
4. *Exemple de dispositif permettant la simulation de la turbulence atmosphérique.*
5. *Variation des fluctuations de vitesse en fonction de la vitesse moyenne et de l'intensité de la turbulence.*
6. *Comparaison spectrale entre le vent lisse et le vent turbulent.*
7. *Variation des efforts moyens de traînée en fonction de la vitesse moyenne et de l'intensité de la turbulence.*
8. *Evolution des efforts dynamiques en fonction de la vitesse moyenne et de l'intensité de la turbulence.*



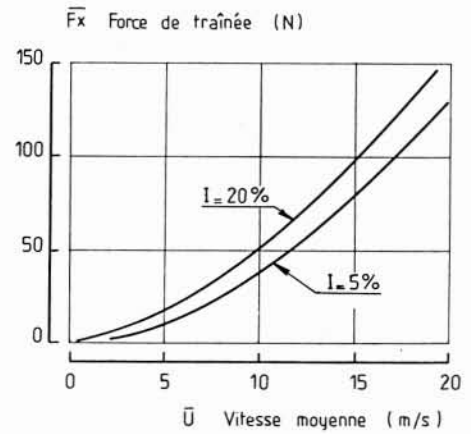
4.



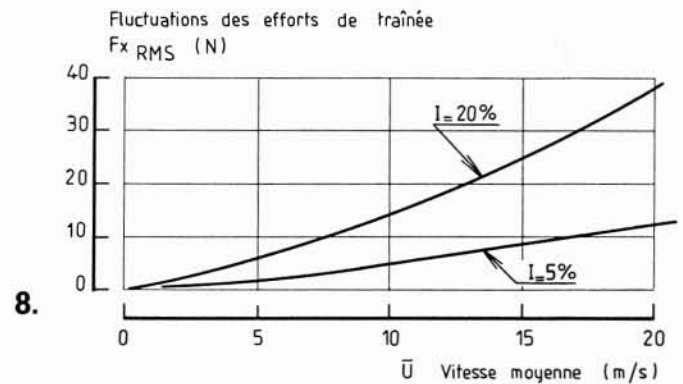
6.



5.



7.



8.

et dimensions diverses plus ou moins éloignés de la structure à étudier. Le plancher de la soufflerie est utilisé exclusivement à l'obtention de cet objectif;

— réalisation des caractéristiques dynamiques de l'écoulement [10] [13]. Dans l'exemple décrit ici, la turbulence est obtenue par un dispositif composé de deux poutres rectangulaires, puis par des hélices à ventelles tournant à des régimes différents et variables (figure 4). Le rôle des hélices est de peupler le spectre de vent en énergie dans la bande de fréquence d'étude, et de diffuser l'énergie des raies produites par les poutres (figure 6).

Par opposition à ce « vent turbulent », on appelle « vent lisse » l'écoulement obtenu en utilisant la turbulence intrinsèque de la soufflerie (sans obstacles amont). Les essais présentés ici ont été réalisés à la grande soufflerie de l'Etablissement technique de Bourges (ETBS).

*Réponse de la structure au vent [15]:* Ayant simulé un vent turbulent avec une bande d'énergie semblable dans la plage des premiers modes de la structure, il est possible d'étudier la réponse de cette dernière. Ci-après seront montrés uniquement les résultats relatifs à la traînée de la grue à tour.

Les variations des fluctuations de vitesse en fonction de la vitesse moyenne (figure 5) montrent que le taux de turbulence n'excède pas 5 % en vent lisse alors qu'il est de l'ordre de 20 % en écoulement turbulent. L'allure du contenu fréquentiel pour une vitesse moyenne de référence fait l'objet de la figure 6.

L'influence de la turbulence peut déjà être observée à partir de l'évolution de la force de traînée en fonction de la vitesse (figure 7) pour la configuration flèche perpendiculaire au vent retenue ici.

Les fluctuations de l'effort de traînée sont liées à la vitesse moyenne et à l'intensité de la turbulence (figure 8). Ces efforts dynamiques représentent en écoulement turbulent environ 30 % de l'effort moyen.

Les spectres des efforts sont à bande large lorsque la turbulence est faible alors qu'il s'agit de spectres de raies lorsque l'intensité de la turbulence est plus importante, la structure répondant alors pour l'essentiel de l'énergie sur ses modes propres.

On remarque que l'effort de traînée est fonction de la vitesse moyenne et des fluctuations de vitesse d'une part, et que les efforts fluctuants sont fonction de la vitesse moyenne et des fluctuations de vitesse d'autre part. On est alors amené à proposer d'exprimer les efforts dynamiques et moyens sous les formes suivantes : [15]

$$F_{RMS} = 0,5 \rho S [C_t (\sqrt{u^2})^2 + C_{it} \bar{U} \sqrt{u^2}]$$

$$\bar{F} = 0,5 \rho S [C_t \bar{U}^2 + C_u \bar{U} \sqrt{u^2}]$$

expressions dans lesquelles :

$C_t$  est un coefficient de traînée efficace dû à la turbulence;

$C_{it}$  est un coefficient de traînée d'interaction représentant la contribution de la vitesse moyenne sur les efforts fluctuants;

$C_u$  est un coefficient d'interaction représentant la contribution de la turbulence à l'effort moyen;

$C_l$  étant le coefficient aérodynamique classique qu'il convient d'utiliser avec précaution. En effet, le

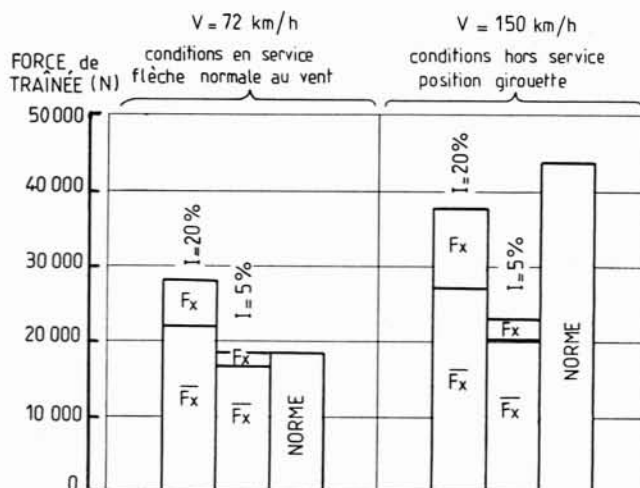
coefficient  $C_l$  défini ici correspond à un écoulement sans turbulence, alors que les résultats tabulés dans de nombreux ouvrages mentionnent rarement l'intensité de la turbulence.  $C_l$  est une fonction de l'intensité de la turbulence, et bien entendu du nombre de Reynolds.

## 2) Essais sur site [2] [8] [18]

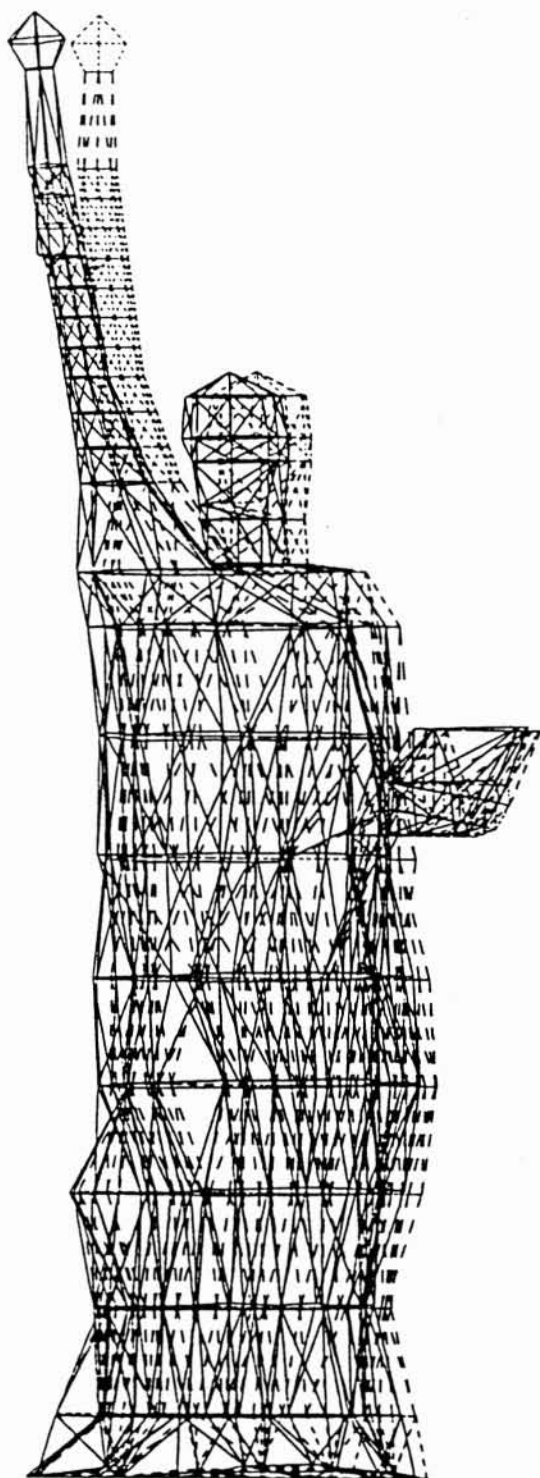
Généralement, les résultats des essais en soufflerie sont exploités lors de la conception de la structure. Il s'agit d'appliquer les critères de similitude retenus afin de déterminer les efforts moyens et dynamiques ainsi que les accélérations dûs au vent sur une structure en grandeur réelle. La comparaison avec les valeurs obtenues par l'application des normes devient alors possible [20].

Par exemple, pour la grue à tour, on peut comparer les efforts obtenus à partir des essais sur modèle avec les efforts calculés en utilisant les normes (figure 9). Tout se passe comme si la norme intégrait implicitement une turbulence de 10 %. Les observations directes sur une structure en grandeur réelle ne sont bien entendu pas aussi nombreuses que sur modèles, l'instrumentation étant plus délicate.

Pour son centenaire, la statue de la Liberté (figure 10, p. suiv.) a été calculée aux actions du vent [19], les caractéristiques dynamiques obtenues ont été comparées aux valeurs expérimentales [18]. Les niveaux de contrainte trouvés en certains endroits de l'ossature métallique dûe à Eiffel ont nécessité des actions de renforcement, principalement au niveau de l'épaule. Avec une surveillance et une maintenance convenables, la tenue à la fatigue du monument sous l'action du vent permet d'espérer une durée de vie de plus de 2 siècles.



9. Comparaison des normes avec les résultats de l'étude sur modèle (transposés en grandeur réelle).



10 . Statue de la Liberté. Analyse modale.

## Conclusion

L'amélioration constante des méthodes de réalisation, tenant compte des innovations dans le domaine des matériaux et de la conception, conduit nécessairement les structures et les engins à être plus légers, plus flexibles, plus hauts et plus performants. En conséquence, les contraintes augmentent, les fréquences propres diminuent et les déformées sont plus importantes.

La vulnérabilité des structures aux effets du vent augmente et il est donc nécessaire de tenir compte de plus en plus des effets de la turbulence atmosphérique sur ces constructions. Le vent présente en effet un caractère dynamique trop important pour qu'il puisse être considéré sous le seul aspect écoulement moyen.

Les études menées en soufflerie ou *in-situ* permettent de corriger la structure définitive en tenant compte des sollicitations observées. Entre les méthodes trop rudimentaires et les méthodes très rigoureuses, mais très lourdes existant pour dimensionner les installations à la tenue au vent moyen et à la turbulence, il paraît souhaitable de développer une méthode basée sur des normes améliorées prenant en compte la turbulence.

Une étude documentaire est en cours au CETIM pour une comparaison la plus large possible des normes et règlements en vigueur dans le monde.

### Adresses des auteurs

Messieurs M. Guesdon  
M. Pluiose  
M. Watremetz

CETIM  
52, avenue Félix Louat  
60304 Senlis  
Tél. : 44.58.32.66

## Bibliographie

- [1] EIFFEL G. — *Travaux scientifiques exécutés à la tour de trois cents mètres de 1889-1900*. Maretheux 1900.
- [2] CERMAK J.E., SADEH W.Z., HSI G. — Fluctuating moments on tall buildings produced by wind loading. « *Proceedings of technical meeting concerning wind loads on buildings and structures* ». National bureau of standards, Gaithersburg, Maryland, 1969.
- [3] CNB. — *Manuel canadien de calcul des structures*, 1970.
- [4] HARRIS R.J. — *The nature of wind. The modern design of wind-sensitive structures*. CIRIA, London 1971.
- [5] PLUVIOSE M. — Vibrations des ailettes de turbomachines. *Cetim — Informations*, Décembre 1973.
- [6] AFNOR. — *Norme NFE 52081. Grues à tour — règles de calcul 1975 FEM section 1, 12-1970 — DIN 1055*.
- [7] WHITBREAD R.E. — The measurement of non-steady wind forces on small-scale Building models. « *Proceedings of 4th International Conference on wind effects on buildings and structures* », Cambridge University Press 1975.
- [8] DAVENPORT A.G. — Perspectives on the full scale measurement of wind effects. *Journal of industrial aerodynamics*. Vol. 1 June, 1975.
- [9] SOIZE C. — *Structures en mer (Le vent)*. CNEXO-CTICM, Septembre 1976.
- [10] KAREEM A., CERMAK J.E. — Wind-tunnel simulation of wind-structure interactions, *ISA Transactions*, Vol. 18 n° 4 1977.
- [11] BLEVINS R.D. — *Flow induced vibrations*. Ed Van Nostrand Reinhold — New York 1977.
- [12] Règles NV.65 et annexes, *Règles définissant les effets de la neige et du vent sur les constructions*, Eyrolles 1978.
- [13] BARNAUD G., GANDEMER J. — Dynamic simulation of the atmospheric boundary layer at model scale of 1/250. *Journal of Industrial Aerodynamics*, 4 (1979) 35.41.
- [14] NIEMANN H.J., RUHWEDEL J. — Full-scale and model tests on wind-induced static and dynamic stresses in cooling tower shells. *Eng Struct* 1980, Vol. 2, April 1980.
- [15] JOUANNET J.C., WATREMETZ M. — *Etude expérimentale du comportement d'une grue à tour dans un vent turbulent*. CETIM 15KO71, Octobre 1980.
- [16] JOHNS D.J. — *Wind excited behaviour of structures III*, 1981.
- [17] KREE P., SOIZE Ch. — *Mécanique aléatoire*. Dunod Bordas, Paris 1983.
- [18] *Détermination expérimentale de contraintes et d'accélération sur l'ossature de la statue de la Liberté soumise à l'action du vent*. CETIM 8 42 530/6252 1983.
- [19] OUSSET Y., BILLAUD J.F. — *Calcul des structures soumises à l'action du vent*. Etude CETIM 10 10 10 NTI 84/16.
- [20] WATREMETZ M. — *Etude par similitude des efforts dus au vent sur une grue à tour en grandeur réelle*. CETIM 100570 Mai 1984.
- [21] SAGEAU J.F., ROBERT M. — Wind effects on high cooling towers. *International Symposium on natural draught cooling towers*. Ruhr-Universität Bochum Sept. 5, 7 — 1984.

## Discussion

Président : M. Y. BAMBERGER

*M. le Président.* — Ces études permettent-elles d'envisager un gain de matière — à sécurité égale — si on les appliquait non pas à la Tour Eiffel, ou à la Statue de la Liberté, mais à des structures du type « grandes grues ».

*M. PLUVIOSE.* — C'est en effet l'un des objets de l'étude. Par une meilleure connaissance des efforts dus au vent (vent moyen et turbulent), on peut espérer dimensionner plus correctement ces installations.

*M. GUESDON.* — Il faut également prendre en considération l'existence de normes et de réglementations; leur synthèse fait actuellement l'objet d'une seconde partie du travail qui complète toutes les connaissances sur la physique du problème.

*M. SAGNER.* — Vous avez mentionné un taux de turbulence de 5 à 20 %, mais pas détaillé le contenu spectral. Cela veut-il dire que vous considérez que les fréquences d'excitation sont nettement inférieures aux fréquences propres de la structure ? On aurait, dans ce cas, une réponse indépendante du rapport entre ces fréquences.

*M. GUESDON.* — Nous avons parlé des spectres d'essais; les domaines de fréquences du vent et de la structure n'y sont pas disjointes. Jusqu'à présent, notre effort a surtout porté sur le comportement statique; en dynamique, les seuls résultats dont on soit à peu près sûr concernent la valeur de la traînée et l'effort qui a été mesuré.

*M. SAGNER.* — Il s'agit des spectres de Van der Hoven.

*M. GUESDON.* — Certes, mais le spectre réel a été mesuré dans la soufflerie.

*M. PLUVIOSE.* — La soufflerie a été équipée de manière à retrouver le spectre de Van der Hoven.

*M. GUESDON.* — Les spectres de vent dépendent des sites, or nous n'avons pas effectué de mesures sur différents sites. Ceci

explique le choix qui a été fait sur le spectre.

*M. SAGNER.* — Qu'en est-il de l'altitude ?

*M. GUESDON.* — Nous avons retenu celle de la grue.

*M. PLUVIOSE.* — On trouve rarement les spectres locaux sauf près des aérodromes (aéroport de Roissy en France par exemple).

*M. FRITSCH.* — Peut-on expliquer physiquement les valeurs du spectre de Van der Hoven correspondant à 4 jours et 1 minute ?

*M. GUESDON.* — Nous ne nous sommes pas penchés sur ce point dont l'un concerne la macrométéorologie.

*M. le Président.* — La grue est-elle soumise à des efforts verticaux ou doit-on considérer que tout se passe horizontalement ?

*M. PLUVIOSE.* — Il s'agit d'un problème d'implantation. Nous n'avons retenu ici que la composante horizontale, mais il est certain que dans certaines dispositions, les efforts verticaux peuvent être importants.

*M. le Président.* — Cela a-t-il fait l'objet de mesures lors de vos expériences ?

*M. PLUVIOSE.* — Non; par ailleurs, lorsque la topographie du site est complexe, le vent n'est pas bien connu. Un certain nombre de grues ont été l'objet de quelques incidents dans ces conditions.

*M. le Président.* — Revenons aux normes : existe-t-il actuellement une norme internationale dominante ?

*M. PLUVIOSE.* — Il s'agit des normes F.E.M. et ISO, en cours de révision, et qui reprendront en partie l'étude qui vient d'être présentée.

