

n° 2002-0075-01

novembre 2002

## Réflexion sur la sécurité des immeubles de grande hauteur (IGH) suite aux attentats du World Trade Center



# **CONSEIL GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES**

**Rapport n° 2002-0075-01**

## **Réflexion sur la sécurité des immeubles de grande hauteur (IGH) suite aux attentats du World Trade Center**

établi par

**Raphaël SLAMA,**  
ingénieur général des ponts et chaussées

### **Destinataire**

Le Ministre de l'équipement, des transports, du logement, du tourisme et de la mer



La Défense, le 15 NOV. 2002

ministère  
de l'Équipement  
des Transports  
du Logement  
du Tourisme  
et de la Mer



Conseil Général des  
Ponts et Chaussées  
Le Vice-Président

## NOTE

à l'attention de

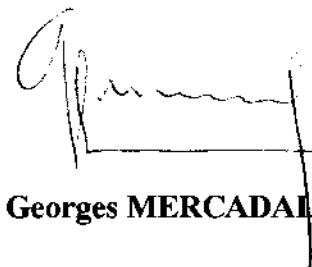
**Monsieur le Ministre de l'équipement,  
des transports, du logement,  
du tourisme et de la mer**

**Affaire n° 2002-0075-01**

Par lettre du 16 avril 2002, M. Denis BURCKEL, directeur du cabinet de Mme Marie-Noëlle LIENEMANN, secrétaire d'Etat au logement a demandé au conseil général des ponts et chaussées de mettre en place un groupe de réflexion sur **la sécurité des immeubles de grande hauteur (IGH) et les risques pour leurs occupants, notamment en cas d'incendie.**

Je vous prie de bien vouloir trouver ci-joint le rapport établi par **M. Raphaël SLAMA**, ingénieur général des ponts et chaussées.

Ce rapport me paraît communicable aux termes de la loi n°78-753 du 17 juillet 1978 modifiée, sauf objection de votre part, dans un délai de deux mois.



Georges MERCADAL

## Diffusion du rapport n° 2002-0075-01

- cabinet du ministre de l'équipement, des transports, du logement, du tourisme et de la mer		
* M. GRAFF, directeur de cabinet	1 ex	
* M. LECOMTE, directeur-adjoint du cabinet	1 ex	
* M. CREPON, conseiller technique	1 ex	
- le haut-fonctionnaire de défense	1 ex	
- le directeur général de l'urbanisme, de l'habitat et de la construction	1 ex	
* MM. JACQ (DGUHC/QP), BERRIER (DGUHC/QC)	2 ex	
- le directeur de la recherche et des affaires scientifiques et techniques	1 ex	
* M. COLSON (DRAST/Génie civil)	1 ex	
- le directeur des routes	1 ex	
- le directeur des transports terrestres	1 ex	
- le directeur des affaires financières et de l'administration générale	1 ex	
* M. D'ESCRIVAN (adjoint au directeur)	1 ex	
- le directeur des affaires économiques et internationales	1 ex	
* M. BARLET (DAEI/B)	1 ex	
- le directeur de la prévention des pollutions et des risques	1 ex	
- le directeur de la défense et de la sécurité civiles	1 ex	
* M. BARSACQ	1 ex	
* Commandant GAUDARD	1 ex	
- Préfecture de police de Paris		
* Lieutenant Colonel DAO (Brigade des sapeurs pompiers)	1 ex	
* M. ROMAN (Service des architectes de sécurité)	1 ex	
- Préfecture des Hauts-de-Seine		
* M. de BOUETIEZ	1 ex	
* M. BOLOTTE	1 ex	
- EPAD : M. BOUVIER	1 ex	
- CSTB : MM. MAUGARD, DELCAMBRE, BALOCHE	3 ex	
- CTICM : MM. LUCAS, KRUPPA	2 ex	
- INERIS : MM. LABROYE, MOUILLOT	2 ex	
- SOCOTEC : MM. LE SELLIN, LEMOINE	2 ex	
- la présidente de la 2ème section du CGPC	2 ex	
- le coordonnateur de la sous-section 2.2 « prévention et sécurité »	1 ex	
- le président de la 3ème section du CGPC	2 ex	
- M. SLAMA	15 ex	
- archives	1 ex	

## S O M M A I R E

<b>1. ENSEIGNEMENTS RETIRES DU RAPPORT AMERICAIN.....</b>	<b>3</b>
<b>2. REFLEXIONS ET APPLICATION A LA SITUATION FRANÇAISE.....</b>	<b>4</b>
2.1. <b>Gestion des risques liés à la malveillance dans les IGH.....</b>	<b>4</b>
2.2. <b>Prise en compte des interactions entre constructions             par les autorités qui autorisent celles-ci .....</b>	<b>5</b>
2.3. <b>Le besoin d'outils d'ingénierie de la sécurité incendie.....</b>	<b>5</b>
2.4. <b>Evolution de la réglementation sur les IGH.....</b>	<b>6</b>
<b>3. PREMIERES PROPOSITIONS .....</b>	<b>7</b>
3.1. <b>Actualisation des règles de sécurité des IGH vis-à-vis de l'incendie .....</b>	<b>7</b>
3.2. <b>Plan de gestion des risques de malveillance concernant les bâtiments             et ouvrages sensibles.....</b>	<b>7</b>
3.3. <b>Plan de gestion des interactions entre constructions lors de sinistres             dans des zones spécifiques .....</b>	<b>7</b>
3.4. <b>Ingénierie de la sécurité vis-à-vis de l'incendie.....</b>	<b>8</b>
<b>Lettre de mission.....</b>	<b>9</b>
<b>Annexe : Eléments de synthèse du rapport FEMA-ASCE .....</b>	<b>11</b>

## INTRODUCTION

A la suite des attentats du World Trade Center, une réflexion a été demandée au CGPC en Avril 2002, sur la sécurité des immeubles de grande hauteur (IGH), en particulier vis-à-vis d'incendies résultant d'acte de malveillance.

Dans ce cadre, j'ai organisé en juin et juillet 2002 deux réunions d'experts, la première avec la DDSC (M. MOREDDU), le CSTB (M. BALOCHE) et le CTICM (M. KRUPPA), la deuxième associant en outre la Préfecture de Police de Paris (Sapeurs-pompiers : Colonel DAO ; service des architectes de sécurité : M. ROMAN et Mme RAMIN), l'INERIS (M. MOUILLOT) et SOCOTEC (M. LEMOINE), la DDSC étant représentée par le Commandant GAUDARD. Participait aussi avec moi à ces réunions M. GRAND, ICPC, ancien directeur de l'EPA de Jussieu.

Ces réunions ont été complétées par des rencontres avec l'EPAD (M. BOUVIER et M. GERIN) et avec la Préfecture des Hauts-de-Seine (M. du BOUETIEZ et ses collaboratrices), ainsi que la DDE des Hauts-de-Seine (M. BOLLOTTE).

Les réflexions se sont appuyées sur le très important rapport américain publié en Mai 2002 par la FEMA<sup>1</sup> et l'ASCE<sup>2</sup>. Sur cette base il a été procédé à des échanges sur la réglementation française et ses améliorations possibles. Ces échanges ont été conclus par la définition des actions à conduire.

Tels seront les trois points abordés dans ce rapport:

1. Enseignements retirés du rapport américain
2. Réflexions et application à la situation française
3. Premières propositions d'actions

### 1. ENSEIGNEMENTS RETIRES DU RAPPORT AMERICAIN

#### - Structure

- La structure métallique des deux tours a convenablement résisté à l'impact destructeur d'un avion de ligne, grâce à la redondance de la structure.

#### - Résistance au feu

Peuvent apparaître comme des points de faiblesse :

- la résistance au feu de l'attache des planchers sur la structure verticale
- la tenue, lors d'un impact, de la protection contre le feu d'éléments métalliques

---

<sup>1</sup> FEMA : Agence fédérale pour le management des situations d'urgence.

<sup>2</sup> ASCE : Société américaine des ingénieurs en génie civil.

## - Evacuation

L'évacuation s'est bien passée grâce à

- l'existence d'escaliers de secours bien signalés et bien éclairés
- la conduite, avant l'attentat, d'exercices d'évacuation

Mais le regroupement des escaliers dans le noyau central, et l'existence d'un encloisonnement léger au lieu de cloisons résistant à l'impact, ont pu porter une responsabilité dans l'impossibilité d'évacuer les occupants des étages supérieurs.

## 2. REFLEXIONS ET APPLICATION A LA SITUATION FRANÇAISE

### 2.1. Gestion des risques liés à la malveillance dans les IGH

L'attentat du World Trade Center constitue un scénario que nul concepteur n'aurait envisagé de prendre en compte. L'incendie déclenché est extrêmement éloigné du feu conventionnel considéré par la réglementation. Mais il conduit à s'interroger sur une prise en compte plus systématique, dans la conception des grands ouvrages tels que les IGH, **de scénarios qui mettent en échec les principes de base du dispositif de sécurité**, ces scénarios étant en particulier liés à des actions de malveillance.

Dans le cas de l'incendie, la sécurité repose sur le « compartimentage » (l'incendie reste limité à un ou deux niveaux) et sur « l'évacuation fractionnée » (seuls les occupants de l'étage concerné, et des étages environnants celui-ci, se transfèrent dans des étages voisins).

En fait l'impact et l'incendie ont frappé plusieurs niveaux, détruit les dispositifs d'évacuation des étages les plus hauts, et obligé à une évacuation générale des autres étages.

Le groupe de travail pense qu'il ne serait pas réaliste de se prémunir contre des actions aussi spectaculaires. Mais il faut se prémunir contre les conséquences d'actes de malveillance « ordinaires », en adoptant en particulier des dispositions adéquates lors de la conception des immeubles (les mesures de sûreté n'étant pas abordées dans ce rapport). Il s'agirait d'une part de « ne pas rendre les choses faciles » aux candidats à des actes de malveillance, par un repérage et une attention particulière apportée aux points sensibles, et d'autre part d'éviter que des scénarios de malveillance (à imaginer), n'évoluent vers des situations catastrophiques.

Les actes de malveillance peuvent prendre des formes diverses : explosion, incendie ; risque chimique et bactériologique. La prise en compte de ce dernier conduirait à accorder beaucoup plus d'attention à la localisation et à la protection des prises d'air.

L'opinion du groupe de travail est que la possibilité de tels actes concerne autant les IGH que des ERP importants ou de grands ouvrages publics (tunnels, ponts...). Mais dans tous les cas il apparaît difficile aujourd'hui d'aborder leur prévention sous la forme réglementaire.

La prévention de la malveillance relèverait d'une démarche volontaire du maître d'ouvrage que la puissance publique pourrait encourager, en particulier par la production d'outils méthodologiques, issus d'un programme de recherche.

## 2.2. Prise en compte des interactions entre constructions par les autorités qui autorisent celles-ci

Le déroulement de la catastrophe du World Trade Center (WTC) a aussi mis en évidence l'interdépendance des bâtiments. L'incendie et l'effondrement des deux tours à entraîné dans une ruine totale ou partielle huit autres bâtiments voisins soit au total 3 millions de m<sup>2</sup> de plancher. Cette ruine a été causée par la chute des débris en feu, mais peut-être aussi par une communication de l'incendie par les sous-sols. Par conséquent « l'effet dominos » qui est craint en matière de risques industriels, s'est produit ici de façon marquée dans le domaine bâti sans entraîner heureusement de conséquences en termes de vies humaines.

Le groupe de travail considère que le risque de propagation aérienne du feu d'un immeuble à l'autre est faible et, en tout cas, qu'il n'est pas plus élevé avec les IGH qu'avec des immeubles traditionnels de centre-ville<sup>3</sup>.

En revanche d'autres types d'interactions entre bâtiments peuvent être craints :

- influence du panache de fumée sur une prise d'air voisine
- dans le cas de l'urbanisme souterrain, propagation des fumées et phénomènes de panique qui pourraient s'ensuivre.

Dans les ERP, des risques peuvent résulter de l'absence de toute réglementation sur la charge calorifique et la capacité « fumigène » des produits liés aux utilisateurs, indépendamment de toute intention malveillante. La situation est la même pour les tunnels routiers.

L'évaluation des risques liés aux interactions et la coordination des procédures en cas de sinistre, relèvent de l'autorité qui autorise les constructions. Elles pourraient faire l'objet d'un « plan de gestion des interactions lors des sinistres ».

## 2.3. Le besoin d'outils d'ingénierie de la sécurité incendie

Qu'elle concerne le bâtiment ou l'îlot, l'étude comporte en général trois phases :

- génération et sélection de scénarios « d'agression », liés en particulier au repérage des points de faiblesse du bâtiment et des situations ayant des conséquences graves
- étude du dispositif (actif et passif) de gestion du sinistre et de réduction de la gravité des conséquences.
- étude de solutions correctrices, dans le cas où les objectifs de sécurité recherchés ne sont pas atteints.

---

<sup>3</sup> L'interaction ne comporte pas que des aspects négatifs : voir les tours reliées par des passerelles.

Cette démarche nécessiterait en particulier que puisse être simulé le comportement des structures sous l'effet de différents scénarios d'incendie, ce qui suppose la disponibilité d'outils « d'ingénierie de la sécurité incendie », qui sont encore insuffisants. Le besoin de tels outils est actuellement ressenti au niveau international et fait l'objet de plusieurs initiatives : comité de normalisation de l'ISO, programme Benefeu encouragé par la Commission européenne. Une action est également envisagée au niveau français (voir plus bas).

## 2.4. Evolution de la réglementation sur les IGH

Si l'on en vient maintenant à la réglementation française, sa situation est la suivante. Les IGH ont fait l'objet d'une première réglementation en 1967. Une nouvelle version lui a succédé en 1977, mais elle est dépassée car elle ne prend pas en compte les Systèmes de Sécurité Incendie (SSI) qui sont de fait actuellement exigés dans les tours<sup>4</sup>. Une actualisation du règlement de 1977 s'impose et est envisagée à très court terme par la DDSC.

La réglementation des IGH<sup>5</sup> s'applique à de nombreux immeubles de bureaux, mais également à un certain nombre d'immeubles d'habitations, dont certains sont antérieurs à 1967, date de la première réglementation. Ces tours d'habitation anciennes présentent des écarts par rapport aux exigences réglementaires du fait des difficultés financières des copropriétés. Elles posent un problème spécifique.

Aucun des enseignements tirés des attentats du WTC ne justifie une modification urgente des textes actuels, celle-ci étant par ailleurs nécessaire pour le motif évoqué plus haut. Mais à l'occasion de cette révision, il sera opportun de se pencher sur certains de ces enseignements :

- un écartement plus important entre les 2 escaliers de secours réglementaires (aujourd'hui la réglementation impose un minimum de 10 m entre les accès)
- un balisage photoluminescent des escaliers de secours et de leurs itinéraires d'accès
- introduction d'une procédure d'alarme ordonnant l'évacuation générale (en plus de l'évacuation fractionnée actuellement prévue)
- sonorisation des escaliers de secours pour favoriser le guidage ? (suggestion de la Préfecture des Hauts-de-Seine).

<sup>4</sup> Ces systèmes permettent un contrôle centralisé de l'ensemble des dispositifs contribuant à la sécurité de la tour vis-à-vis de l'incendie (déTECTEURS, alarmes, asservissements, etc...)

<sup>5</sup> Pour mémoire, constitue un IGH tout immeuble dont le plancher bas du dernier niveau est situé, par rapport au niveau de sol le plus haut accessible aux engins de lutte contre l'incendie, à plus de 50 m pour les immeubles à usage d'habitation, et à plus de 28 m pour tous les autres immeubles.

### 3. PREMIERES PROPOSITIONS

#### 3.1. Actualisation des règles de sécurité des IGH vis-à-vis de l'incendie

ACTION 1

Les enseignements tirés des attentats du WTC ne conduisent pas à préconiser de bouleversement des règles de sécurité en vigueur. Mais une révision de celles-ci est urgente en raison de leur obsolescence. Cette révision doit être entreprise dès octobre 2002. Elle conduira à examiner les enseignements de la catastrophe du WTC, pour qu'il en soit tenu compte dans la future réglementation. **Le principal enseignement concerne l'importance de l'évacuation.** Cet examen concernera donc en particulier l'écartement entre escalier de secours, la résistance de leurs parois à des sollicitations telles que des explosions, et leur signalisation, ainsi que les exercices d'évacuation.

ACTION 1 BIS

A cette occasion ou dans un cadre distinct, il devra aussi être procédé à un examen attentif des IGH d'habitation existants, particulièrement vis à vis de ces problèmes d'évacuation des étages situés au-dessus de 28 mètres du sol.

#### 3.2. Plan de gestion des risques de malveillance concernant les bâtiments et ouvrages sensibles

A côté des risques naturels et des risques technologiques apparaît un troisième type de risques : ceux liés à la malveillance. Ils sont de plusieurs natures : risques d'explosion et d'incendie, et risque chimique et bactériologique.

S'agissant de la conception des bâtiments, le groupe de travail ne préconise aucune obligation réglementaire. La conduite d'une réflexion sur les risques liés à la malveillance, et l'intégration de ses conclusions dans la conception du bâtiment, relèvent du maître d'ouvrage. La puissance publique quant à elle pourrait encourager la conduite de travaux, destinés à donner les bases méthodologiques à cette approche.

ACTION 2

Pour cela, il est suggéré que soit mis en place rapidement un **projet de recherche interministériel** (associant outre l'Equipment, le Ministère chargé de la Recherche et le MEDD, ainsi que le Ministère de l'Intérieur). Ce projet mobiliserait les différents organismes qui ont développé des approches sur la gestion des risques (Universités, Ecoles, Instituts...).

#### 3.3. Plan de gestion des interactions entre constructions lors de sinistres dans des zones spécifiques

Dans les secteurs où les constructions sont en forte interaction entre elles, la nécessité d'une étude systématique des dangers liés à ces interactions et d'un plan de gestion des sinistres coordonnant les réponses des opérateurs, mériterait d'être approfondie. Les critères de choix des zones justifiant de telles études doivent également être définis.

**ACTION 3**

La préfecture des Hauts-de-Seine a entrepris des exercices dans ce domaine (fumées produites par un feu simulé de véhicule dans un tunnel de la Défense). Elle envisage une **réflexion plus globale qui associerait l'EPAD et les trois communes concernées**.

Il conviendrait d'appuyer cette démarche et d'intégrer son accompagnement dans le projet de recherche visé ci-dessus en 3.2.

### 3.4. Ingénierie de la sécurité vis-à-vis de l'incendie

La démarche volontaire des maîtres d'ouvrage, désireux de se prémunir contre certains scénarios de catastrophes, ainsi que l'étude de plans de gestion des risques sur certains secteurs, supposent un développement de l'approche dite « ingénierie de la sécurité incendie ». Cette approche utilise le calcul et la simulation, et se distingue d'une démarche purement descriptive de la sécurité, fondée sur l'expérience passée (au demeurant très respectable).

**ACTION 4**

Un « **projet national** » de l'IREX<sup>6</sup>, destiné à développer cette approche, et encouragé par la DRAST, est d'ores et déjà envisagé. Nous proposons que ce projet fasse l'objet d'une forte expression d'intérêt et du soutien nécessaire à sa réalisation rapide.

En marge où à l'intérieur de ce projet, l'étude du comportement des dispositifs d'assemblages, lors d'incendies violents, devrait être conduite, pour les structures métalliques comme pour celles en béton armé.

Raphaël SLAMA

---

<sup>6</sup> Institut pour la recherche appliquée et l'expérimentation en génie civil.

Ministère de  
l'Équipement, des  
Transports  
et du Logement

Paris, le 16 avril 2002

Le Directeur du Cabinet  
de la Secrétaire d'Etat  
au Logement

PS/IGH/CGPC GROUPE REFLEXION

Le Directeur du Cabinet de la  
Secrétaire d'Etat au Logement

à

Monsieur le Vice-Président du Conseil  
Général des Ponts et Chaussées

L'attentat du World Trade Center a eu comme conséquence indirecte d'attirer l'attention sur la sécurité des immeubles de grande hauteur (IGH) et des risques pour leurs occupants, notamment en cas d'incendie.

Je souhaite que le CGPC constitue sur cette question un groupe de réflexion associant des experts extérieurs en raison de leur compétence professionnelle ou scientifique.

Son objectif sera d'examiner les règles et normes de construction actuellement en vigueur, au regard de sollicitation de caractère totalement exceptionnel telles que celles qu'ont généré une série d'événements récents, naturels, accidentels ou intentionnels.

La première question est celle de la sécurité des personnes dans de telles circonstances catastrophiques :

. les dispositions techniques retenues en matière d'évacuation d'urgence (la protection au feu et aux fumées des escaliers de secours, leur nombre, les modalités et consignes d'évacuation) doivent-elles être revues ?

La seconde question est celle de la stabilité structurelle de la construction, qui doit être posée en termes de succession de ruines partielles conduisant par enchaînement à la destruction partielle ou totale de l'édifice.

.../...

Les travaux de groupe de réflexion devront d'une part se nourrir des observations faites à l'occasion de catastrophes passées, d'autre part s'ouvrir sur des scénarii aussi diversifiés que possible. Une analyse comparative des différentes solutions techniques possibles pourra être engagée sur ces bases. Un regard particulier pourra également être porté sur la qualité de réalisation des ouvrages, et sur la problématique du vieillissement des structures et leurs conséquences sur la tenue de l'immeuble soumis à des sollicitations exceptionnelles.

Il paraît opportun que, dans la recherche de solutions aux problèmes qui seront identifiés par ses investigations, le groupe de réflexion intègre les méthodes modernes de traitement du risque (approche probabiliste, prise en compte de la gravité des conséquences), et s'appuie sur les outils rendus disponibles par l'harmonisation européenne (eurocodes pour le calcul des structures, euroclasses pour la réaction au feu et la mesure des fumées). Ses travaux pourront ouvrir la voie à des évolutions réglementaires.

*A l'inverse, la lutte contre les actes de malveillance (sûreté des constructions) est extérieure à la mission de ce groupe ; mais les conséquences de tels actes devront être prises en compte.*

Les travaux de ce groupe devront bien entendu s'appuyer sur toutes les informations ou rapports d'experts qui ne vont pas manquer d'être produits aux Etats-Unis en particulier.

Le rapport qu'il produira pourra faire l'objet d'un avis délibéré du Conseil afin de donner plus de force aux recommandations qui en résulteront.

Denis BURCKEL

**ATTENTATS DU WORD TRADE CENTER À NEW-YORK**

---

**ELEMENTS DE SYNTHESE  
DU RAPPORT DE LA FEMA ET DE L'ASCE**

---

L'impact, à une heure d'intervalle le matin du 11 septembre, de deux avions de ligne, deux Boeing 767-200 sur les tours jumelles du World Trade Center à NEW-YORK, hautes chacune de 110 étages soit 400 m environ, a occasionné l'un des plus graves désastres bâtimentaires de l'après-guerre, séismes exclus.

Sur les 58 000 personnes présentes sur le site du WTC, plus de 3 000 perdirent la vie.

Les deux tours présentaient des conceptions similaires, sans être identiques. La tour Nord était surmontée d'une tour de transmission de 120 m de haut. Chaque étage des tours présentait une section carrée de 60 m de côté.

**Les structures**

L'enveloppe extérieure de chaque tour était constituée de colonnes métalliques très proches les unes des autres, constituant un véritable mur métallique porteur ajouré. Chaque façade comportait 60 colonnes, solidarisées au niveau de chaque étage par de larges fers plats. Ce mur périphérique était réalisé par modules de 3 colonnes, sur une hauteur de 3 étages, réunies par des fers plats à chaque étage. Quelques uns de ces modules sont restés debout sur les lieux du sinistre longtemps après le 11 septembre.

Le noyau central était constitué de gros poteaux porteurs répartis, avec un encloisonnement léger. Les planchers consistaient en 10 cm de béton léger coulé sur des dalles métalliques collaborantes, reposant elles-mêmes sur une poutre complexe.

**L'impact**

La tour Nord a été heurtée sur sa face nord entre le 94<sup>ème</sup> et le 98<sup>ème</sup> étage. La tour Sud a été heurtée sur sa face sud, plutôt en angle, entre les étages 78 et 84. Le choc a brisé au moins une cinquantaine de colonnes métalliques sur plusieurs étages et provoqué l'effondrement partiel de plusieurs niveaux de planchers. Des dégâts importants ont aussi été occasionnés au noyau central. Certains éléments des avions, comme les atterrisseurs, ont totalement traversé l'édifice percuté et se sont retrouvés en contrebas. Malgré ces dommages, la tour Nord est restée debout pendant 1 heure et 43 minutes et la tour Sud 56 minutes, grâce à la redondance de la structure. C'est très clairement l'incendie qui a eu raison de celle-ci.

## **L'incendie**

Selon les estimations, chaque avion ayant décollé de BOSTON pour rejoindre la côte Ouest, contenait environ  $40 \text{ m}^3$  de kérósène. Une partie de ce carburant ( $5 \text{ à } 10 \text{ m}^3$ ) s'est volatilisé à l'impact, occasionnant des « boules de feu », d'une durée de 2 secondes, autour du bâtiment.

Le carburant restant s'est pour une partie consumé sur place (un tel feu de kérósène a une durée de 5 minutes si la ventilation est suffisante) et pour le reste a coulé dans les gaines et les étages inférieurs, provoquant de nouveaux incendies. La combustion du kérósène a provoqué l'embrasement généralisé de tous les matériaux combustibles présents dans les locaux des étages de l'impact, ainsi que ceux de l'avion.

Ainsi alimenté, l'incendie a fait rage sur plusieurs étages, sur une période de temps très supérieure à celle qui correspondrait à la combustion du seul kérósène.

S'agissant de la lutte contre le feu, le choc des avions a immédiatement mis hors service le système de sprinklers et d'alimentation en eau. Par ailleurs la hauteur du point d'impact et la mise hors service des ascenseurs n'a pas permis aux pompiers d'attaquer véritablement le feu, selon un combat probablement perdu d'avance en raison de la violence de l'incendie.

## **L'évacuation**

Chaque tour comportait 3 escaliers de secours indépendants, avec des circulations verticales interrompues par des circulations horizontales.

Certains occupants des deux tours avaient entrepris l'évacuation après le premier impact. L'évacuation générale a été décidée à la suite du second impact. Cette évacuation a été considérée comme un succès, car pratiquement 99 % des personnes situées au-dessous des planchers touchés par l'impact ont pu être sauvées.

En revanche, les personnes situées dans les niveaux de l'impact, et au-dessus de ceux-ci, n'ont pu être évacuées, en raison de l'interruption des escaliers de secours dans la zone d'impact à l'exception d'un escalier dans la tour Sud, mais dont la praticabilité semble avoir été connue seulement de quelques uns. A ces victimes s'ajoutent 343 personnels des services de sécurité présents dans la tour Nord lors de son effondrement.

## **L'effondrement**

Dans les étages en feu un phénomène d'écartement des poteaux métalliques s'est produit sous l'effet de la poussée des planchers échauffés, et de l'affaiblissement des poteaux eux-mêmes soumis à cet échauffement.

L'enchaînement de l'effondrement progressif a alors été le suivant :

- l'écartement des poteaux périphériques entraîne la perte d'appui des poutres supports de planchers, et l'effondrement des planchers dans la zone d'impact

- privés de la retenue assurée par les planchers (dispositifs anti-flambement), les poteaux « flambent » dans la zone d'impact
- il s'ensuit l'effondrement de toute la partie haute du bâtiment
- le poids des planchers et l'énergie de la chute entraînent l'effondrement progressif des étages inférieurs jusqu'à épargnés.

### **Premières conclusions**

Bien que les ingénieurs se félicitent que les tours aient pu résister à l'impact d'avions à pleine charge, c'est quand même la stupéfaction qui domine devant l'effondrement complet des deux tours à la suite de l'incendie.

Néanmoins l'administration américaine n'envisage pas a priori de modifier les exigences du code de la construction pour traiter de telles éventualités. Celles-ci doivent plutôt être traitées par des mesures concernant la sûreté des avions et la sûreté en général.

Des enseignements plus détaillés sont analysés par ailleurs dans notre rapport.

## CROQUIS EXTRAIT DU RAPPORT FEMA-ASCE

### CHAPTER 1: *Introduction*

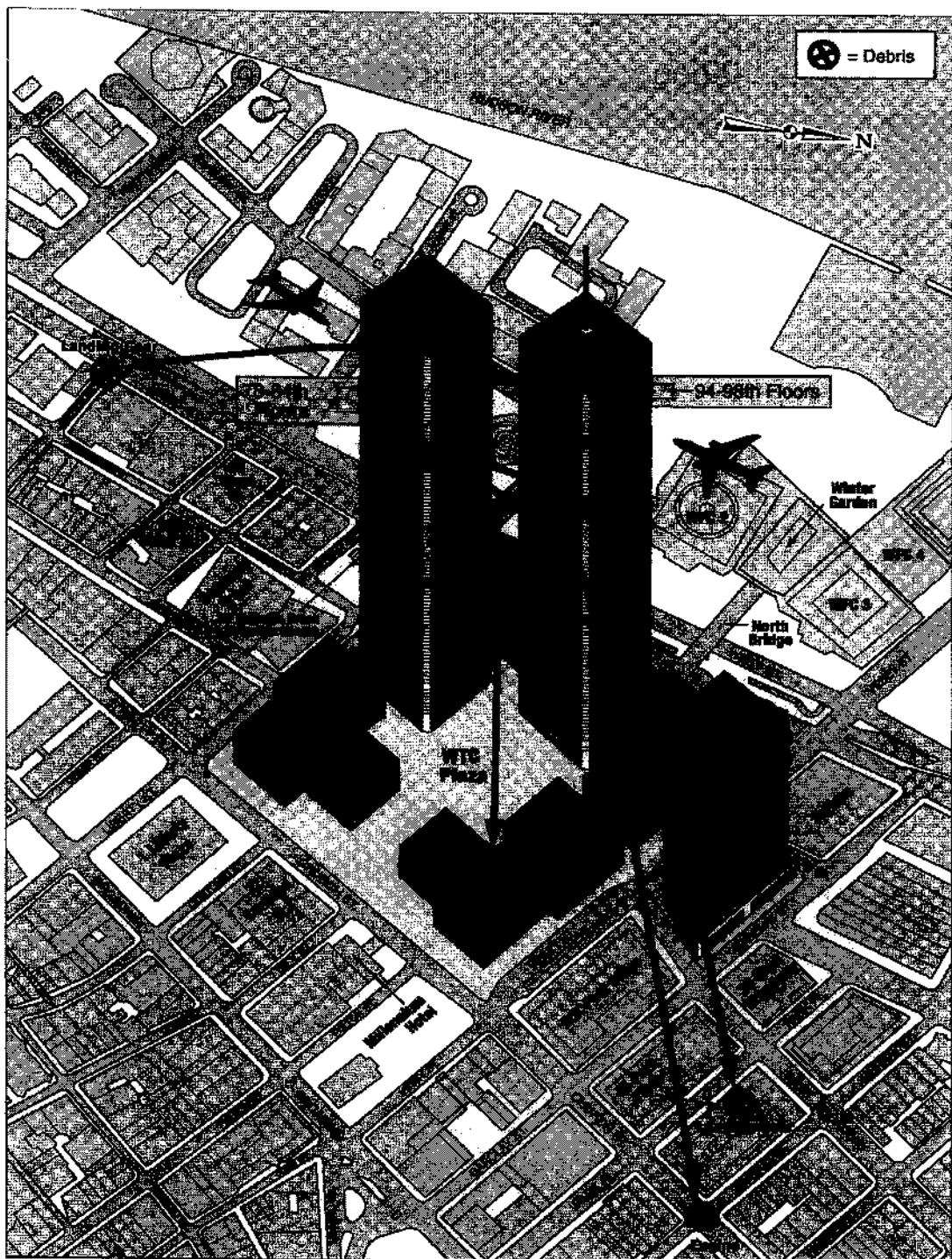


Figure 1-4 *Areas of aircraft debris Impact.*

