



Centrale nucléaire de Gentilly-2

Effets de l'écrasement d'un avion commercial

Bâtiment du réacteur et site du stockage à sec du combustible irradié

Conçu par :

I. Kfoury 15.06.04

Issam Kfoury, ing.
Ingénieur de projets

Revu par :

V. Gocevski 15.06.2004

Vladimir Gocevski, Ph.D., ing.
Chef - Structures

Approuvé par :

Alain Chamberland 04-06-15

Alain Chamberland, ing. Msc
Chef de projets

Centrale nucléaire de Gentilly-2

Étude sur les effets de l'écrasement d'un avion commercial sur le bâtiment du réacteur et sur le site de stockage à sec du combustible irradié



Centrale nucléaire de Gentilly-2

Pourquoi Hydro-Québec a-t-elle mené une telle étude ?

Depuis les événements du 11 septembre 2001, plusieurs questions d'ordre public ont été soulevées quant aux conséquences de l'écrasement d'un avion commercial sur une centrale nucléaire.

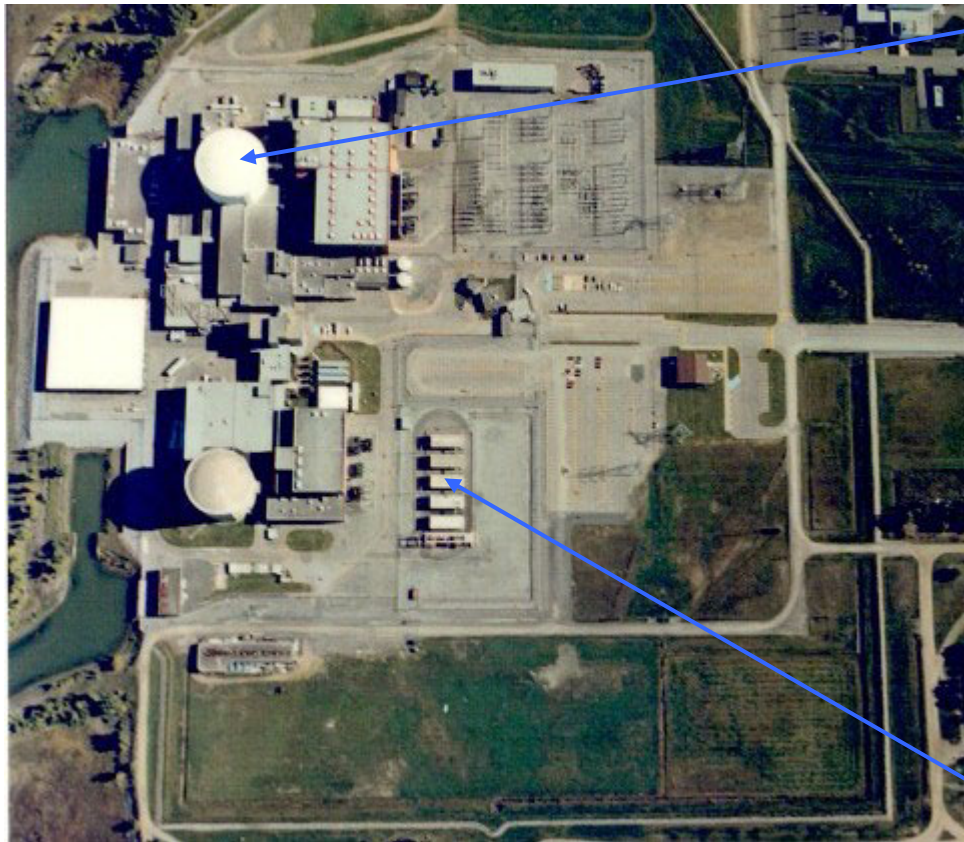
Soucieuse de la sécurité de la population québécoise, Hydro-Québec a mené une étude destinée à établir la capacité des structures de Gentilly-2 dans le but d'évaluer les dommages qui se produiraient à la suite d'un événement similaire à ceux de New-York et de Washington.

Cette étude a permis l'évaluation de deux volets distincts :

- les effets de l'écrasement d'un avion commercial sur le bâtiment du réacteur et sur le site de stockage à sec du combustible irradié ;
- les effets de l'incendie qui s'ensuivrait.

Quelles sont les installations ayant fait l'objet de l'étude ?

Les installations qui ont fait l'objet de l'étude sont le bâtiment du réacteur et le site de stockage à sec du combustible irradié.



Bâtiment du réacteur

Site de stockage

Vue à vol d'oiseau de Gentilly-2

Le bâtiment du réacteur

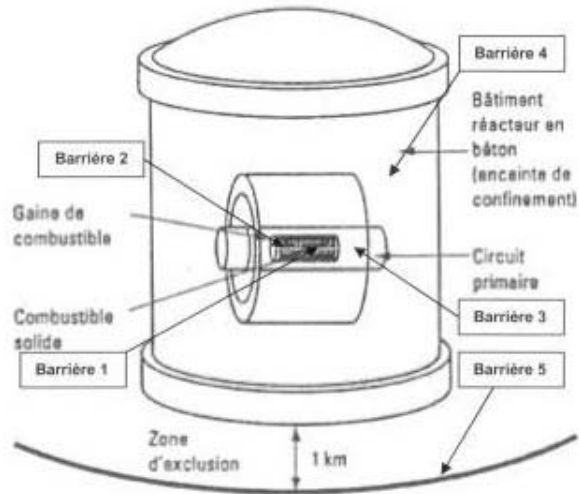
À Gentilly-2, le bâtiment du réacteur est la structure qui forme une enceinte étanche autour des principaux équipements servant à générer de l'énergie nucléaire.

Il a été conçu conformément aux critères de sécurité nucléaire canadiens qui régissent l'étanchéité des enceintes où est confiné un réacteur CANDU de la famille des 600 MW.

Sa surface intérieure est recouverte d'époxy de façon à empêcher toute contamination advenant une libération de substance radioactive dans l'atmosphère du bâtiment.

Le principe appliqué pour protéger la population et l'environnement des matières radioactives comporte cinq barrières radiologiques. Pour qu'il ait libération de ces matières, il faut que les quatre premières barrières radiologiques aient été endommagées.

Le bâtiment du réacteur (suite)

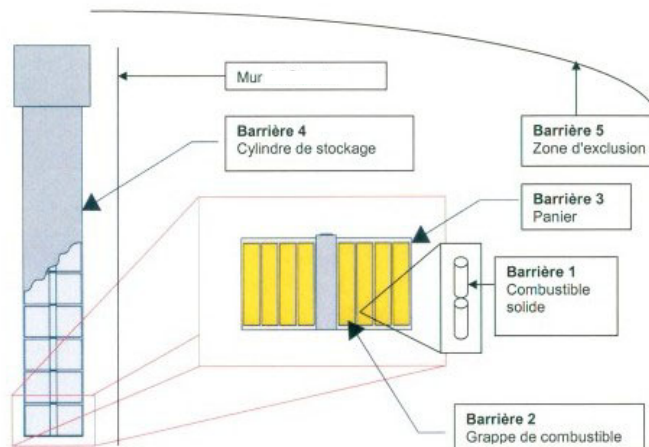


Barrières radiologiques du bâtiment du réacteur

Le site de stockage contient présentement cinq modules de stockage où est entreposé le combustible irradié. Chaque module est une structure en béton armé conçue pour abriter des cylindres d'acier au carbone qui contiennent des paniers d'acier inoxydable. Les grappes d'uranium sont déposées dans ces paniers après avoir séjourné dans la piscine de stockage.

Bien que le degré de radioactivité du combustible irradié soit bien plus faible que celui du combustible présent dans le réacteur, le même principe de protection est appliqué.

Le site de stockage



Barrières radiologiques d'un module de stockage

Quels sont les types d'avion considérés dans l'étude ?



Boeing 767-400 ER



Boeing 727

Quoique plusieurs types d'avion pourraient s'écraser sur les structures de Gentilly-2, c'est le Boeing 767-400 ER qui a principalement été considéré dans l'étude parce qu'il forme les deux-tiers des flottes d'avions commerciaux et parce que :

- son poids correspond au poids de 88 % des avions commerciaux américains ;
- le poids de son moteur correspond au poids de 90 % des moteurs d'avions commerciaux.

Les principales caractéristiques du Boeing 767-400ER sont les suivantes :

Longueur totale	61,4 mètres
Largeur totale	51,9 mètres
Poids maximal de l'appareil (au décollage)	200 tonnes
Poids maximal du carburant	73,4 tonnes
Poids du carburant solide	20 tonnes

Au cours de l'étude, l'impact dû à l'écrasement d'un Boeing 767-400ER a été évalué compte tenu de ses parties rigides, soit les moteurs, et de ses parties molles, soit le fuselage et les ailes.

Un type d'avion autre que le Boeing 767-400ER a également été étudié, soit le Boeing 727.

Quels sont les scénarios adoptés dans le cadre de l'étude ?

Les scénarios adoptés dans l'étude ont été choisis parce qu'ils :

- s'appuyaient sur des données fiables ;
- permettaient des hypothèses vraisemblables ;
- fournissaient la possibilité de simuler les pires cas en termes d'impact et d'incendie.

Le premier scénario choisi s'appuie d'abord sur le fait que le pilote doit voir sa cible pour être en mesure de la heurter de plein fouet ; pour ce faire, il faudrait que l'angle d'approche de l'avion soit d'au moins 30° par rapport à l'horizontale étant donné que le bâtiment du réacteur et les modules de stockage ne sont pas très hauts. Ce scénario s'appuie aussi sur le fait que les deux structures sont petites par rapport à l'avion ; s'en approcher avec précision à basse altitude et à haute vitesse serait très difficile à réaliser en raison de la turbulence qui se créerait dans ces conditions.

Le deuxième scénario retenu prend en compte que le carburant dispersé par l'impact s'accumulerait en nappe et prendrait feu, ce qui augmenterait la période de combustion et la température du béton.

Quels sont les scénarios adoptés dans le cadre de l'étude ? (suite)

En ce qui concerne le site de stockage, c'est l'écrasement de l'avion sur le toit d'un module qui constitue le seul scénario crédible. En effet, il est invraisemblable qu'un avion frappe un mur en raison de la faible hauteur des modules par rapport à la taille imposante de l'appareil. Comme le Boeing 767-400ER est plus large qu'un module de stockage, il pourrait en toucher au moins trois en s'écrasant ; l'incendie qui s'ensuivrait brûlerait un module entier et les murs des deux modules adjacents.

Quels sont les outils d'analyse utilisés pendant l'étude ?

L'étude a été réalisée avec des outils à la fine pointe de la technologie. Le modèle numérique utilisé pour simuler les effets de l'écrasement d'un avion commercial sur le bâtiment du réacteur ou sur le site de stockage a été construit à partir de logiciels commerciaux qui ont été modifiés de façon à ce que les simulations soient les plus conformes possible à la réalité. Pour vérifier la fiabilité du modèle, certains des résultats produits par ce dernier ont été comparés aux résultats obtenus en laboratoire avec de grands échantillons représentatifs des deux structures, conformément aux exigences prescrites dans la norme CSA-N286.7. L'équipe technique choisie pour réaliser cette portion de l'étude comprenait des spécialistes québécois, canadiens et internationaux hautement qualifiés et reconnus dans leurs domaines respectifs, qu'ils soient chercheurs universitaires ou spécialistes en recherche appliquée ou en analyse dynamique.

Les effets de l'incendie causé par l'écrasement d'un avion commercial sur le bâtiment du réacteur ou sur le site de stockage ont été simulés avec des logiciels spécifiquement développés pour ce faire. Ceux-ci ont été conçus à partir de modèles d'analyse qui s'appuient sur des principes théoriques notoires, sur des expériences réalisées en laboratoire ainsi que sur des techniques reconnues dans l'analyse des risques d'incendie liés aux produits pétroliers. L'équipe technique sélectionnée pour cette autre portion de l'étude était composée de spécialistes des plus compétents dans les domaines de la modélisation des incendies et de l'évaluation quantitative des risques d'incendie.

Quels sont les résultats obtenus à la suite de l'étude?

Si un avion commercial s'écrasait sur le bâtiment du réacteur ou sur un module de stockage, ses ailes se désintégreraient, ce qui provoquerait la dispersion partielle du carburant se trouvant dans ses réservoirs. Une boule de feu se formerait alors près du point d'impact. Le reste du carburant s'accumulerait au pied du bâtiment ou du module et prendrait feu.

Des analyses poussées, reposant sur des données de base fiables et des hypothèses conservatrices, ont permis de calculer les effets combinés de l'écrasement de l'avion et de l'incendie qui s'ensuivrait.

L'angle de frappe le plus plausible a été déterminé pour :

- le fuselage et les ailes de l'avion, considérés comme des missiles mous ;
- les moteurs de l'avion, considérés comme des missiles rigides.

Ces angles ont servi à préciser la force maximale avec laquelle l'avion pourrait frapper sa cible.

Les effets sur le bâtiment du réacteur

Les dommages résultant de l'impact causé par l'écrasement d'un avion commercial sur le bâtiment du réacteur varieraient en importance selon la vitesse de l'avion au moment de l'impact, selon que l'impact se produise avec une partie molle ou rigide et selon le point d'impact lui-même. Des fissures apparaîtraient sur les faces extérieure et intérieure du mur ; aux endroits touchés par les moteurs, le béton se détacherait de l'enceinte d'étanchéité. Toutefois, le mur du bâtiment ne serait pas transpercé et son intégrité structurale serait conservée.

Les calculs effectués démontrent que la boule de feu qui se créerait près du point d'impact serait de très courte durée et qu'elle n'abîmerait pratiquement pas le bâtiment du réacteur, ni le toit des bâtiments avoisinants. Le revêtement métallique de certains murs pourrait cependant être endommagé.

En brûlant, la nappe de carburant accumulée au pied du bâtiment du réacteur exposerait le mur à une température élevée. La surface atteinte serait plus ou moins importante selon la hauteur des flammes, la taille de la nappe et les caractéristiques du vent. La partie du mur exposée au feu ne présenterait que des dommages superficiels qui n'affecteraient pas l'intégrité structurale du bâtiment. En effet, la température intérieure augmenterait légèrement et des fissures apparaîtraient sur la face intérieure du mur, vis-à-vis les flammes. Cependant, ces dommages ne se propageraient pas à travers le mur dont l'armature resterait intacte.

Les effets sur le site de stockage

Si un avion commercial s'écrasait sur le site de stockage, la gravité des dommages subis par les modules de stockage atteints dépendrait de la vitesse de l'avion au moment de l'impact, du fait que l'impact se produise avec une partie rigide ou molle et du point d'impact proprement dit. Des fissures importantes pourraient apparaître sur les murs du module atteint, mais le béton ne se détacherait pas de sa face intérieure. Son toit ne serait pas perforé si un des moteurs de l'avion le frappait. Par conséquent, l'intégrité structurale du module atteint serait conservée.

La boule de feu qui se créerait près du point d'impact serait suivie d'un incendie du toit des modules atteints et d'un incendie de la nappe de carburant accumulée autour de ces derniers. L'un ou l'autre serait englouti par les flammes extérieures et les gaz de combustion s'introduiraient à l'intérieur par les bouches de ventilation.

Les calculs effectués démontrent que les dommages dus à la boule de feu, de très courte durée, seraient négligeables et que le feu qui se déclarerait sur le toit n'endommagerait pas les couvercles soudés des bouchons des cylindres.

La chaleur dégagée à l'extérieur par l'incendie de la nappe de carburant et à l'intérieur par les gaz chauds n'occasionneraient que des dégâts superficiels qui ne modifieraient pas l'intégrité structurale du module atteint. Advenant que les cylindres de stockage subissent des dommages, le confinement du combustible irradié n'en serait pas pour autant menacé étant donné que la température maximale des gaz chauds serait inférieure à la température de fusion du zircaloy, matériau constituant la gaine qui entoure la céramique d'uranium.

Les hypothèses sur lesquelles repose l'étude d'Hydro-Québec sont très conservatrices et les facteurs de sécurité utilisés au cours des analyses ont été judicieusement choisis pour refléter les cas qui présenteraient le maximum de conséquences. Compte tenu de la dimension des cibles par rapport à celle de l'avion, il est pratiquement impossible que ces hypothèses soient inadéquates, ce qui permet de conclure que les résultats obtenus sont fiables.

Quelles sont les conclusions de l'étude ?

Lors des événements de 2001, les tours du World Trade Center ont été frappées de plein fouet à cause de leur dimension et de leur hauteur. Le Pentagone, par contre, a été heurté par un avion volant d'une façon erratique ; en raison de sa longueur, il aurait pu être atteint de n'importe quel côté. En raison de la différence de taille entre les structures de Gentilly-2 et celle des édifices frappés en 2001, il est très peu probable qu'un avion puisse frapper de plein fouet les installations de Gentilly-2. Advenant un tel cas, l'étude a permis de démontrer que l'intégrité structurale du bâtiment du réacteur et des modules de stockage resterait intacte, ce qui empêcherait les matières radioactives de se libérer dans l'environnement.

