
 <p>Lycée Pilote Innovant International</p>  <p>Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable (STI2D)</p>	<p>Nom :</p> <p>Prénom :</p> <p>Date :</p>
<p>Evaluation sommative 1 :</p> <p>Les tours du World Trade Center</p> <p>le 11 sept 2001</p>	<p>Correction</p>

1 Le développement durable

1.1 Expliquer l'expression « poche de soleil » utilisée à plusieurs reprise par Yann Arthus Bertrand dans son film Home pour évoquer le pétrole.

Le pétrole est une énergie fossile. Il correspond à de la matière organique produite par photosynthèse pendant des millions d'années à partir de l'énergie solaire, puis enfouie sous la terre et fossilisée.

1.2 Expliquer très brièvement d'où provient actuellement l'excès de CO₂ dans l'atmosphère et comment il contribue au réchauffement climatique.

Le CO₂ en excès provient de l'activité humaine, notamment de la combustion d'énergie fossile (pétrole, charbon, gaz).

Le CO₂ est un gaz à effet de serre : il contribue à limiter le rayonnement de la terre vers l'espace. La terre se refroidit moins, donc elle se réchauffe.

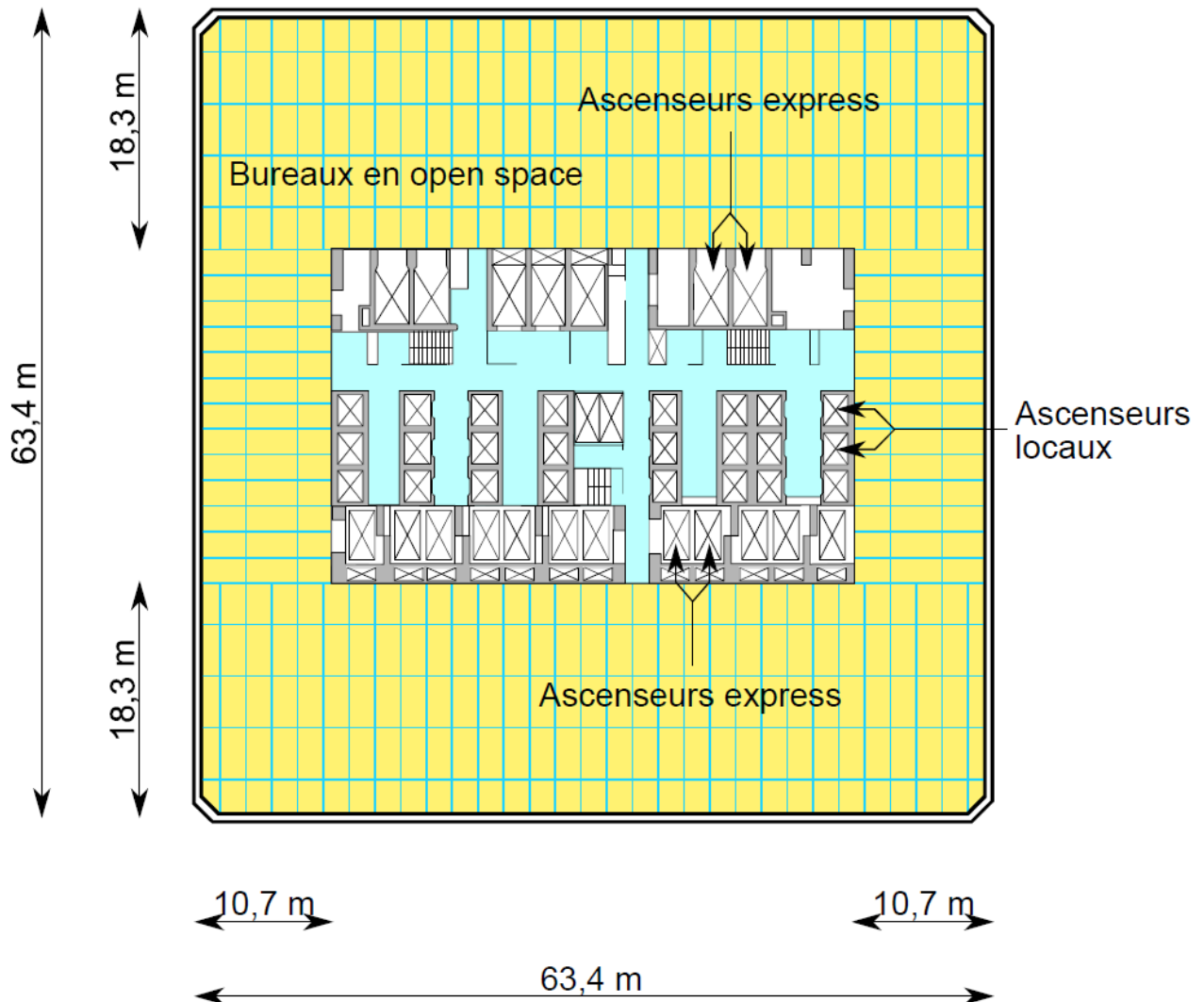
1.3 Expliquer très succinctement ce qu'on appelle le développement durable. Donner un exemple.

Développement des générations actuelles qui ne compromet pas le développement des générations futures.

Par exemple, l'utilisation de matériaux recyclables ou biodégradables limite l'impact sur l'environnement.

2 Les bâtiments de grande hauteur et leur impact sur l'environnement

2.1 Donner approximativement le pourcentage de surface utilisable en bureau pour un étage.
On utilisera le schéma ci-dessous. On négligera les coins coupés de la tour.



Surface d'un étage = $63,4 \times 63,4 = 4020 \text{ m}^2$ environ

Surface non utilisable en bureau = $(63,4 - 2 \times 18,3) \times (63,4 - 2 \times 10,7)$

= $26,8 \times 42 = 1130$ environ

Surface utilisable en bureaux = $4020 - 1130 = 2890 \text{ m}^2$ environ

soit en pourcentage de la surface totale d'un étage : $2890 / 4020 = 72 \%$ environ.

2.2 Pourquoi ce pourcentage est-il particulièrement mauvais pour les bâtiments de très grande hauteur comme le WTC ?

Les ascenseurs occupent une grande place.

2.3 Pourquoi ce mauvais pourcentage conduit à un plus grand impact sur l'environnement par rapport à un autre bâtiment de même surface utilisable en bureau ?

La surface utilisée par les équipement techniques correspond une surface « perdue » qui a nécessité beaucoup de matériaux à la construction, d'énergie pour faire fonctionner les ascenseurs, ...

3 La structure porteuse du Worl Trade Center

3.1 Donner le rôle des piliers verticaux d'une tour.

Transmettre aux fondations, en appui sur le sol, les efforts subis par la tour : le poids de la tour (structure + charges d'exploitation = 288 000 tonnes environ), les contraintes liées au vent, ...

3.2 Donner deux exemples d'effort réparti qui peut s'exercer sur la tour. On précisera de quoi dépend cet effort et dans quel direction il s'exerce.

Le vent : l'effort est horizontal et dépend de la vitesse du vent.

Le poids : il est vertical (vers le bas) et dépend de la masse de la tour (structure et charge d'exploitation). Il dépend aussi de la pesanteur ($g = 10 \text{ m/s}^2$).

3.3 Préciser quand les piliers du WTC travaillaient en compression, en traction, en flexion.

Le poids des tours les fait travailler en compression, sauf pour les piliers sectionnés par l'avion qui travaillaient en traction sur leur partie supérieure.

Le vent les fait parfois légèrement travailler en flexion.

3.4 Préciser ce qui différencie deux poteaux en acier (de même nature) capables de supporter des charges différentes.

Le poteau capable de supporter la plus grosse charge à une plus grosse section.

3.5 Justifier brièvement l'utilisation de l'acier plutôt que du béton pour construire la structure porteuse du WTC.

A résistance égale, un élément de structure en acier sera plus léger que le béton.

Cela permet de construire des bâtiments de grande hauteur, sans que ceux-ci ne s'écroulent sous leur propre poids.

Une poutre en acier supporte mieux la flexion (traction sur le bas de la poutre).

L'acier est aussi plus élastique et permet de construire une structure qui résiste mieux au vent.

3.6 Donner l'intérêt d'utiliser un coefficient de sécurité lors du dimensionnement d'un poteau.

En augmentant la section d'un poteau par rapport à la valeur calculée pour résister aux charges normales ou exceptionnelles, on prend en compte le fait que le poteau peut avoir besoin de supporter une charge supérieure à celle prise en compte.

De plus le modèle utilisé pour le calcul n'est pas forcément conforme à la réalité.

4 La résistance d'une tour à l'impact d'un avion

4.1 Comparer qualitativement l'impact d'un avion sur une tour et l'action d'une rafale de vent.

Dans les deux cas la tour subit pendant un assez court instant une force horizontale qui fait fléchir la tour.

L'impact de l'avion correspond à des efforts concentrés dans la zone de l'impact.

Le vent correspond à des efforts répartis sur toute la surface exposé au vent.

4.2 A partir d'une analyse énergétique rapide et qualitative justifier que les dégâts sur les tours ont été aggravés par le fait que les avions aient rapidement perdu de l'altitude avant l'impact.

En perdant de l'altitude, les avions ont transformé leur énergie potentielle de pesanteur en énergie cinétique. Ils ont ainsi accéléré rapidement à une vitesse proche de leur vitesse maximum. Lors de l'impact ils se sont encastrés dans les tours en leur transférant un maximum d'énergie ce qui a aggravé les dégâts.

4.3 Calculer approximativement l'énergie dégagée lors de l'impact d'un petit avion d'une tonne volant à 300 km/h. Exprimer le résultat en notation ingénieur avec 2 chiffres significatifs.

Energie cinétique $E = \frac{1}{2} m V^2$

$m = 1000 \text{ kg}$ et $V = 300 \text{ km/h} = 83 \text{ ms}$

$E = 3,5 \text{ MJ}$

4.4 Sans refaire le calcul, dire dans quel rapport cette énergie varie si la masse de l'avion double, ou si la vitesse double.

Si la masse double alors l'énergie double.

Si la vitesse double, l'énergie cinétique augmente d'un facteur 4.

4.5 Donner le principe d'une solution pour que le bâtiment réacteur d'une centrale nucléaire ne soit pas percé par l'impact d'un gros avion de 200 tonnes à 800 km/h.

On utilise une enceinte en béton armé très épaisse qui absorbe l'énergie de l'impact sans se rompre totalement.

4.6 Préciser ce que devient l'énergie dégagée par la collision d'une voiture avec un obstacle fixe et rigide (un mur par exemple).

L'énergie est transformée en chaleur lors de la déformation (plastique) de sa structure métallique.

4.7 Les concepteurs du WTC avaient pris en compte le fait que les tours devaient résister à l'impact d'un avion. Discuter de la pertinence de l'hypothèse de l'impact par le plus gros avion de l'époque à basse vitesse, réservoirs presque vides.

Il faut prendre le pire cas soit la plus grosse énergie à l'impact : masse et vitesse maximum, soit le plus gros avion, réservoirs pleins et vitesse maximum.

Cette hypothèse semblait peu réaliste à l'époque (ce qui a changé depuis le 11 sept 2001). Elle aurait conduit à alourdir et renchérir la structure de la tour.

4.8 Expliquer brièvement pourquoi la rupture de nombreux poteaux n'a pas conduit à l'effondrement de la tour juste après l'impact.

Il y a eut transfert de charges vers les poteaux non touchés par l'impact.

Ce transfert s'est fait par des liaisons rigides (triangulées) entre les poteaux au niveau du toit notamment.

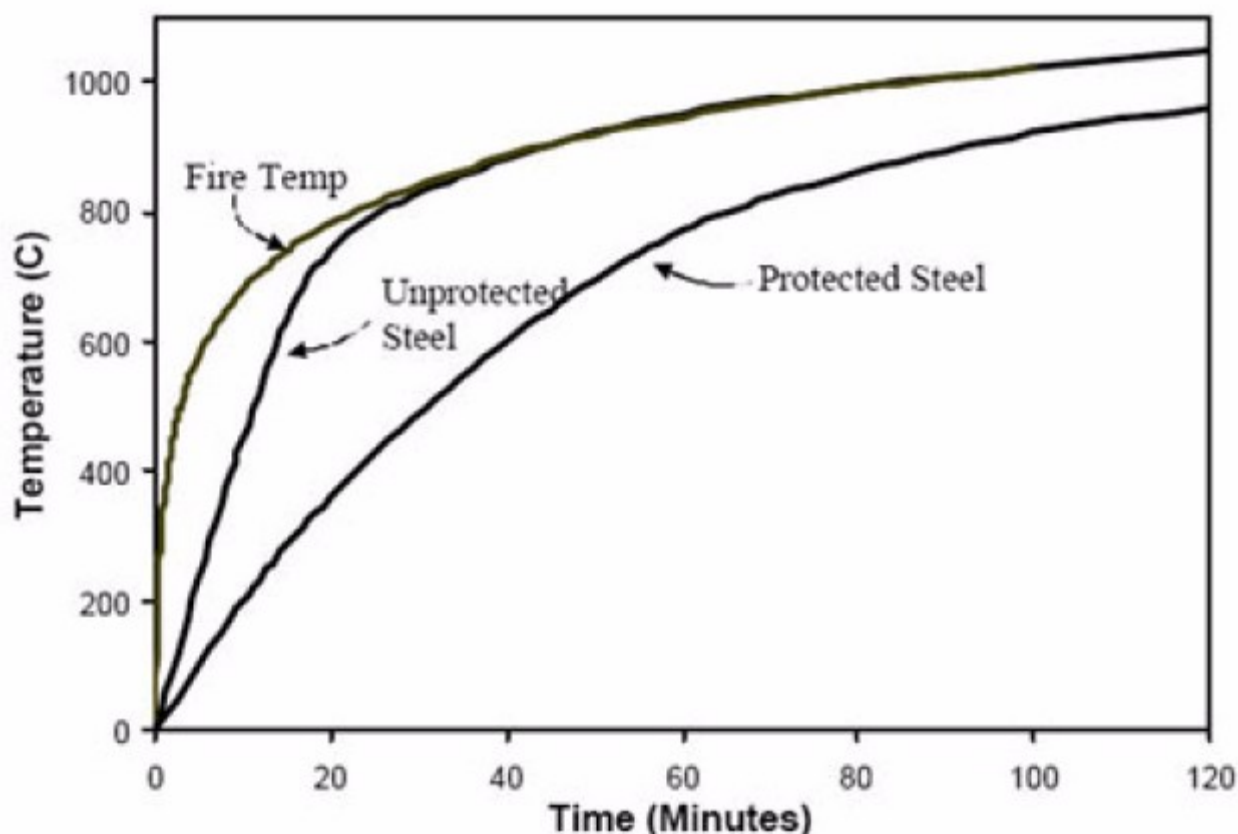
Les poteaux restant ont supportés cette surcharge car ils étaient sur dimensionnés et en nombre plus important que nécessaire.

5 La tenue au feu d'une tour

5.1 Préciser l'effet d'une température de 500 à 600 °C sur une structure en acier.

Une telle température réduit la rigidité de la structure qui se déformera plus facilement sous la contrainte (poids notamment). Cette déformation sera plastique et non élastique.

5.2 Analyser les courbes ci-dessous dans le cas du WTC le 11 sept 2001.



On voit qu'une structure en acier protégée par un isolant thermique, montera plus lentement en température.

Pour atteindre 600 °C par exemple, il faudra environ 40 minutes au lieu de seulement 15 minutes sinon

Ce temps peut permettre une meilleure évacuation du bâtiment avant que la structure porteuse du bâtiment ne perde sa rigidité et ne devienne instable.

5.3 Quelle caractéristique de l'amiante justifiait son utilisation dans les bâtiments.

L'amiante est un bon isolant thermique.

5.4 Quelle caractéristique de l'amiante justifie son abandon dans les bâtiments.

L'amiante est cancérigène.

5.5 En quoi les nouvelles normes de construction ont permis d'améliorer la sécurité dans les bâtiments de grande hauteur vis à vis du risque d'incendie ?

Structures porteuses qui résistent mieux au feu en utilisant de l'acier et du béton, en sur-dimensionnant la structure, en utilisant le principe de redondance à chaque fois que la sécurité est en jeu (alimentation des Sprinklers), escaliers, ...), en ajoutant de nouveaux équipement de sécurité (sonorisation, éclairage, capteurs, ...), ...

5.6 En quoi les nouvelles normes de construction liées aux risques incendie dans les bâtiments de grande hauteur ont un impact négatif sur l'environnement ?

Les nouvelles normes conduisent à réaliser des bâtiments

- plus solides avec plus de béton (non recyclable),
- avec plus de surface consacrée aux escaliers de secours (surface non habitable),
- avec plus d'équipements de sécurité, ...

5.7 En quoi les nouvelles normes de construction liées aux risques incendie dans les bâtiments de grande hauteur ont un impact positif sur l'environnement ?

Les sinistrés sont moins touchés par l'incendie : les frais sont réduits.

La durée de vie des bâtiments est augmentée (les tours sont moins endommagées en cas d'incendie).

Les produits toxiques comme l'amiante sont interdits.

5.8 En quoi des dispositifs électroniques peuvent permettre d'optimiser la sécurité des bâtiments en cas d'incendie ?

On peut capter des informations telles que la température, le taux d'enfumage, les efforts dans la structure, pour ensuite, après traitement électronique, informer les sinistrés, informer les pompiers, agir automatiquement sur l'incendie.