Sujet de projet informatique

Zone de sécurité

Michel Arrigoni Pierre Gauvillé

4 Janvier 2010

Résumé

L'objectif du projet est de détruire une banlieue malfamée où sévit le bandit tyrannique, Tux la Terreur. Dans ce but, nous utiliserons un ensemble d'explosifs. Le projet permettra donc de survoler quelques équations de la mécanique des matériaux énergétiques et d'observer les dégâts causés selon la hauteur de la charge adoptée.

1 Présentation

Nous avons une série de charges[1] à notre disposition. Il suffit donc de choisir la bonne charge et la poser à la bonne hauteur pour abattre Tux et ses acolytes. Hélas, ce vil animal se cache dans des bâtiments répartis dans tout le quartier. Pour réaliser notre forfait, il faut optimiser le positionnement de l'explosif pour optimiser les dégâts sur son repère, c'est-à-dire l'ensemble du quartier.

Le but est d'utiliser la plus petite masse possible d'explosif, par souci d'économie, tout en abîmant le maximum d'immeubles.

2 Travail à réaliser

Il est demandé de développer une application pour calculer :

- le positionnement optimal sur la carte[2],
- une méthode pour trouver la meilleure hauteur d'explosif,
- la détermination des dégâts.

3 Détermination du pouvoir explosif

Pour déterminer les dégâts occasionnés, il faut :

- calculer la surpression ΔP_0 en champ libre pour une charge donnée avec une prise en compte de l'altitude,
- calculer l'onde de mach associée, en déterminant la réflection oblique,
- tracer la trajectoire du point triple, lieu de rencontre des trois ondes.

À partir de ces données, il faut déterminer l'altitude de l'explosif pour optimiser la pression selon la distance des cibles.

Pour savoir si l'objectif est atteint, c'est-à-dire détruire les bâtiments, il faut les considérer comme des systèmes masse-ressort, avec la force F trouvée à partir de la formule de Friedlander. Si les murs se déplacent de plus de 20 cm, nous considérerons que le critère de rupture est atteint et que l'immeuble s'effondre.

[1] comprendre explosifs

[2] éloignement des otages, rapprochement des cibles. Il est possible d'utiliser le barycentre pour poser la charge

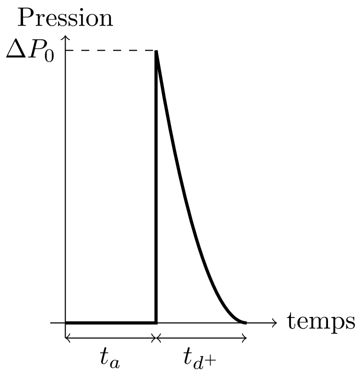

FIG. 1 – Profil d'une onde de souffle à distance donnée Z

A Saut de pression ΔP_0 en fonction de l'altitude

A.1 L'explosion seule

Une onde de souffle, *blast wave*, est une onde se propageant à vitesse supersonique et dont les effets diminuent lors de sa propagation. En général, ce phénomène est issu d'une onde de détonation.

En adimensionnant la distance à l'explosion par la racine cubique de la masse d'explosif[3] on trouve la distance réduite Z :

$$Z = \frac{R}{\sqrt[3]{E}} = \frac{R}{\sqrt[3]{W}}$$

avec R la distance euclidienne entre la charge et la cible, E l'énergie de détonation délivré par la charge de masse W.

On détermine la pression transportée par l'onde de souffle à une distance donnée à l'aide de la formule suivante :

$$\Delta P_0 = \frac{808\left[1+\left(\frac{Z}{4,5}\right)^2\right]}{\sqrt{1+\left(\frac{Z}{0,048}\right)^2}\sqrt{1+\left(\frac{Z}{0,32}\right)^2}\sqrt{1+\left(\frac{Z}{1,35}\right)^2}} P_{\text{atm}}$$

A.2 Selon l'altitude

Sachs a introduit en 1944 un terme correctif prenant les variations de température et de pression selon l'altitude h. Donc pour toute explosion dans la troposphère :

$$P_{\text{atm}}(h) = \left[\frac{288.15}{288.15 - 6.5\cdot 10^{-3}\cdot h}\right]^{5.25589} \qquad \text{avec } P_{\text{atm}} \text{ en bar et } h \text{ en mètre}$$

La vitesse du son reçoit aussi un facteur de correction :

$$c_{\text{son}} = 65.77\sqrt{288.15 - 6.5\cdot 10^{-3}\cdot h} \qquad \text{avec } c_{\text{son}} \text{ en mètre par seconde et } h \text{ en mètre}$$

Les facteurs correctifs se calculent de la façon suivante :

P	$\frac{P_{\text{atm}}(h)}{P_{\text{atm}}(0)}$	pression transportée par l'onde de souffle
t_a	$\frac{c_{\text{son}}(0)}{c_{\text{son}}(h)} \times \sqrt[3]{\frac{P_{\text{atm}}(0)}{P_{\text{atm}}(h)}}$	temps d'arrivée de l'onde de souffle
t_d	$\frac{c_{\text{son}}(0)}{c_{\text{son}}(h)} \times \sqrt[3]{\frac{P_{\text{atm}}(0)}{P_{\text{atm}}(h)}}$	durée de l'impulsion positive
Z	$\sqrt[3]{W\frac{P_{\text{atm}}(0)}{P_{\text{atm}}(h)}}$	distance réduite

Pour les utiliser, il faut multiplier la valeur calculée précédemment par le facteur correctif adapté. Par exemple, $\Delta P_{vrai} = \Delta P_0 \times P_{\text{correctif}}$.

[3]on se ramène au TNT en utilisant le tableau d'équivalence

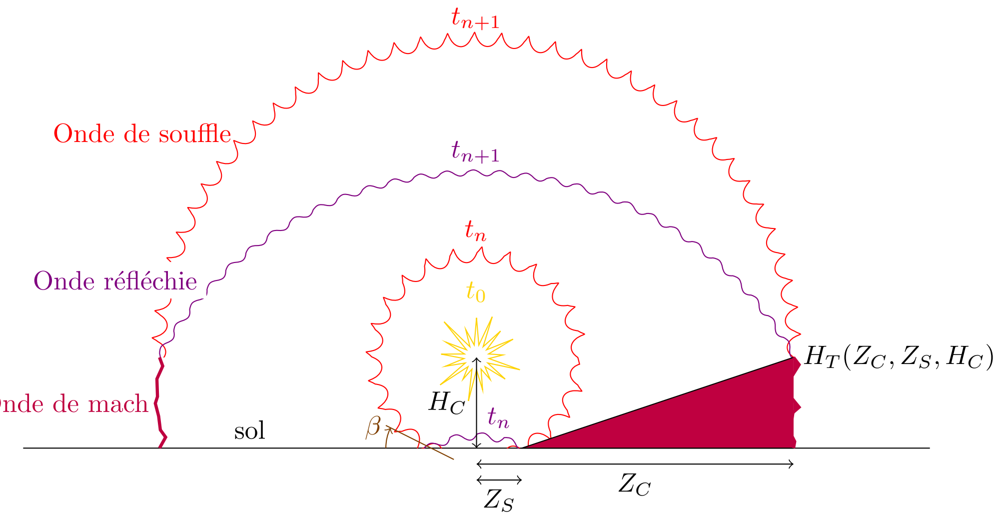

FIG. 2 – Représentation des ondes de souffle et réfléchie, ainsi que le cône de Mach

B Calcul de l'onde de mach

L'onde incidente dûe à l'explosion se réfléchie sur les surfaces solides. Il se crée alors une deuxième onde réfléchie. Ces deux ondes ne se propagent pas de la même façon, ce qui va créer une troisième onde. Cette dernière correspond au confinement de l'énergie des deux ondes, elle est donc bien plus destructrice que le souffle de l'explosion.

B.1 Déterminer le moment de sa formation

L'onde de Mach ne se forme qu'à partir d'une réflexion irrégulière, c'est-à-dire lorsque le front incident, dû au souffle, forme un angle supérieur à $\beta_{\max}$. Le front incident correspond ici à la tangente au cercle représentant le souffle de l'explosion. L'onde de mach démarrant au sol, il faut regarder l'angle formé par l'intersection de la tangente au cercle partant du sol et du sol. Lorsque cet angle dépasse $\beta_{\max} = 40°$, on considérera que l'onde de Mach commence à se former. L'intersection de l'onde incidente, réfléchie et de l'onde de mach correspond au point triple. Sur toute la hauteur du point triple, la pression est identique.

B.2 Calculer la hauteur du point triple H_T

Dans une première approximation, nous utiliserons la relation linéaire suivante pour calculer la hauteur H_T de l'onde de Mach selon la hauteur H_C de l'explosif :

$$\frac{H_T}{H_C} = 0.07\left(\frac{Z_C}{Z_S} - 1\right)$$

B.3 Calculer la valeur de l'onde

$$M_a = \sqrt{1 + \frac{\gamma + 1}{2\gamma}\frac{\Delta P_0}{P_{\text{atm}}}}$$

Attention, il faut recalculer ΔP_0 à chaque changement de distance, car fonction de R, donc de Z_C.

$$M_{\text{stem}} = M_a \sin\beta$$

On remarquera que l'onde de mach converge vers l'onde incidente. L'onde réfléchie se confond avec l'onde incidente à l'infinie.

$$\frac{P_S}{P_{\text{atm}}} = \frac{7M_{\text{stem}}^2 - 1}{6}$$

P_S est la pression dans l'onde de mach.

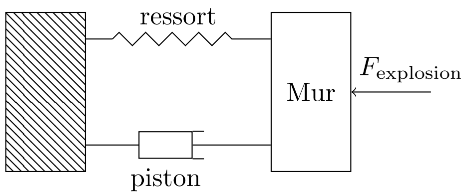

FIG. 3 – Représentation d'un mur selon SDOF

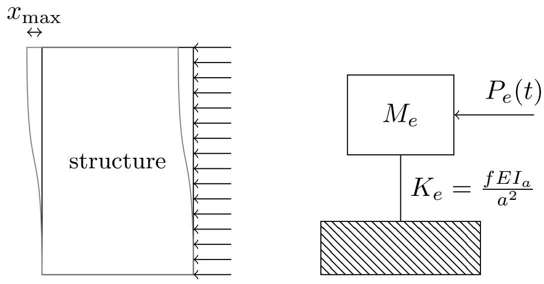

FIG. 4 – Modèle de lame pour la déformation de la structure

C Calcul de la dynamique des structures

C.1 Modèle de Single Degree of Freedom

Le modèle de SDOF ne considère que le mur face à l'explosion. Les murs se mettront à vibrer, mais cette vibration s'atténuera avec le temps. Pour représenter ce phénomène, un système ressort-piston tiendra le mur, voir figure 3.

Nous donnons en ensemble de valeurs numériques pour démarrer, mais il est fortement conseillé de chercher d'autres valeurs qui seront justifiées.

$$F(t) - kx(t) - c\dot{x}(t) = m\ddot{x}(t)$$

avec

- $k = 24\,517\,000$N/m,
- $c = 2\sqrt{\frac{k}{m}}$ et
- $m/V = 2000$ à 2600 kg par mètre cube

C.2 Modèle de lame

On considère que la structure, l'immeuble, peut-être modéliser par une lame supportant un poids ,voir figure 4. Lorsque le souffle de l'explosion touchera l'immeuble, une force s'exercera sur toute sa hauteur. Nous considérerons que la force est rassemblée en P_e. Il faut calculer le moment fléchissant exercé sur la lame par cette force, puis déterminer le déplacement maximal effectué sur l'axe horizontal, $x_{\max}$.

D Équivalent TNT

Composé	Densité ($g \cdot cm^{-3}$)	Edeto ($J \cdot kg$) (CHEETAH)	EQTNT (pic de) pression	EQTNT (pression) quasi-statique	EQTNT (impulsion)
TNT	1.654	4.48	1	1	1
Pentolite	2.044	5.11	1.17	1.40	1.15
PETN	1.778	5.95	1.33	0.52	
HMX	1.905	5.77	1.29	0.61	
RDX	1.816	5.69	1.27	0.61	
TATB	1.937	4.39	0.98	0.79	
Tritonal 80/20 (TNT+Al)	1.870	4.93	1.07		0.96
HBX-1 (40 RDX 38 TNT 17 Al)	1.720		1.17		1.16
HBX-3 (31 RDX 29 TNT 35 Al)			1.14		0.97
Picrate d'ammonium			0.85		0.81
C-4 (91% RDX)	1.728	5.41	1.37	0.72	1.19
Comp B (63%RDX 36%TNT)	1.732	5.17	1.15	0.78	0.98
Torpex-1 (42 RDX 40 TNT 18 Al)			1.24		1.20
PBX-9502 (95% TATB)	1.941	4.27	0.95	0.77	
Minol-2 (40 RDX 40 TNT 20 Al)	1.943	4.21	1.38		1.15
ANFO (94% AN)	1.627	3.96	0.88	0.28	

Ce tableau se lit de la manière suivante :

1. choix du composé
2. choix de l'équivalence
   - en pic de pression correspond à une équivalence en énergie
   - en pression quasi-statique correspond à une équivalence de maxima de pression
   - en impulsion correspond à une équivalence d'intégrales de pression dans le temps
3. multiplication par le coefficient d'équivalence de la masse du composé

E Mise en garde

Ce sujet n'est pas ludique mais ne présente aucune difficulté :
- il ne faudra pas tomber dans le piège qui consiste à favoriser l'interface graphique au détriment de l'algorithmique,
- on s'attend à avoir tous les éléments présentés en place,
- il faudra aussi respecter les figures imposées.

Votre encadrant ne pourra pas vous conseiller sur la partie mécanique, mais il se fera un plaisir de vous fouetter. Une incapacité à comprendre les formules du sujet et en particulier leur implémentation est une bonne incitation à passer son chemin. . .