

# SIMULAREA COMPORTĂRII MATERIALELOR PRIN STUDII DE DINAMICĂ EXPLICITĂ

PINTILIE Daniela<sup>1</sup>

Conducător științific: Prof.dr.ing. **Cristina PUPĂZĂ**

**REZUMAT:** Blindajul definește protecția oferită de un vehicul de luptă și de obicei este cheia supraviețuirii echipajului, dar influențează dimensiunile, forma și mai ales tonajul vehiculului de luptă, putând afecta mobilitatea și capacitatea de luptă a vehiculului. Se impune deci un echilibru între grosimea/protecția blindajului și restul performanțelor vehiculului. Evoluția blindajului este strâns legată de rolurile îndeplinite de vehiculele de luptă, precum și de dimensiunea și tipul proiectilelor folosite de armele menite să combată vehiculele blindate.

Analiza impactului unui proiectil asupra blindajului a fost simulată în programul ANSYS. Aceste rezultate vor constitui baza unor studii parametrice de dinamică explicită, vor fi demarate simulări ale lovirii blindajului de către proiectil, cu diverse viteze de impact, fără a se lua în considerare balistica exterioară aferentă.

**CUVINTE CHEIE:** dinamică explicită, simulare, blindaj, proiectil, impact.

## 1 INTRODUCERE

Pentru a fundamenta analiza impactului dintre proiectil și blindaj s-au studiat materialele din care sunt realizate acestea și modul în care este utilizat blindajul. Un alt obiectiv al lucrării a fost studiul modului în care ANSYS rezolvă astfel de probleme cu modulul Autodyn.

### 1.1 Obiective

1. Cunoașterea funcțiilor avansate ale programului Ansys Autodyn.
2. Realizarea unei simulări a impactului dintre un proiectil și un blindaj, fabricate din anumite materiale.
3. Analiza impactului dintre proiectil și blindaj, în urma unei lovituri cu o anumită viteză inițială.
4. Analiza modului de distrugere a materialului și a comportării acestuia în timpul impactului.
5. Îmbunătățirea rezultatelor și concluzii asupra comportării materialului.

## 2 STADIUL ACTUAL

Termenul **blindaj** se referă la bariere fizice de protecție folosite în sistemele de transport sau luptă pentru a reduce sau evita avariile cauzate de focul inamic. Blindajul clasic folosește pentru această finalitate plăci metalice din oțel, de o grosime considerabilă care acționează apărând *corpul protejat*. Un factor de mare importanță este greutatea adusă corpului ca rezultat al blindării și efectele acestuia asupra manevrabilității blindatului. De exemplu, tancurile și navele de luptă pot fi echipate cu blindaje puternice de mare greutate. Manevrabilitatea lor este din principiu lentă și nu este afectată radical.

Un jeep, camion sau avion de transport militar au însă nevoie de o mișcare mult mai rapidă și nu pot fi echipate cu un blindaj greu.

În prezent blindajul de oțel laminat reprezintă în majoritatea cazurilor blindajul de bază al corpului vehiculului la care se adaugă alte tipuri de blindaj, uneori în structura sandwich.

Alumiuniul a fost folosit și el în diverse combinații la vehicule și tancuri ușoare, ultima fiind spuma, însă deși rezistent mecanic și ușor, este puțin rezistent la incendii sau la anumite tipuri de proiectile perforante.

<sup>1</sup> Specializarea CIST, Facultatea IMST;  
E-mail: [danielapintilie07@gmail.com](mailto:danielapintilie07@gmail.com);

## SIMULAREA COMPORTĂRII MATERIALELOR PRIN STUDII DE DINAMICĂ EXPLICITĂ

Titanul este considerat metalul cu cel mai bun raport rezistență/masă pentru blindaj, însă datorită prețului ridicat este folosit aproape exclusiv în industria aeronautică.

Uraniul prin densitatea sa ridicată, deoarece poate absorbi și disipa astfel impactul unor proiectile, este folosit în blindajul frontal al tancurilor.

Chiar și plasticul a fost folosit în blindaje, așezat peste oțel, putând opri proiectile perforante prin duritatea dată de compoziția de granit, devinând proiectilul și încetinindu-l înainte de a atinge stratul de oțel.

Sticla blindată este necesară pentru vizibilitate în manevrarea vehiculelor blindate și este compusă din mai multe straturi de sticlă laminată, sau din inserții de policarbonat (Armormax, Makroclear, Cyrolon, Lexan sau Tuffak), polivinil sau poliuretan între straturi de sticlă. Există și o nouă variantă de blindaj transparent bazată pe un derivat al aluminiului (oxinitrid).



**Fig. 1** Urme de lovituri antitanc, unele nepenetrând blindajul

Ceramica este foarte utilă în blocarea proiectilelor penetrante explozive (HEAT), fiind folosită și în soluțiile de blindaj compozit (ex. Chobham) datorită rezistenței ridicate la penetratoare cinetice.

Ca și modalități de dispunere, blindajul este preferabil să fie așezat înclinat sau curbat pentru a crește artificial grosimea plăcii care trebuie penetrată de un proiectil dar și pentru a face proiectilele să ricoșeze în anumite unghiuri.

### 2.1 Tipuri de blindaj utilizate

Tipurile de blindaj se pot clasifica în funcție de materialul utilizat și modul în care acesta este dispus pe ceea ce se dorește să fie protejat:

Blindaj adițional: se folosește din primul război mondial, însă a devenit celebru pe tancurile și tunurile de asalt germane în al doilea război

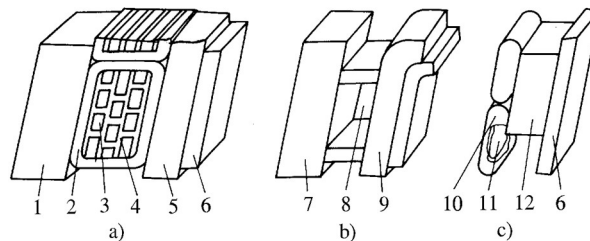
mondial, principala calitate fiind dezintegrarea/devierea proiectilului înainte de a ajunge la blindajul principal cu o minimă creștere în greutate, iar cel aplicat se folosește începând cu două conflagrații, pentru a suplimenta blindajul principal, sau să adăuge un strat cu compoziție diferită de a celui principal.

Blindajul reactiv este o soluție parțial eficientă, format din exploziv plasat între două foi metalice, protejând vehiculul la primul impact în zona în care este așezat, însă cauzând o ploaie de schije în jurul vehiculului, lucru periculos pentru infanteria care însoțește vehiculul. Practic explozivul dintre plăci are rolul de a contră-jetul penetrant al proiectilului, devinându-l sau tăindu-l înainte de a atinge blindajul principal.



**Fig. 2** Blindajul reactiv

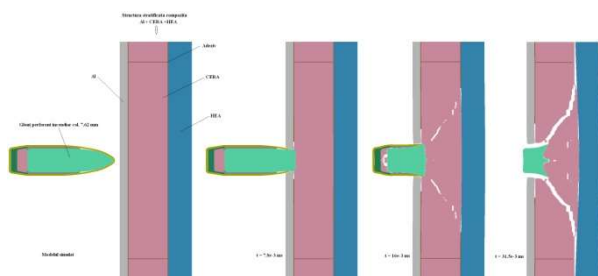
Blindajul stratificat / spațiat protejează împotriva atacurilor cu rachete antitanc, spațiile interioare ducând la deformarea focosului înainte de detonare sau la avarierea mecanismului de amorsare, prevenind detonarea.



**Fig. 3** Exemple de blindaj stratificat

Blindajul încărcat electrostatic, funcționează pe baza a două straturi de blindaj încărcate electrostatic și separate printr-un strat izolator. În momentul penetrării cu proiectil HEAT a stratului superior puternic încărcat și izolatorului, de asemenea, se produce o puternică descărcare electrică care se descarcă prin jet, afectându-l.

Blindajul compozit constă în straturi alternative din materiale diferite, de obicei metale, plastic, ceramică și aer, cu scopul de a bloca penetrarea proiectilelor de tip exploziv-antitanc, fiind mai ușoare decât versiunile echivalente din oțel, însă uneori ocupând un volum ceva mai mare și la un cost superior. În ultimul timp, au apărut versiuni de blindaj compozit sub forma de blocuri care pot fi aplicate inclusiv vehiculelor de luptă ușoare și sunt ușor demontabile sau înlocuibile.



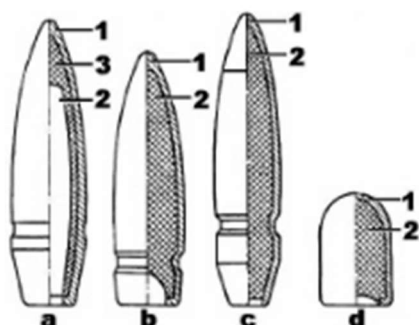
**Fig. 4 Modul de comportare a unui blindaj compozit lovit de proiectil**

Cel mai cunoscut blindaj compozit este Chobham-ul englezesc, blindaj ceramic în sandwich între plăci din oțel alcătuit din bucați de mari dimensiuni.

## 2.2 Tipuri de proiectile:

Gloanțele obișnuite pot fi cu miez de plumb sau cu miez de oțel. Ele se compun din învelișul bimetalic 1, miezul de oțel sau de plumb 2 și cămașa de plumb 3 (la gloanțul cumiez de oțel).

Învelișul servește pentru realizarea formei exterioare a gloanțului, asamblării cămașii și miezului și pentru asigurarea angajării sigure în ghinturile țevii. Se fabrică prin presare la rece, din oțel cu un conținut redus de carbon, placat cu un strat subțire de tombac.



**Gloanțele obișnuite:**

a – cu miez de oțel; b – ușor; c – greu; d – pistol; 1 – înveliș bimetalic; 2 – miez de oțel sau de plumb; 3 – cămașă de plumb  
**Fig. 5 Exemple de proiectile/gloanțe utilizate**

Cămașa se fabrică din plumb sau aliaj de plumb cu antimoniu și asigură asamblarea compactă a miezului în înveliș și dispunerea corectă a centrului masei gloanțului, contribuind la atenuarea uzurii țevii. Miezul poate fi din aliaj de plumb cu antimoniu sau din oțel. Miezul de oțel înlocuiește o parte din plumbul deficitar, mărind și capacitatea de perforare a gloanțului.

Gloanțele speciale, după destinația lor pot fi: perforante, trasoare, incendiare, de reglaj-incendiare, perforant-incendiare, perforant-incendiare-trasoare și explozive.

Gloanțul perforant, este destinat pentru neutralizarea țintelor cu blindaj ușor (mașini blindate, transportoare blindate și altele) și a personalului adăpostit după blindaje cu grosime relativă mică. Gloanțul se compune din: învelișul bimetalic 1, cămașa de plumb 2 și miezul 3.



**Gloanț perforant:**  
 1 – înveliș bimetalic;  
 2 – cămașă de plumb;  
 3 – miez perforant

**Fig. 6 Proiectilul perforant**

Miezul este fabricat din oțel de scule, cu un conținut bogat de carbon sau din aliaj metalo-ceramic dur. În contact cu blindajul, miezul gloanțului perforă blindajul, producând efectul urmărit.

Gloanțul trasor este destinat pentru corectarea tragerii, indicarea țintelor și semnalizare. Gloanțul se compune din: învelișul bimetalic, miezul de plumb presat în vârful gloanțului, paharul cu compoziția de aprindere și trasoare, și inelul 5 cu un orificiu concentric, dispus în partea posterioară a gloanțului. Compoziția de aprindere și trasoare este formată dintr-un amestec de carburant, oxidant și liant. Drept carburant se folosește praf de magneziu sau aliaj de aluminiu și magneziu, ca oxidant -oxizii și sărurile unor metale (bariu, stronțiu etc.), iar ca liant - rășini speciale.

## 3 PREZENTAREA PROGRAMULUI

Orice program cu elemente finite comercial este un produs executabil obținut prin compilarea

## SIMULAREA COMPORTĂRII MATERIALELOR PRIN STUDIUL DE DINAMICĂ EXPLICITĂ

unui text sursă dezvoltat în medii de programare gen Fortran, C, Visual Basic, etc. Pentru a fi un produs flexibil, de regulă aceste programe sunt concepute în forma unor comenzi de generare a geometriei, rezolvare a problemei și vizualizarea rezultatelor. Aceste comenzi particularizate constituie practic un alt limbaj de programare propriu programului cu elemente finite. Pentru a spori viteza de lucru a utilizatorului, în momentul de față programele accesează comenzile interne prin intermediul unor programe de interfață grafică. Astfel utilizatorul utilizează de regulă mouse-ul și tastatura cu cifre.

ANSYS Dynamics Explicit este un instrument care oferă funcționalități avansate pentru ca rezultatele simulărilor să reflecte realitatea. Gama cuprinzătoare de soluții oferă acces la aproape orice domeniu de simulare din inginerie care necesită un proces de proiectare.

O cerință esențială pentru eficiență și precizie bună a analizei de dinamică explicită este o discretizare de înaltă calitate. Ansys poate crea o discretizare cu hexaedre de calitate (brick) pe geometrii complexe.



Fig. 7 Modelul de proiectil utilizat pentru discretizare în Ansys

Discretizarea multi-zone este un instrument standard în Workbench, care în mod automat descompune geometriile complexe în părți ce pot fi discretizate apoi cu hexaedre.

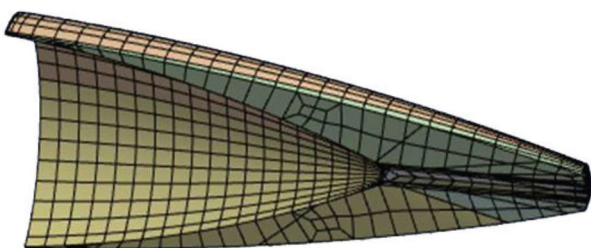


Fig. 8 Modul de discretizare în Ansys a unui proiectil

## 4 MODUL DE LUCRU

În continuare se prezintă impactul proiectilului cu ținta simulat în programul ANSYS. S-au studiat inițial mai multe modele pentru a vizualiza geometria utilizată pentru proiectile.

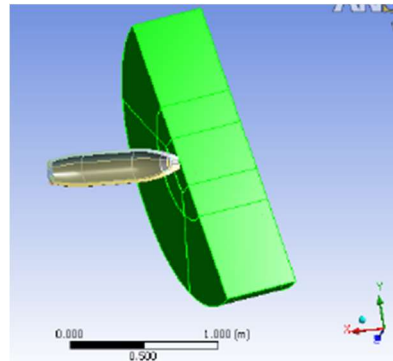


Fig. 9 Model 1 utilizat pentru studiul în Ansys

### 4.1 Construcția modelului

În continuare se prezintă etapele parcurse pentru simularea impactului proiectil-panou. Materialele utilizate sunt cele generate automat de către program, prin urmare oțel.

Biblioteca de materiale a fost editată pentru a se adăuga un material de la cele implicite. Modelele de materiale din biblioteca Explicit pot fi utilizate doar în acest tip de analize.

Materialele din baza de date conțin modele de materiale mai simple, care pot fi utilizate în ambele analize ANSYS implicite și explicite.

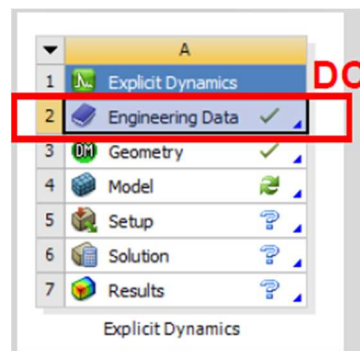


Fig. 10 Modul de lucru în Ansys

În continuare s-a construit geometria dorită. Menționez că modelul utilizat are o formă rotunjită pentru a fi ușor de construit, dar și pentru a fi diferit față de modelele vizualizate anterior.

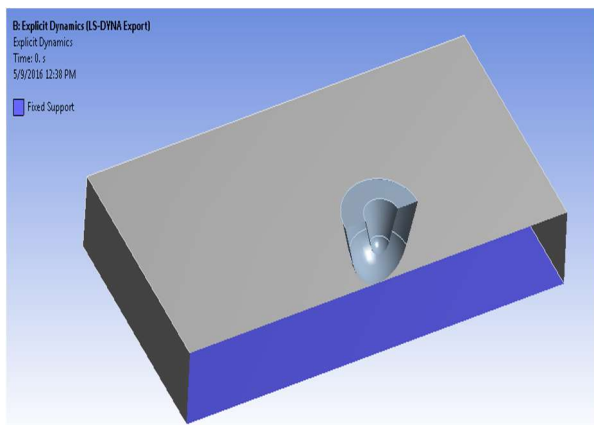


Fig. 11 Modul de lucru în Ansys. Geometria.

Lungimea plăcii este de 400 mm, cu grosimea de 50mm, iar proiectilul are un diametru de 80 mm. Modelul a fost editat în ANSYS Mechanical. Apoi click dreapta pe ochiul principal al rețelei și se selectează *Generare Mesh*.

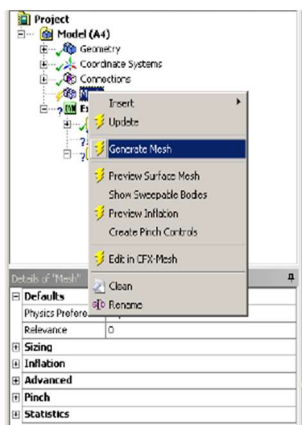


Fig. 12 Modul de lucru în Ansys. Generarea discretizării

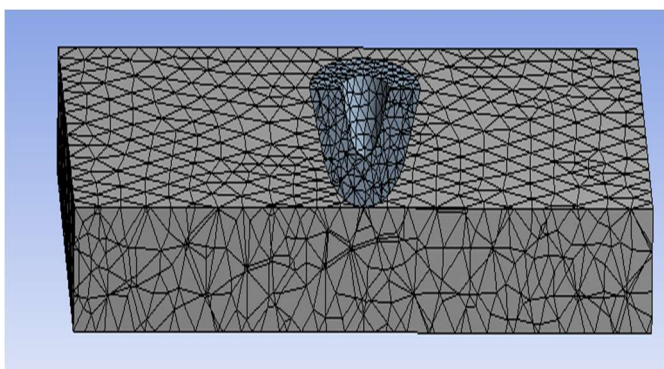


Fig. 13 Discretizarea obținută

Cu toate că sistemul unitar utilizat pentru introducerea datelor și postprocesare este sistemul MKS, sistemul unitar efectiv utilizat Solver este sistemul mm-mg-ms, deoarece acesta oferă o precizie mai mare.

Acest lucru va fi afișat mai târziu, atunci când sunt discutate opțiunile de rezolvare.

Viteza de impact a proiectilului a fost inserată ca o condiție inițială.

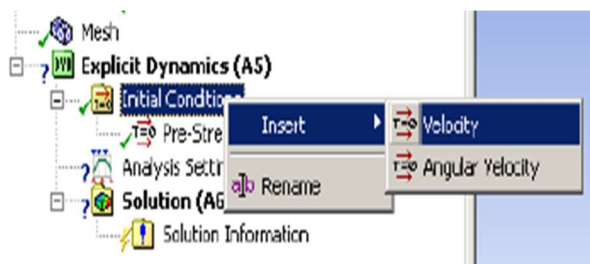


Fig. 14 Inserarea vitezei inițiale

Viteza proiectilului este de 630 m/s, cu semnul minus atașat, deoarece direcția acestuia, prin geometria construită, este opusă direcției axei Z din sistemul de coordonate.

Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
Definition	
Type	Velocity
Define By	Components
Coordinate System	Global Coordinate System
<input type="checkbox"/> X Component	0. m/s (step applied)
<input type="checkbox"/> Y Component	0. m/s (step applied)
<input type="checkbox"/> Z Component	-630. m/s (step applied)
Suppressed	No

Fig. 15 Modul de lucru în Ansys

Acest lucru se poate vizualiza foarte bine din imaginea atașată în continuare:

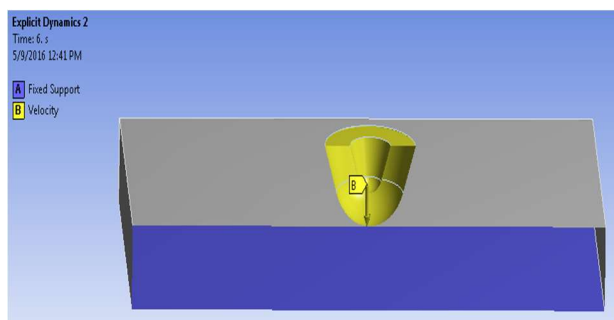


Fig. 16 Vectorul viteză aplicat

Timul ales pentru simulare a fost de 6 s. Proiectul a fost salvat și pregătit pentru simulare.

## SIMULAREA COMPORTĂRII MATERIALELOR PRIN STUDII DE DINAMICĂ EXPLICITĂ

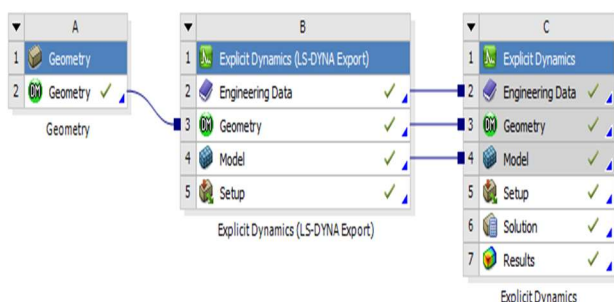


Fig. 17 Modul de legare a modulelor folosite în proiect

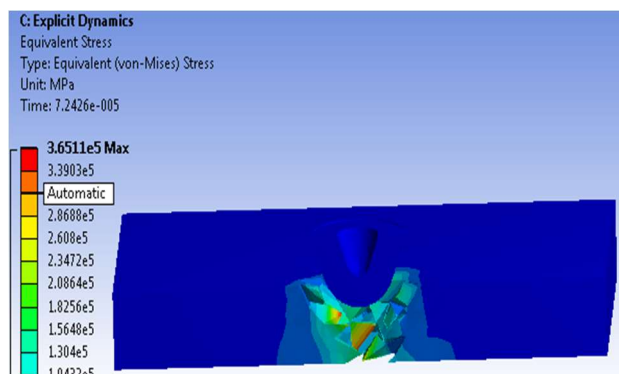


Fig. 19 Tensiunile interne von-Mises

### 4.2 Rezultatele obținute și interpretarea acestora:

Solver Output prezintă statisticile simulării, inclusiv timpul estimat până la finalizare. Sunt, de asemenea, notate orice erori sau avertismente. Rezultatele pot fi animate prin setarea butoanelor de control prezentate de program. Pentru dinamica tranzitorie, modul implicit poate fi inadecvat, deoarece interpolează doar liniar rezultatele salvate. Rezultatele obținute în urma rulării programului sunt următoarele:

- Modulul de *Total Deformation* arată astfel:

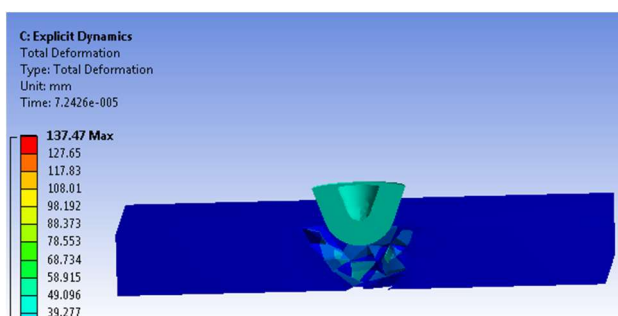


Fig. 18 Deformația totală

Putem observa că proiectilul a pătruns aproape integral în placa de oțel. Aceasta s-a deformat, la impact, luând forma proiectilului. Pe fața opusă zonei de impact se pot vizualiza așchii ale materialului. Acestea se pot datora atât formei, cât și mărimii elementelor folosite la discretizare.

- Tensiunile echivalente *von-Mises stress* :

Se observă ușor că zona afectată este cea de lângă proiectil, după cum era de așteptat.

Culorile se schimbă spre vârful acestuia, arătând că tensiunea interioară a plăcii crește, provocând ruperea materialului. Punctele cele mai afectate (culorile calde) se află pe forma de așchii ale plăcii.

## 5 CONCLUZII

- Lucrarea cuprinde un studiu preliminar al temei de disertație.
- Sunt incluse informațiile necesare construirii unui model preliminar: geometrie, caracteristici de material, condiții de simulare.
- Au fost sistematizate datele referitoare la experimentele care se pot realiza, necesare pentru validarea simulărilor.
- S-au analizat capacitățile programului și modulele care vor fi utilizate în simulare.

## 6 BIBLIOGRAFIE

- [1] <http://defense-update.com/features/du-1-04/feature-armor-protection.htm>  
Accesat la data: 16.01.2016
- [2] Wikipedia; ([http://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle\\_armour](http://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle_armour))  
Accesat la data: 18.01.2016
- [3] [http://www.rheinmetallchempro.de/pdfdoc/B045e0508\\_AMAP%20A4.pdf](http://www.rheinmetallchempro.de/pdfdoc/B045e0508_AMAP%20A4.pdf)  
Accesat la data: 03.05.2016
- [4] <http://www.battlefront.com/community/showthread.php?t=90432&page=24>  
Accesat la data: 05.05.2016