HAL
open science

# ETUDE DU COMPORTEMENT DYNAMIQUE D'ACIERS A BLINDAGE

Y. Meunier, L. Sangoy, G. Pont

**To cite this version:**

Y. Meunier, L. Sangoy, G. Pont. ETUDE DU COMPORTEMENT DYNAMIQUE D'ACIERS A BLINDAGE. Journal de Physique Colloques, 1988, 49 (C3), pp.C3-109-C3-114. 10.1051/jphyscol:1988316 . jpa-00227739

**HAL Id: jpa-00227739**

**https://hal.science/jpa-00227739**

Submitted on 4 Feb 2008

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

JOURNAL DE PHYSIQUE
Colloque C3, Supplément au n°9, Tome 49, septembre 1988 

# ETUDE DU COMPORTEMENT DYNAMIQUE D'ACIERS A BLINDAGE

Y. MEUNIER, L. SANGOY et G. PONT*

*Groupe Usinor Sacilor, Creusot-Loire Industrie, Division Creusot-Marrel, Centre de Recherches des Matériaux du Creusot, BP 56, F-71202 Le Creusot Cedex, France*
**Division Commerciale*

**Résumé** - La connaissance du comportement mécanique d'aciers à blindage soumis à un chargement dynamique constitue le noeud central du schéma de prévision de la protection balistique de ces matériaux, reliant leurs propriétés métallurgiques intrinsèques à leurs caractéristiques de résistance à la perforation. Cet article présente différents travaux expérimentaux se rapportant à cette connaissance du comportement dynamique d'aciers à blindage, soumis à de grandes vitesses de déformation, sous les aspects étude de l'écoulement dynamique des matériaux en fonction de leur vitesse de déformation et étude de leur déformation à rupture sous chargement dynamique.

**Abstract** - The armoured steels mechanical behaviour knowledge under dynamic loading forms the middle link of the estimation diagram of the armoured materials ballistic protection, between their specific metallurgical properties and their perforating strength characteristics. This paper shows various experimental results leading to know the high strain rate behaviour of armoured steels, by studying on the one hand the dynamic flow stress of materials versus their strain rate, on the other hand their rupture deformation under dynamic loading.

## 1 - INTRODUCTION

La résolution des problèmes de la mécanique des chocs des matériaux à blindage demande l'application des lois fondamentales de la mécanique et de la physique classiques, mais également la connaissance du comportement mécanique des matériaux soumis à un chargement dynamique.

En effet, la prévision de la résistance à la perforation des matériaux à blindage par des projectiles animés d'une vitesse inférieure à 1000 m/s, en fonction des caractéristiques intrinsèques du couple - cible, projectile - repose, méthodologiquement, sur la compréhension :

- de la **mécanique de la perforation du blindage**, par l'analyse physique des mécanismes de pénétration et de perforation rencontrés au cours de l'impact projectile-plaque ;

- de la **dynamique du blindage**, par l'étude du comportement dynamique du matériau sous sollicitation à grande vitesse de déformation ($10^3$ à $10^5$ $s^{-1}$ ) ;

- de la **modélisation de la perforation du blindage**, par l'intermédiaire de modèles rhéologiques permettant de simuler numériquement la perforation du matériau sous sollicitation dynamique.

L'étude du comportement dynamique du matériau constitue ainsi le noeud central de ce schéma de prévision de la protection balistique.

En conséquence, cet article présente différents travaux expérimentaux se rapportant à cette connaissance du comportement mécanique d'aciers à blindage soumis à un chargement dynamique, en distinguant :

- d'une part, l'étude de l'écoulement dynamique des matériaux en fonction de leur vitesse de déformation et de leurs propriétés métallurgiques intrinsèques ;

- d'autre part, l'étude de leur déformation à rupture sous sollicitation dynamique.

Article published online by EDP Sciences and available at http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1988316

## 2 - CARACTERISATION EN TRACTION ET COMPRESSION DYNAMIQUES

L'étude du comportement mécanique sous sollicitation à grande vitesse de déformation concerne trois nuances d'acier à blindage, type 28 CND8, 35 NCD 16 et Z 50CDV5, pour lesquelles différents traitements thermiques de revenu ont permis de disposer d'un large domaine de dureté (de 300 à 600 HB)/1 - 5/.

Les essais mécaniques dynamiques ont été réalisés suivant trois méthodes concernant chacune des gammes de vitesses de déformation différentes :

- par traction sur la machine de traction arbalète, à deux vitesses de tir voisines de 10 et 20 m/s, les vitesses de déformation obtenues sur les matériaux étant voisines de $3.10^2$ et $6.10^2$ $s^{-1}$ ;

- par compression sur le montage en barres d'HOPKINSON à une vitesse de tir de 30 m/s environ, les vitesses de déformation atteintes sur les matériaux étant de l'ordre de 2,2 à $3.10^3$ $s^{-1}$ ;

- par impact sur cible rigide dans un domaine de vitesses de tir compris entre 120 et 300 m/s, la vitesse de déformation moyenne atteinte sur les matériaux étant de l'ordre de $5.10^4$ $s^{-1}$ .

### 2.1 - Traction dynamique

Les résultats des essais de traction dynamique réalisés sur deux aciers à blindage de dureté 380 et 520 HB sont présentés aux figures 1a et 1b, qui montrent l'évolution de la contrainte maximale et de l'allongement à rupture dynamiques en fonction de la vitesse de sollicitation.

Pour les deux nuances d'acier, la contrainte maximale ne varie pas avec la vitesse dans le domaine de vitesses de déformation étudié. Les niveaux atteints sont identiques à ceux obtenus au cours des essais statiques, soit en moyenne 1170 MPa pour la nuance 380 HB et 1730 MPa pour la nuance 520 HB.

En ce qui concerne les allongements à rupture, la nuance 520 HB se montre insensible à la vitesse de déformation dans le domaine de vitesses exploré, l'allongement à rupture étant de l'ordre de 6 à 7 %. Pour la nuance 380 HB, il semblerait que les allongements augmentent légèrement avec la vitesse de déformation, passant de 10 % en chargement statique à 11 et 15 % en chargement dynamique.

### 2.2 - Compression dynamique

L'évolution des courbes dynamiques contrainte-déformation plastique obtenues pour les matériaux considérés en fonction de la dureté est semblable à celle obtenue lors des essais de compression quasi-statique. On obtient des courbes sensiblement parallèles, les plus forts niveaux de contrainte résultant des duretés les plus élevées, comme le présente la figure 2.

La figure 3 montre que, de façon générale, les aciers étudiés sont peu sensibles à la vitesse de déformation dans le domaine de vitesses étudié. On note cependant que cette sensibilité à la vitesse de déformation évolue avec le taux de déformation et le niveau de dureté de l'acier. En particulier, pour une dureté inférieure à 500 HB, l'augmentation de la vitesse de déformation se traduit par un accroissement de la contrainte d'écoulement au fur et à mesure que la dureté de l'acier s'accroît ; par contre, lorsque l'acier possède une dureté de 500 HB, la contrainte d'écoulement est plus faible en dynamique qu'en statique. Ce phénomène peut s'expliquer par l'apparition rapide d'hétérogénéités (cisaillement, maclage) entraînant une chute de la contrainte.

Les figures 4a et 4b montrent la relation linéaire existant entre la dureté et la contrainte dynamique pour un taux de déformation dynamique donné, pour les aciers 28 CND8 et Z 50 CDV 5.

L'évolution de la déformation à rupture dynamique $\varepsilon_r$ en fonction de la dureté, déterminée par essais de compression dynamique interrompus pour différents aciers à blindage, est présentée à la figure 5. On constate que le matériau se déforme d'autant plus difficilement que la dureté augmente.

Des observations microscopiques effectuées sur échantillons montrent l'existence d'un écart sur la déformation, entre l'instant d'apparition du phénomène de cisaillement adiabatique et l'instant de rupture (figure 6), cet écart étant d'autant plus faible que la dureté initiale du matériau est élevée.

Cela signifie que pour des aciers très durs (600 HB), la rupture dynamique du matériau apparaît dès l'apparition du C.A.. La figure 7 présente une illustration micrographique de la manifestation du phénomène de C.A. sur éprouvettes de compression dynamique.

### 2.3 - Impact sur cible rigide

Les résultats d'essais d'impact sur cible rigide, du type "TAYLOR test", réalisés sur deux aciers à blindage de dureté 380 et 520 HB, sont présentés aux figures 8a et 8b. Les vitesses d'impact maximales utilisées sont de 300 m/s pour la nuance 380 HB et 260 m/s pour la nuance 520 HB ; au-delà de ces vitesses, les échantillons commencent à se fissurer et les théories correspondantes ne sont plus applicables.

L'évolution du rapport $L_f/Lo$ (longueur finale/longueur initiale de l'éprouvette) en fonction de la vitesse d'impact V et du rapport $\rho V^2/Y$ montre que la nuance 520 HB se déforme beaucoup moins que la nuance 380 HB, ce qui est en accord avec les résultats obtenus par essais de compression dynamique.

La figure 9 représente l'évolution de la contrainte d'écoulement Y en fonction de la vitesse d'impact V. Pour la nuance 380 HB, cette contrainte augmente rapidement avec la vitesse. Pour la nuance 520 HB, l'exploitation des résultats est plus délicate en raison de leur dispersion et de l'apparition probable de fissures liées à l'endommagement du matériau par C.A. ; les niveaux de contrainte atteints sont néanmoins nettement supérieurs à ceux enregistrés pour la nuance précédente.

La figure 10 montre à titre d'exemple, pour le matériau 28 CND 8, l'enregistrement cinématographique partiel représentant l'éprouvette qui arrive sur la cible rigide, l'impact de l'éprouvette avec la cible à une vitesse de 268 m/s, puis la déformation de l'éprouvette qui commence à une extrémité. A l'aide d'un tel enregistrement, il est possible d'étudier l'évolution de la déformation en fonction du temps et de la vitesse d'impact.

## 3 - CONCLUSIONS

Dans le domaine de la compréhension et de la prévision de la résistance à la perforation des aciers à blindage en fonction de leurs caractéristiques métallurgiques intrinsèques, cet article a présenté différents travaux se rapportant à la connaissance expérimentale du comportement dynamique d'aciers à blindage, soumis à de grandes vitesses de déformation dans le domaine $3.10^2$ à $5.10^4$ $s^{-1}$, et évaluée par l'intermédiaire de machines d'essais spécifiques ou machines à choc. Les travaux présentés montrent ainsi l'importance d'une part de l'étude de l'écoulement dynamique d'aciers à blindage en fonction de leur vitesse de déformation et de leurs caractéristiques métallurgiques intrinsèques, d'autre part de l'étude de leur déformation à rupture sous chargement dynamique reliée au processus d'instabilité plastique locale, l'endommagement par cisaillement adiabatique.

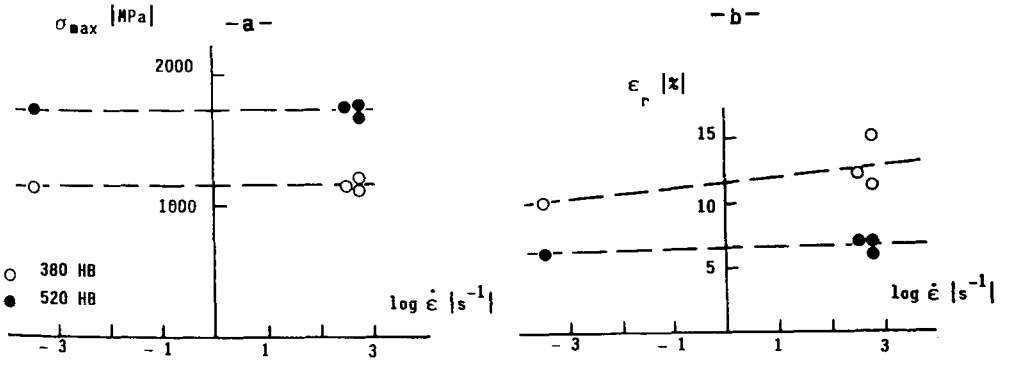



Fig. 1 - Evolution, en traction dynamique, de la contrainte maximale $\sigma_{max}$ et de l'allongement à rupture $\varepsilon_r$ en fonction de la vitesse de déformation $\dot{\varepsilon}$ pour deux nuances d'acier à blindage de dureté 380 et 520 HB.

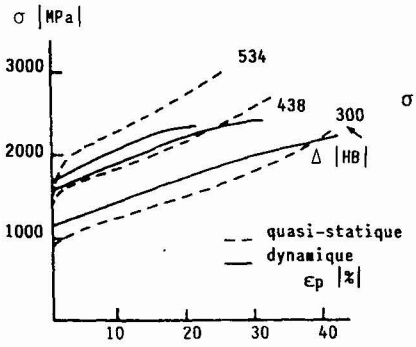



Fig. 2 - Comparaison des courbes contrainte σ - déformation plastique $\varepsilon_p$ en compressions quasi-statique et dynamique - nuance 28 CND8.

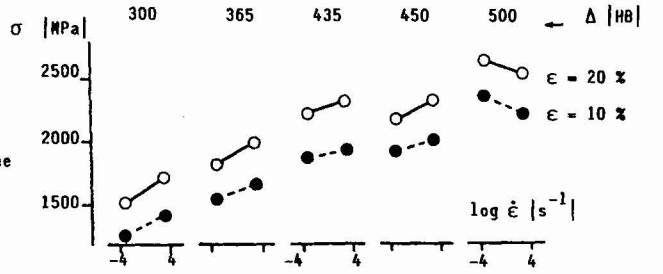



Fig. 3 - Influence de la vitesse de déformation $\dot{\varepsilon}$ sur la contrainte d'écoulement σ en fonction de la dureté Δ - nuance 28 CND8.

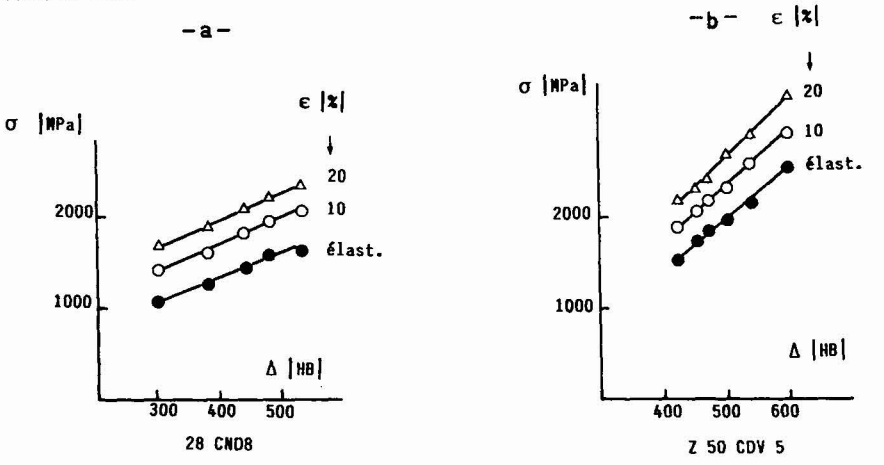



Fig.4 - Relation entre la dureté Δ et la contrainte dynamique σ en fonction de la déformation dynamique ε pour les nuances 28 CND8 et Z50 CDV5.

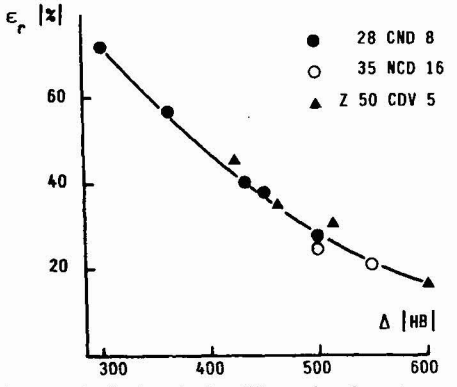



Fig. 5 - Evolution de la déformation à rupture $\varepsilon_r$ en fonction de la dureté Δ pour différentes nuances d'acier à blindage.

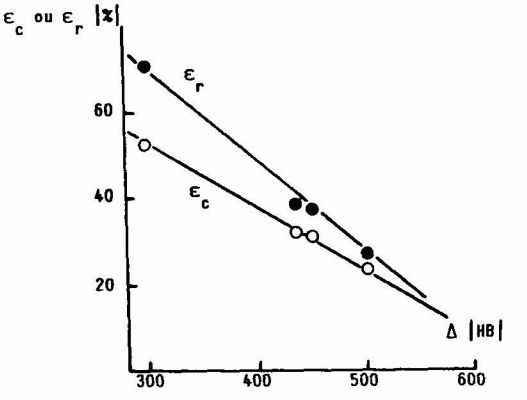
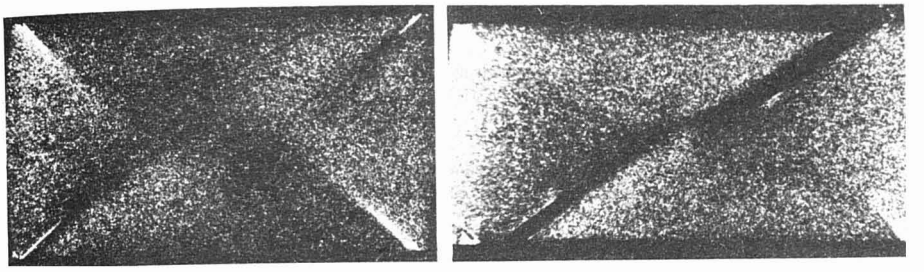



Fig. 6 - Comparaison des déformations à rupture $\varepsilon_r$ et critique $\varepsilon_c$ à l'apparition du cisaillement adiabatique pour la nuance 28 CND8.



Bandes de C.A. - ε = 39,9 %  Rupture - ε = 41,4 %

Fig. 7 - Aspect micrographique du développement du cisaillement adiabatique pour deux taux de déformation sur éprouvettes de compression dynamique pour l'acier à blindage 35 NCD 16 de dureté 425 HB.

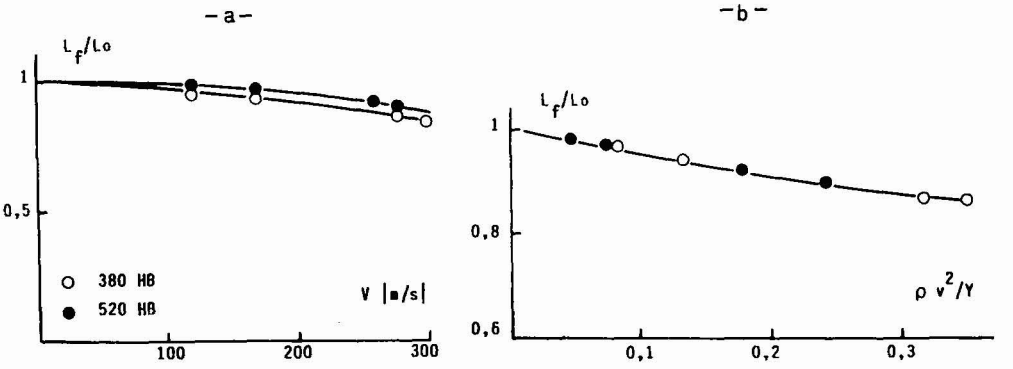



Fig. 8 - Evolution, en impact sur cible rigide, du rapport $L_f/L_o$ en fonction de la vitesse au choc V et du rapport $\rho v^2/Y$ pour deux nuances d'acier à blindage de dureté 380 et 520 HB.

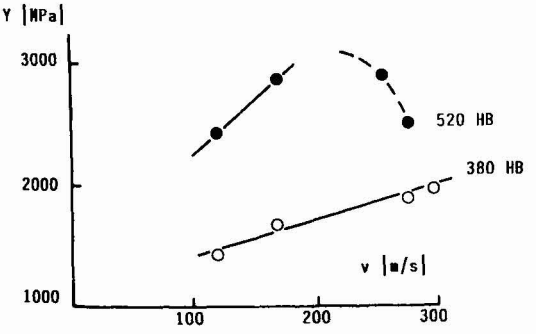



Fig.9 - Evolution, en impact sur cible rigide, de la contrainte d'écoulement Y en fonction de la vitesse au choc V pour deux nuances d'acier à blindage de dureté 380 et 520 HB.

Fig. 10 - Exemple d'enregistrement cinématographique montrant l'impact d'une éprouvette en acier à blindage 28 CND8 à une vitesse de 268 m/s en fonction du temps (10 µs entre chaque image).

**REFERENCES**

/ 1 / Y. STELLY, R. DORMEVAL, Essais de caractérisation dynamique de deux nuances d'acier, Compte rendu d'essais CEA/DAM ref. DETN/M/1062/79-MS/ML, 08 Novembre 1979, Non publié.

/ 2 / J-L. AFFOUARD, Etude expérimentale sur les bandes de cisaillement adiabatique, Thèse de Docteur-Ingénieur en Génie Mécanique, 10 Mai 1984, Rapport CEA-R-5277.

/ 3 / R. DORMEVAL, J.P. ANSART, Caractérisation dynamique d'un acier 35 NCD 16, Compte-rendu d'essais CEA/DAM ref. DETN/M/151/86, 21 Février 1986, Non publié.

/ 4 / J.P. ANSART, R. DORMEVAL, Cisaillement adiabatique - Etudes en compression dynamique, Rapport final CEA/DAM, Contrat de recherche DRET/CEA N° 83-449, 19 Mars 1987.

/ 5 / Y. MEUNIER, L. SANGOY, G. PONT, Metallurgical aspects of adiabatic shear phenomenon in armoured steels with perforation, IMPACT' 87, BREMEN, FRG, May 18-22, 1987.