

# CARACTÉRISTIQUES DES GRENAILLES UTILISÉES EN SHOT-PEENING

**P. Arnaud**

Wheelabrator Allevard, B.P. 17 Le Cheylas, 38570 Goncelin, France

## ABSTRACT

Shot peening has a great importance for fatigue behavior of materials. It is the reason why shots characteristics have to be well defined and controlled.

Through this research, we have listed the main parameters which can be evaluated on shots. We have also tested their influence both on the quality and the cost of peening.

## KEYWORDS

Shots characteristics, hardness, size, average life, shape.

## INTRODUCTION

L'importance du grenailage de précontrainte pour la qualité des produits implique un contrôle minutieux de cette opération et en particulier des projectiles utilisés. Les utilisateurs -et les fournisseurs- ont donc dû définir des spécifications qui permettent de garantir la régularité de la qualité des livraisons.

L'objet de cette étude est de définir, pour les grenailles, les principales caractéristiques mesurables facilement, ainsi que leur influence sur l'efficacité ou le coût du shot peening.

Les essais ont été effectués sur de la grenaille d'acier coulé Wheelabrator-Allevar, mais les résultats sont transposables dans une large mesure aux autres produits utilisés habituellement.

## CARACTERISTIQUES CHIMIQUES

L'analyse chimique permet de caractériser le type de grenaille utilisé. Ce paramètre est important lorsqu'on a un risque de pollution de la pièce traitée par les projectiles. Il s'agit alors de cas particuliers, spécifiques à l'utilisateur, qui peuvent conduire à utiliser de l'acier inoxydable à la place d'un acier au carbone ou allié, ou bien de passer aux billes de céramiques, etc...

Dans le cas de l'acier, il est possible de contrôler les éléments dits "poisons" comme l'arsenic, le plomb, éventuellement le phosphore.

Nous obtenons alors une première évaluation de la qualité de l'acier mais qui devra être complétée par des essais ou un suivi de la consommation.

## CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES

### Forme

Le mode de travail des projectiles par mise en compression de la surface interdit l'utilisation de produit de forme angulaire. Il se produirait alors des indentations pouvant servir d'amorce de rupture pendant l'utilisation de la pièce grenillée. Il est donc indispensable de contrôler que le produit neuf est de forme arrondie et qu'il le reste au cours du travail.

En pratique, cela élimine du shot peening les produits angulaires (Alumine, fil coupé non rôdé, grenaille angulaire) ainsi que les matériaux fragiles (fonte, acier de dureté très élevée, supérieure à 58HRC).

La machine à grenailier doit être réglée de façon à éliminer les grains cassés. Pour un produit de diamètre  $\varnothing N$  à l'état neuf, on trie à  $\varnothing N/3$  ou  $\varnothing N/4$  pour l'acier à dureté normale, à  $\varnothing N/2$  pour les matériaux plus fragiles comme les céramiques.

## DIMENSION

Comme les projectiles sont de forme sensiblement sphérique, le paramètre de taille est le diamètre. Le contrôle de la dimension est effectué par tamisage. On obtient en fonction de la maille du tamis le refus cumulé exprimé en pourcentage de la masse (Fig. 1)

La mesure est précise au-dessous de 30 % et au-dessus de 70 % de refus cumulé. En revanche, dans la partie médiane, vers 50 % de refus, un écart de 0,02 mm sur la maille du tamis modifie le résultat de 10 points, voire plus.

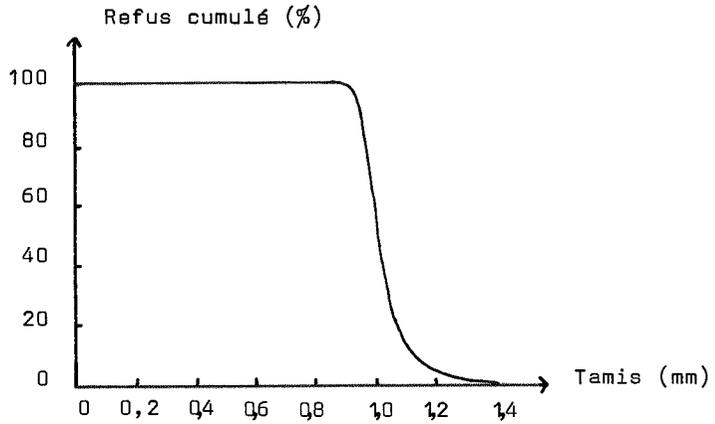


Fig. 1 - Exemple de courbe granulométrique (type SAE 330)

Une spécification à ce niveau conduit à des problèmes délicats de mesures non compatibles avec la réalité industrielle. C'est malheureusement ce que l'on retrouve dans la norme MILS souvent utilisée en shot peening (Table 1)

TABLE 1 Spécification SAE S 230 et MILS correspondante

TAMIS (mm)	S 230	MILS
1	0	0
0,84	≤ 10 %	≤ 2 %
0,71	-	≤ 50 %*
0,60	≥ 85 %	≥ 90 %
0,50	≥ 97 %	≤ 8 %*

\* Refus simple - les autres chiffres sont en refus cumulé

#### Influence de la dimension sur l'efficacité en shot peening

Si R désigne le rayon moyen de la grenaille, M la masse projetée et m la masse volumique, le nombre d'impacts N diminue lorsque R augmente

$$N = \frac{3 \cdot M}{\pi \cdot R^3 \cdot m}$$

La surface S couverte par le grenailage est proportionnelle au nombre et à la surface dès l'impact. On obtient alors :

$$S = A \cdot N \cdot R^2 = \frac{B}{R}$$

ou A et B sont des constantes indépendantes de R.

Le taux de recouvrement augmente donc lorsque la dimension diminue. En revanche, la profondeur écrouie est une fonction croissante de la dimension.

On est amené en shot peening à un compromis permettant d'avoir un recouvrement correct ( $\geq 90\%$ ) et une intensité de grenailage suffisante. Les essais que nous avons effectués (fig. 2) montrent clairement que pour une faible dimension, le résultat optimum mesuré en flèche Almen est obtenu rapidement alors que pour des billes de grosse dimension, ce même optimum est atteint beaucoup plus tard.

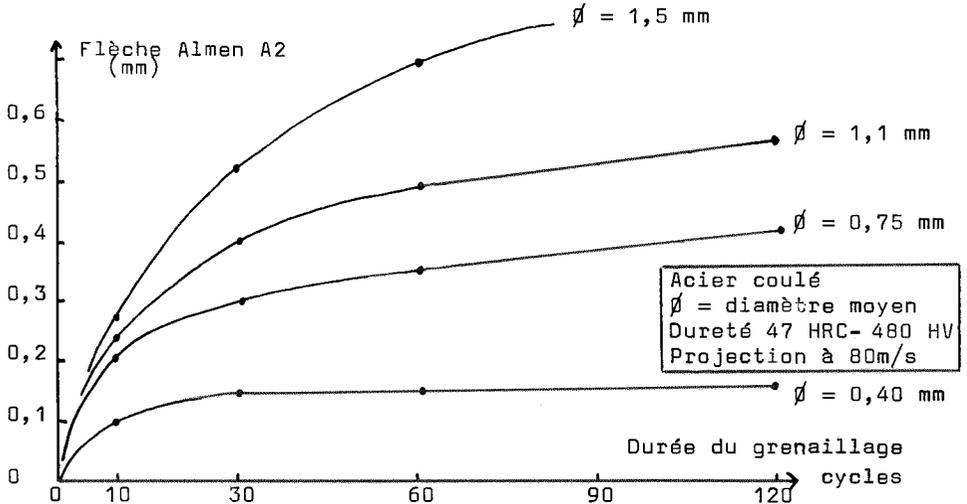


Fig. 2 - Intensité Almen en fonction du temps de grenailage et de la dimension des projectiles.

En pratique, la plupart des produits utilisés se situent entre 0,4 et 1,4 mm de diamètre (type SAE S 110 à S 390).

#### CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

##### Densité

Il faut distinguer dans ce cas la densité propre du matériau et la santé du grain, par exemple présence de grain creux.

Il est clair qu'un grain creux a une énergie cinétique faible et donc une efficacité très limitée en shot peening. Le pourcentage de tels grains doit donc être réduit. Le contrôle peut être fait en micrographie par comptage. A noter que dans ce cas, le pourcentage en masse de produit défectueux est plus faible que celui annoncé.

En effet, la masse d'un grain est sensiblement inférieure à la masse moyenne du mélange.

En ce qui concerne les grains sains, la densité ou la masse volumique interviennent dans l'énergie cinétique.

Ainsi, une bille d'acier à 70 m/s a la même énergie cinétique qu'une bille de verre à 96 m/s.

##### Dureté

Dans l'opération de shot peening, la cible se déforme (→ écrouissage) et la grenaille se déforme (→ usure). Il est nécessaire que la défor-

mation principale soit celle de la cible. La grenaille doit donc être plus dure que le matériau traité. La fig. 3 montre l'influence de la dureté sur l'intensité Almen pour une grenaille d'acier coulé de 1 mm de diamètre

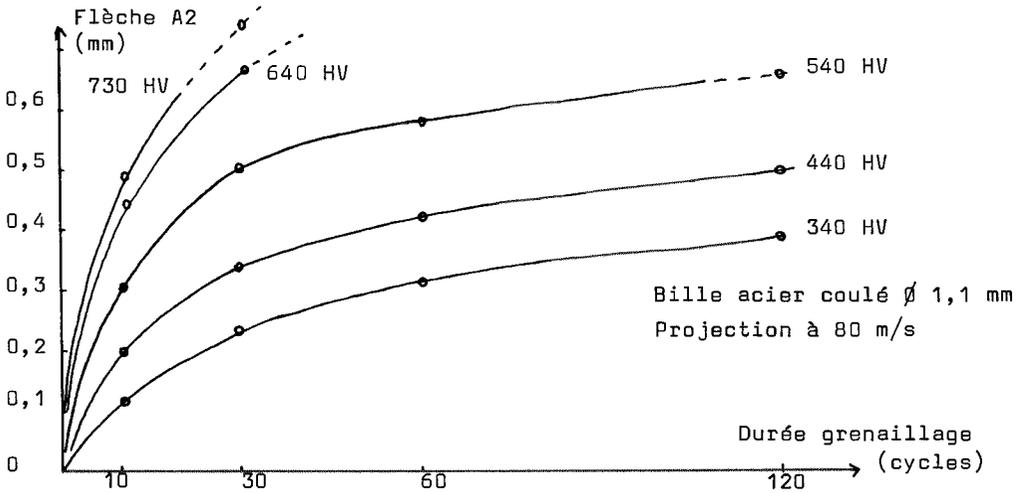


Fig. 3 - Courbes de saturation sur plaquettes Almen en fonction de la dureté de la grenaille

Nota - Les courbes au-delà du niveau d'utilisation normale des plaquettes A2 sont tracées en pointillé.

L'utilisateur peut donc être tenté d'opérer avec une grenaille très dure. Il est alors limité par la consommation qui augmente avec la dureté (fig.4) D'autre part, le matériau peut devenir fragile et le mélange opératoire contient alors des grains angulaires ce qui est rédhibitoire en shot peening.

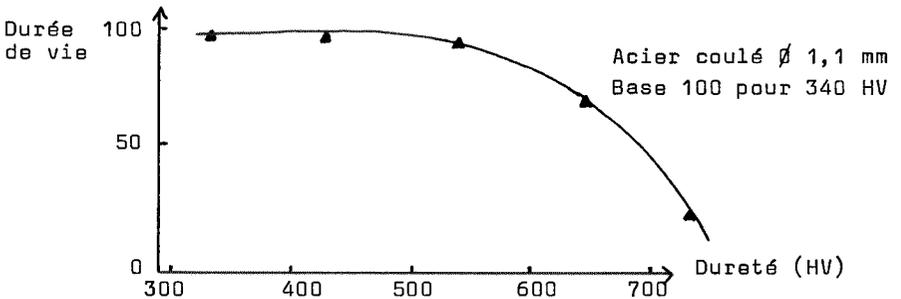


Fig. 4 - Evolution de la durée de vie avec la dureté

#### Santé des grains

L'examen de la santé des grains (craques, retassure, inclusions, etc...) est faite le plus souvent par voie micrographique. Les critères restent subjectifs car il est difficile de fixer une dimension limite de défaut acceptable ou non. En dernier ressort, le test de consommation ou de durée de vie est le seul permettant de différencier deux produits du même type.

#### Durée de vie

Il s'agit d'un paramètre global faisant intervenir à la fois les qualités de la grenaille (dureté, résistance à l'usure), la machine (vitesse de projection, dimension d'élimination), la cible (dureté). Il n'existe pas

de test permettant de prévoir la consommation dans une opération industrielle si ce n'est l'essai en vraie grandeur. En revanche, il est possible de comparer sur des machines de laboratoire des grenailles de même type, ou bien de contrôler l'influence d'un paramètre. Par exemple, nous avons testé l'évolution de la durée de vie avec la dimension d'élimination (fig. 5).

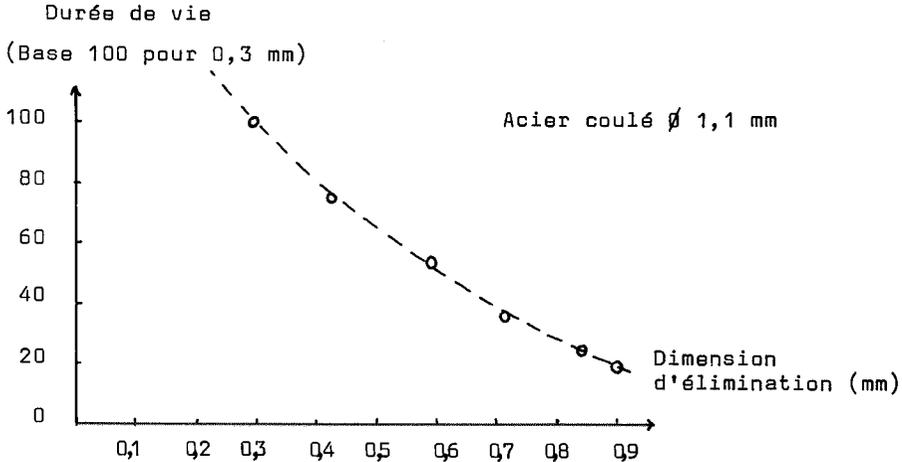


Fig. 5 - Evolution de la durée de vie avec la dimension d'élimination

On remarque Fig. 5 que la consommation double lorsqu'on passe l'élimination de 0,3 mm à 0,6 mm. On comprend dès lors que l'utilisation de produits fragiles ( $\rightarrow$  élimination rapide pour éviter les grains angulaires) conduit à un coût de shot peening très élevé.

#### CONCLUSION

Le choix d'une grenaille pour le shot peening résulte d'une série de compromis. Après détermination d'une grenaille donnant satisfaction, il est très important que la qualité reste stable dans le temps. Cela impose à la fois un suivi des caractéristiques de la grenaille mais aussi un contrôle permanent de la machine à grenailler et du mode opératoire.