

COURBES DE SATURATION ALMEN

Intensité, strips, construction de courbe, conformité AMS 2430 /
AMS 2432 et pièges d'audit — le guide pratique pour opérateurs,
qualité et méthodes.

1. L'INTENSITÉ ALMEN, EN BREF

L'intensité Almen mesure l'énergie cinétique transférée à la surface lors du grenaillage de précontrainte (shot peening). Développée par John Almen en 1945, la méthode repose sur un principe simple et robuste : on expose une éprouvette d'acier standardisée (« strip ») au jet de grenaille, et l'on mesure la **flèche** (arc height) qu'elle prend sous l'effet des contraintes de compression induites. Plus la flèche est grande, plus l'intensité est élevée.

C'est LE paramètre contractuel du shot peening : les spécifications OEM (Airbus ABP, Boeing BAC, Safran...) et les normes AMS 2430 / AMS 2432 imposent une intensité cible avec tolérance, démontrée par une **courbe de saturation valide** — jamais par un point de mesure isolé.

2. LES TROIS TYPES DE STRIPS

STRIP	ÉPAISSEUR	PLAGE D'USAGE TYPIQUE	APPLICATIONS
N (Narrow)	0,79 mm (0.031")	Intensités faibles, < 4A	Pièces minces, alliages d'aluminium, faibles contraintes
A (Almen)	1,29 mm (0.051")	4A à 24A	Référence standard aéronautique — AMS 2430
C (Coarse)	2,39 mm (0.094")	Intensités élevées, > 8C	Roto peening lourd, fortes énergies

La flèche se mesure au **comparateur Almen calibré** (jauge à 4 points d'appui, SAE J442). Notation : **F30A** = flèche de 0,30 mm sur strip A. Règle d'équivalence approximative entre strips : **1A ≈ 0,35N ≈ 3,5C** — à n'utiliser que pour un pré-dimensionnement, jamais pour une qualification.

Bon réflexe : vérifier systématiquement le lot et la conformité SAE J442 des strips (planéité initiale, dureté 44-50 HRC pour le strip A). Un strip hors spécification invalide toute la courbe.

3. LA COURBE DE SATURATION

L'intensité Almen d'un procédé n'est pas la flèche d'un strip unique : c'est le point de **saturation** de la courbe « flèche en fonction du temps d'exposition ». La définition normative (SAE J443) : la saturation est atteinte au premier point où **doubler le temps d'exposition n'augmente la flèche que de 10 % au maximum** (critère dit « du point T / 2T »).

Construction pas à pas

1. **Préparer 5 à 8 strips conformes** du même lot, mesurés à vide (pré-flèche < tolérance).
2. **Choisir des temps d'exposition étagés** encadrant la zone de saturation présumée (ex. 10 s, 20 s, 40 s, 80 s, 160 s) — tous les autres paramètres machine strictement constants.
3. **Exposer un strip par temps**, dans le porte-strip, à la position exacte représentative de la pièce.
4. **Mesurer chaque flèche** au comparateur calibré, dans les 30 minutes (relaxation).
5. **Tracer la courbe et déterminer T** : le point où $f(2T) \leq 1,10 \times f(T)$. L'intensité déclarée est $f(T)$.
6. **Documenter** : lot de strips, média (type, granulométrie, lot), pression/vitesse, distance, angle, débit, date, opérateur, n° de comparateur et sa date de calibration.

Erreur classique : déclarer l'intensité au « plateau visuel » de la courbe au lieu d'appliquer le critère des 10 %. En audit NADCAP, la courbe est recalculée : un écart de méthode = écart majeur.

Intensité ≠ couverture

L'intensité (énergie par impact) et la **couverture** (pourcentage de surface impactée, contrôle visuel $\times 10$ ou traceurs fluorescents) sont deux exigences indépendantes. Une couverture de 100 % (souvent spécifiée 100 % à 200 %) peut être atteinte sans que l'intensité soit conforme — et inversement. Les deux se qualifient et se documentent séparément.

4. LES PIÈGES QUI COÛTENT UN AUDIT

- **Contamination du strip** (huile, résidus de média) : flèche faussée, dispersion inexplicée.
- **Comparateur non calibré ou usé** : calibration périodique sur bloc étalon obligatoire, traçabilité incluse.
- **Distance buse-strip non maîtrisée** : le paramètre le plus sensible sur la dispersion — à fixer mécaniquement.
- **Média dégradé** : billes fragmentées ou hors granulométrie (AMS 2431 / SAE J441) = intensité dérivante ; le contrôle de forme et de taille du média fait partie de la qualification.
- **Courbe « historique » réutilisée** après changement de buse, de média ou de machine : toute modification de paramètre invalide la courbe.
- **Position du porte-strip non représentative** de la géométrie réelle de la pièce.

Sur le terrain, des écarts de **10 à 20 % entre intensité déclarée et intensité réelle** s'observent régulièrement lors d'audits indépendants d'installations — le plus souvent par cumul de petites dérives (média, distance, calibration) jamais détectées individuellement.

5. CHECKLIST EXPRESS AVANT AUDIT

- ☐ Courbes de saturation valides, datées, avec critère 10 % appliqué et calcul vérifiable
- ☐ Strips conformes SAE J442, lot tracé, pré-flèches enregistrées
- ☐ Comparateur calibré (certificat en cours de validité, bloc étalon tracé)
- ☐ Média contrôlé : granulométrie, forme, taux de fragmentation (AMS 2431)
- ☐ Paramètres machine consignés et verrouillés (pression, débit, distance, angle)
- ☐ Couverture qualifiée et documentée séparément de l'intensité
- ☐ Toute modification machine → nouvelle courbe (procédure écrite)

UN DOUTE SUR VOS COURBES ? FAITES-LES AUDITER.

Kronos Engineering réalise des **pré-audits indépendants** de procédés de grenaillage — toutes marques d'équipement — dans le cadre des référentiels AMS 2430 / AMS 2432 et NADCAP : courbes de saturation recalculées, chaîne de mesure vérifiée, écarts corrigés avant l'audit officiel. Formations opérateurs sur site ou à Bordeaux.

www.kronos-engineering.com/fr/contact/ · Interventions dans 50+ pays · AOG 24/7