



Guide de conception MJF & SLS

Règles de conception pour la fabrication additive polymère

Multi Jet Fusion (MJF) • Frittage laser sélectif (SLS)

Juillet 2026 — v1.0

Conventions du guide

[MJF] = spécifique Multi Jet Fusion · [SLS] = spécifique frittage laser · sans marqueur = commun aux deux technologies.

Encadrés colorés : **vert** = bonne pratique · **rouge** = erreur fréquente · **bleu** = justification physique.

Sommaire

PARTIE 1 — RÈGLES DE CONCEPTION FONDAMENTALES	3
Chapitre 1 — Épaisseurs de paroi et dimensions minimales	3
Chapitre 2 — Trous, perçages et canaux	4
Chapitre 3 — Jeux fonctionnels et assemblages	5
Chapitre 4 — Tolérances et précision dimensionnelle	6
Chapitre 5 — États de surface et post-traitements	7
PARTIE 2 — MAÎTRISE DES VOLUMES ET DE LA MATIÈRE	8
Chapitre 6 — Évidement, allègement et évacuation de poudre	8
Chapitre 7 — Grandes pièces et grands volumes	8
PARTIE 3 — FONCTIONS ET ÉLÉMENTS DE CONCEPTION AVANCÉS	10
Chapitre 8 — Filetages et inserts	10
Chapitre 9 — Clips, encliquetages et charnières	10
Chapitre 10 — Pièces articulées et mécanismes imprimés assemblés	11
Chapitre 11 — Textes, gravures, marquages et textures	11
PARTIE 4 — OPTIMISATION ET MISE EN FABRICATION	13
Chapitre 12 — Optimisation de la résistance mécanique	13
Chapitre 13 — Préparation des fichiers CAO	13
ÉTUDE DE CAS — Carter en U grand format (PA12 SLS)	15

PARTIE 1 — RÈGLES DE CONCEPTION FONDAMENTALES

Valeurs indicatives. Les chiffres de ce guide sont des **repères prudents**, à confirmer pour chaque fabrication. Ils dépendent du matériau, de l'orientation dans le bac, de la machine et du prestataire : un même procédé peut tenir des valeurs plus fines dans un sens que dans l'autre (HP MJF annonce par exemple 0,3 mm de paroi en XY contre 0,5 mm en Z). En cas de cote critique, valider la valeur avec le fabricant avant lancement.

Chapitre 1 — Épaisseurs de paroi et dimensions minimales

En fusion sur lit de poudre, une paroi trop fine fond mal, se dépoudre difficilement et casse à la manipulation ; une masse trop épaisse accumule la chaleur et se déforme. Ce chapitre fixe les valeurs plancher et plafond à respecter.

1.1 Épaisseurs de paroi

Épaisseur de paroi	MJF	SLS (PA12)	SLS (PA12-GF/GB)
Minimum absolu (paroi courte < 10 mm, non chargée)	0,5 mm	0,8 mm	1,0 mm
Minimum recommandé (usage général)	1,0 mm	1,0 mm	1,5 mm
Paroi fonctionnelle (pièce sollicitée)	1,5–2,0 mm	2,0–3,0 mm	2,5–3,0 mm
Maximum recommandé (section pleine)	10 mm	15 mm	15 mm

Trois facteurs imposent de majorer ces valeurs :

- **Élancement (hauteur libre / épaisseur)** : ce qui compte est le rapport entre la **hauteur non soutenue** d'une paroi et son épaisseur. Plus ce rapport est élevé, plus la paroi gondole au refroidissement : au-delà de ~40:1, nervurer, ajouter des goussets ou épaissir (voir ch. 12). Sans contrainte particulière, viser 1 mm d'épaisseur minimum ; en dessous de 1 mm, limiter fortement la hauteur libre.
- **Paroi libre vs supportée** : une paroi rattachée sur un seul bord se déforme plus qu'une paroi encastrée sur plusieurs côtés.
- **Post-traitement** : le microbillage et le lissage chimique retirent jusqu'à 0,1–0,2 mm par face (voir ch. 5).

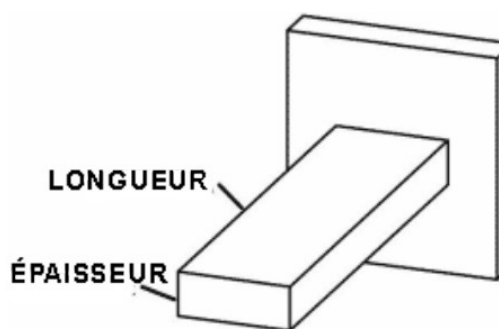


Figure — Rapport longueur/épaisseur de paroi.

Pourquoi un maximum ? Les sections épaisses stockent la chaleur de fusion et refroidissent plus lentement que le reste de la pièce : le retrait différentiel crée déformations et retassures (sink marks). Au-delà de **10 mm en MJF** ou **15 mm en SLS**, éviter ou nervurer (voir ch. 6).

1.2 Dimensions minimales des détails

Élément	MJF	SLS
Pin / colonnette ($\varnothing$, hauteur < $5 \times \varnothing$)	0,8 mm (2 mm si fonctionnel)	1,0 mm (2 mm si fonctionnel)

Élément	MJF	SLS
Arbre / tige long ($\varnothing$)	2–3 mm	3 mm
Détail en relief (hauteur et largeur)	0,5 mm	0,8 mm
Détail en creux / rainure (largeur, profondeur)	0,5 mm	0,8 mm
Fente / interstice entre deux parois	0,5 mm	0,6 mm
Distance minimale entre deux features	0,5 mm	0,6 mm

Une fente plus étroite que ces valeurs se rebouche : la poudre adjacente fritte partiellement (SLS) ou l'agent de fusion diffuse (MJF) et soude les deux faces.

[MJF] **Repères MJF pour paroi fine (1 mm)** : sur une paroi de 1 mm, le MJF résout une fente, un trou ou un axe jusqu'à $\varnothing$ /largeur **0,5 mm** (axe de 0,5 mm tenable jusqu'à ~10 mm de hauteur). Ces valeurs sont des minima de faisabilité, pas des cibles fonctionnelles : les petits trous et trous borgnes se bouchent facilement avec de la poudre non solidifiée (voir ch. 2).

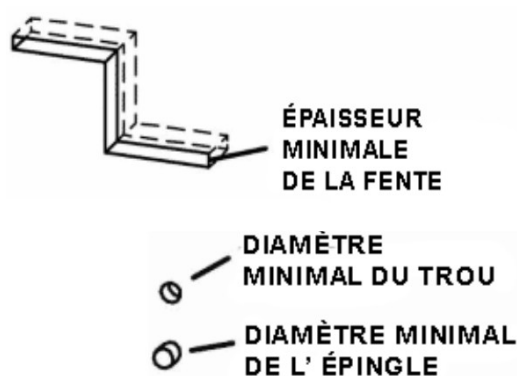


Figure — Fente, trou et axe (épingle) minimum en MJF.

1.3 Règles de bonne conception

Bonnes pratiques

- Viser une **épaisseur uniforme** sur toute la pièce ; à défaut, limiter les transitions à un rapport 1:2 et les adoucir par congé ou chanfrein.
- Ne jamais dimensionner au minimum absolu une zone manipulée, vissée ou clipsée : appliquer d'office la valeur "fonctionnelle".
- Pour rigidifier, préférer **nervures et goussets** à l'épaississement massif (moins de matière, moins de déformation — voir ch. 12).
- Pins et colonnettes : ajouter un **congé en pied** ($r \geq 0,3$ mm) ; c'est la zone de rupture typique.

Erreurs fréquentes

- Grande plaque plane de 1 mm sans nervure → gondolement garanti.
- Transposition directe d'une pièce d'injection à parois 0,8 mm avec ses dépouilles (inutiles en AM).
- Logo en relief de 0,3 mm de haut → invisible après microbillage.
- Section pleine de 20 mm "pour faire solide" → retassures, déformation, surcoût matière.

Chapitre 2 — Trous, perçages et canaux

Les trous cumulent trois phénomènes : limite de résolution, retrait thermique (qui les referme) et évacuation de poudre. Ils sont systématiquement imprimés légèrement plus petits que le nominal.

2.1 Diamètres minimaux

Élément	MJF	SLS
Trou débouchant, épaisseur ≤ 2 mm	$\varnothing 1,0$ mm	$\varnothing 1,5$ mm
Trou débouchant, usage général	$\varnothing 1,5$ mm	$\varnothing 2,0$ mm
Trou profond : profondeur $> 4 \times \varnothing$	majorer le $\varnothing$ ou re-percer	majorer le $\varnothing$ ou re-percer
Trou borgne	$\varnothing \geq 2$ mm, fond accessible au dépoudrage	$\varnothing \geq 2$ mm
Canal interne rectiligne, $L \leq 50$ mm	$\varnothing \geq 2$ mm	$\varnothing \geq 3$ mm
Canal interne long ou coudé	$\varnothing \geq 5$ mm + accès aux deux extrémités	$\varnothing \geq 6$ mm

2.2 Règles de position et de forme

- **Distance trou-bord** : conserver une épaisseur de matière $\geq 1 \times$ le $\varnothing$ du trou (minimum absolu : épaisseur de paroi du ch. 1). Renforcer par bossage les trous sollicités (voir ch. 12).
- **Ovalisation** : un trou dont l'axe est horizontal (dans le plan des couches) s'ovalise légèrement (effet escalier + affaissement du plafond de poudre). Pour un trou précis, préférer un axe vertical — ou prévoir la reprise par perçage.
- **Canaux** : privilégier les courbes larges aux angles vifs (la poudre se tasse dans les coins) ; tout canal doit avoir au moins deux accès pour pousser/aspirer la poudre.

2.3 Trous destinés à être repris

Pour un ajustement précis (axe, roulement, taraudage), imprimer le trou **sous-dimensionné de 0,3–0,5 mm** puis re-percer/aléser au diamètre final. Coût marginal, précision d'usinage.

Erreurs fréquentes : trou $\varnothing 0,8$ mm à travers 10 mm de matière (se rebouche) ; canal en U de $\varnothing 3$ mm avec un seul accès (poudre piégée) ; trou à 0,5 mm du bord (déchirure au dépoudrage).

Chapitre 3 — Jeux fonctionnels et assemblages

Le jeu compense trois incertitudes : tolérance dimensionnelle des deux pièces, rugosité de surface et poudre partiellement frittée dans l'interstice. Un jeu "usinage" (0,05–0,1 mm) est irréalisable en frittage.

3.1 Valeurs de référence

Base de lecture : toutes les valeurs de ce chapitre sont des **jeux au diamètre**, c'est-à-dire l'écart total entre les deux surfaces en regard (et non par face). Pour un axe dans un alésage : $\varnothing \text{ alésage} = \varnothing \text{ axe} + \text{valeur du tableau}$.

Situation	MJF	SLS
Pièces imprimées séparément — ajustement serré (montage à la main, sans mouvement)	0,2 mm	0,3 mm
Pièces imprimées séparément — ajustement glissant	0,4 mm	0,5 mm
Pièces imprimées assemblées (print-in-place) — minimum	0,5 mm	0,6 mm
Print-in-place — surfaces en regard étendues ($> 20 \times 20$ mm)	0,7 mm	0,8 mm
Emmanchement sur pièce usinée / standard (axe acier, roulement)	0,1–0,2 mm de jeu, ou reprise par alésage	idem

[MJF] **Repères MJF (concordance prestataires)** : pour deux pièces **imprimées séparément** puis assemblées, HP et PolyD donnent **0,4 mm** dans les zones d'interférence (soit $\pm 0,2$ mm par pièce) — c'est la ligne « ajustement glissant »

ci-dessus. Pour le **print-in-place**, le minimum est 0,5 mm ([MJF]), mais certains prestataires (dont PolyD) recommandent de viser **0,7 mm** par prudence, surtout dès que les surfaces en regard sont étendues (> 20×20 mm) ou les parois épaisses (> 50 mm).

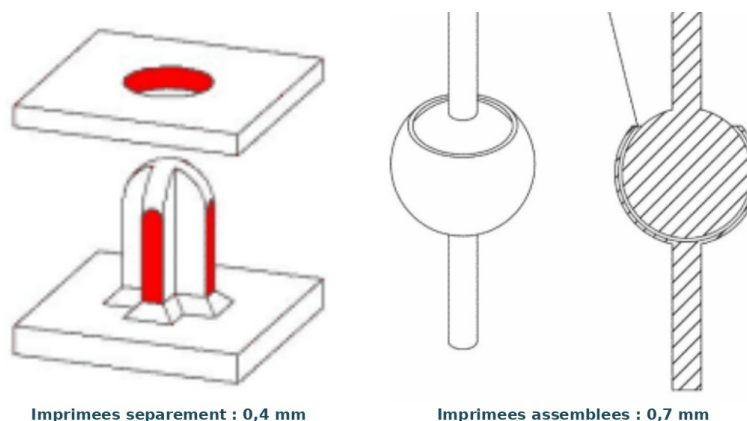


Figure — Jeux MJF au diamètre : 0,4 mm entre pièces imprimées séparément, 0,7 mm recommandé pour un assemblage imprimé en place.

3.2 Facteurs de majoration

- **Surfaces en regard étendues** : plus la surface de contact est grande, plus la poudre semi-frittée et les écarts de planéité se cumulent → majorer de 0,1–0,2 mm.
- **Parois minces** : une paroi < 2 mm fléchit et peut absorber un défaut de jeu ; une paroi massive ne pardonne rien.
- **Après finition** : le lissage chimique et la teinture modifient peu les cotes ; le microbillage ouvre le jeu de ~0,05–0,1 mm.

3.3 Jeux par fonction

Fonction	Jeu recommandé (au Ø)
Pivot libre (rotation aisée)	0,4–0,6 mm
Glissière / coulisse	0,4–0,6 mm + rainures de dégagement de poudre
Clipsage (course du clip)	voir ch. 9
Boîtier deux coques (plan de joint)	0,2–0,3 mm + pions de centrage jeu 0,3 mm
Charnière à axe imprimé	0,5 mm

Bonne pratique : sur un assemblage critique, imprimer une **épreuve de jeu** (petite pièce test avec 3–4 jeux étagés de 0,1 en 0,1 mm) avant de lancer la série.

Chapitre 4 — Tolérances et précision dimensionnelle

4.1 Ce que la technologie sait tenir

Plage	MJF	SLS
Tolérance générale standard	± 0,3 mm ou ± 0,3 % (la plus grande des deux)	± 0,3 mm ou ± 0,4 %
Atteignable avec calibration / retours d'expérience	± 0,2 mm (cotes < 50 mm)	± 0,25 mm (cotes < 50 mm)
Cotes critiques	reprise par usinage : ± 0,05 mm et mieux	idem

Pourquoi cette dispersion ? Le retrait au refroidissement (2–3 %) est compensé par un facteur d'échelle machine, mais il varie avec la position dans le bac (cœur plus chaud que bords), la masse de la pièce, sa géométrie et le taux de rafraîchissement de la poudre. La dispersion est donc en partie **proportionnelle à la cote** — d'où le terme en %.

4.2 Tolérer un plan pour l'AM

- Appliquer une **tolérance générale réaliste** ($\pm 0,3 \text{ mm}$ / $\pm 0,3 \%$) et ne resserrer que les **cotes fonctionnelles**, identifiées une à une.
- ISO 2768-m est globalement tenable jusqu'à $\sim 100 \text{ mm}$; ISO 2768-f ne l'est pas sans reprise. Éviter de copier-coller le cartouche usinage.
- Pour chaque cote serrée, se demander : reprise d'usinage (coût modéré) ou re-conception (jeu plus tolérant) ?
- Référentiel normatif : ISO/ASTM 52902 décrit des **artefacts d'essai** servant à qualifier les capacités géométriques d'une machine ; elle ne fixe pas à elle seule les tolérances garanties d'une pièce donnée. Les tolérances contractuelles se conviennent avec le prestataire (ISO 2768 en complément).

Erreur fréquente : plan coté $\pm 0,05 \text{ mm}$ partout "par habitude" → devis refusé ou surcoût massif de reprise, alors que 3 cotes critiques suffisaient.

Chapitre 5 — États de surface et post-traitements

5.1 Surface brute

Caractéristique	MJF	SLS
Rugosité brute Ra	5–10 μm	7–12 μm
Aspect	gris anthracite, grain fin	blanc cassé, grain poudreux
Faces vers le bas (downskin)	légèrement plus rugueuses	plus rugueuses
Effet escalier	visible sur pentes faibles ($< 20^\circ$)	visible sur pentes faibles

Les faces orientées vers le haut sont les plus belles : orienter (ou demander d'orienter) les faces d'aspect vers le haut quand c'est possible (voir aussi ch. 11 pour les marquages).

5.2 Post-traitements

Traitement	Effet	Impact dimensionnel	Techno
Microbillage (standard, souvent inclus)	supprime la poudre résiduelle, aspect satiné homogène	$-0,05$ à $-0,1 \text{ mm/face}$	les deux
Tribofinition	$Ra \div 2$ à 3 , arêtes adoucies	$-0,1$ à $-0,2 \text{ mm/face}$	les deux
Lissage chimique (vapor smoothing)	$Ra < 2 \mu\text{m}$, surface scellée (étanchéité, nettoyabilité)	$-0,1 \text{ mm/face env.}$	les deux
Teinture	noir profond (SLS : toutes couleurs foncées)	négligeable	[SLS] surtout ; [MJF] gris→noir
Peinture / vernis	couleur libre, protection UV	$+0,1$ à $+0,3 \text{ mm}$	les deux

Bonnes pratiques : anticiper l'enlèvement de matière des finitions sur les cotes serrées ; spécifier la finition **dès le devis** (elle conditionne délai et prix) ; pour une pièce d'aspect client, prévoir lissage chimique + teinture noire.

Erreur fréquente : valider un prototype brut puis lancer la série "lissée + teinte" sans re-vérifier jeux et cotes.

PARTIE 2 — MAÎTRISE DES VOLUMES ET DE LA MATIÈRE

Chapitre 6 — Évidement, allègement et évacuation de poudre

En lit de poudre, le prix dépend surtout du **volume de matière fusionnée** et de l'**encombrement dans le bac** — pas de la complexité. Évider est donc le premier levier de coût, à condition de ne pas piéger la poudre.

6.1 Quand et comment évider

- **Évider dès que** la section pleine dépasse ~10 mm (MJF) / 15 mm (SLS) ou que la pièce dépasse ~80–100 cm³ pleins.
- **Épaisseur de coque** : 2–3 mm (3 mm si pièce sollicitée ou matériau chargé).
- **Ne pas évider** les petites pièces (< 30 mm) : le gain matière est négligeable devant le risque de fragilisation et le coût du dépoudrage.

6.2 Évacuation de poudre — règle impérative

Règle	Valeur
Diamètre minimal d'un trou d'évacuation	Ø 3,5 mm (5 mm recommandé)
Nombre	≥ 2, positionnés à l'opposé l'un de l'autre
Cavité complexe / cloisonnée	1 trou par sous-volume + passages internes Ø ≥ 5 mm

Pourquoi ? La poudre non fusionnée reste compactée dans la cavité ("cake"). Sans deux ouvertures opposées (une entrée d'air, une sortie de poudre), elle est inextricable : masse parasite, matière facturée, et poudre qui ressort en usage.

Erreur n°1 du frittage : la cavité fermée "propre" héritée de la CAO volumique. Une cavité sans trou = une pièce pleine au prix de la poudre perdue (non recyclable car cuite).

6.3 Alternatives à la coque fermée

- **Structure ouverte** : nervures + peau partielle (aucun problème de dépoudrage, rigidité pilotée — voir ch. 12).
- **Lattice** (gyroïde, treillis) : entretoises Ø ≥ 0,8–1 mm, espacement interne ≥ 1 mm pour laisser sortir la poudre ([MJF] espacement mini recommandé 1 mm en MJF) ; utile pour absorber l'énergie ou alléger à rigidité contrôlée.

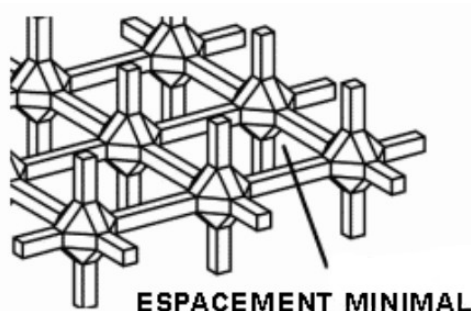


Figure — Structure en treillis : espacement interne ≥ 1 mm pour évacuer la poudre.

- **Bouchons** : si l'étanchéité est requise, prévoir des trous d'évacuation obturables (bouchon imprimé collé, insert, vis + joint).

Chapitre 7 — Grandes pièces et grands volumes

7.1 Limites machines et risques amplifiés

	MJF (HP 5200)	SLS (selon machine)
Volume utile typique	380 × 284 × 380 mm	340 × 340 × 600 mm (et plus selon parc)

	MJF (HP 5200)	SLS (selon machine)
Diagonale exploitable	~500 mm	~700 mm

Sur une grande pièce, tout s'amplifie : le retrait en % devient dominant ($\pm 0,3 \% = \pm 1,1$ mm sur 380 mm), les gradients thermiques déforment les grandes surfaces, et la pièce occupe un bac entier (coût).

7.2 Règles de conception grandes pièces

- **Nervurer systématiquement** toute surface plane $> 100 \times 100$ mm (quadrillage de nervures, hauteur 3–5× l'épaisseur de peau).
- **Éviter les formes en L ou U massives** à branches longues : les bras se referment au refroidissement. Ajouter goussets ou entretoises (éventuellement sécables après impression).
- **Tolérances localisées** : ne demander la précision qu'aux interfaces ; laisser vivre le reste.

7.3 Découper et assembler

Quand la pièce dépasse le bac (ou pour réduire le coût d'encombrement) :

Liaison	Usage	Règle
Emboîtement à queue d'aronde	localisation + reprise d'effort	jeu 0,2–0,3 mm, dépouille 5–10°
Tenon/mortaise + collage époxy ou cyanoacrylate	liaison structurelle	surfaces de collage ≥ 10 mm de large, jeu 0,1–0,2 mm pour le film de colle
Vissage sur pattes + inserts	démontable	voir ch. 8
Soudure (PA : difficile)	à éviter	préférer collage

Bonne pratique : placer le plan de joint dans une zone peu visible et peu sollicitée ; ajouter pions de centrage ($\varnothing \geq 3$ mm, jeu 0,3 mm) pour un alignement sans gabarit.

PARTIE 3 — FONCTIONS ET ÉLÉMENTS DE CONCEPTION AVANCÉS

Chapitre 8 — Filetages et inserts

8.1 Choisir la solution

Besoin	Solution recommandée
$\varnothing \geq M6$, faible couple, peu de démontages	filetage imprimé
M3–M5, montages/démontages occasionnels	taraudage post-impression dans un avant-trou imprimé
Démontages répétés, couple significatif	insert fileté thermique (solution par défaut)
Fixation définitive, tôle mince en regard	vis autotaraudeuse pour plastique

8.2 Règles de dimensionnement

- **Filetage imprimé** : à partir de M6 ; ajouter un jeu de 0,1–0,2 mm sur les flancs (décaler le profil) ; chanfreiner entrée et sortie ; éviter le filet complet sur plus de $1,5 \times \varnothing$ (frottement).
- **Taraudage** : avant-trou imprimé au $\varnothing$ nominal – pas (comme dans l'aluminium) ; le PA se taraude très bien.
- **Insert thermique** : trou imprimé au $\varnothing$ préconisé par le fabricant d'insert (généralement légèrement conique) ; **bossage** de $\varnothing \geq 2 \times \varnothing$ insert et de profondeur $\geq 1,5 \times$ la longueur d'insert ; épaisseur de matière autour ≥ 2 mm.
- SLS chargé verre : privilégier les inserts (le filetage taillé dans du PA-GF s'use vite).

Erreur fréquente : filetage M3 imprimé → filets partiellement fusionnés, arrachement au premier serrage.

Chapitre 9 — Clips, encliquetages et charnières

Le PA fritté est plus rigide et moins tenace que le PA injecté, et le sens Z est le point faible : les règles de l'injection doivent être adaptées.

9.1 Clips cantilever

- Proportions : longueur $\geq 5 \times$ l'épaisseur du bras ; épaisseur 1,5–2,5 mm ; largeur $\geq 2 \times$ l'épaisseur.
- **Congé en pied de clip obligatoire** ($r \geq 0,5 \times$ l'épaisseur) : c'est là que tout casse.
- Déformation admissible : limiter la flèche pour rester sous ~2 % de déformation en fibre externe (PA12) ; PA11 tolère ~2× plus (matériau à privilégier pour les clips sollicités).
- **Orientation** : le bras du clip doit être imprimé dans le plan XY (couches parallèles à la flexion). Un clip fléchissant perpendiculairement aux couches (Z) casse prématurément → à spécifier au prestataire (voir ch. 13).
- Prévoir un angle de démontage (30–45°) ou une butée anti-sur-course.

9.2 Charnières film (living hinges)

Paramètre	Valeur
Épaisseur du film	0,3–0,5 mm
Longueur de pliage (largeur du film)	≥ 5 mm
Rayons de raccordement	généreux ($r \geq 1$ mm) des deux côtés
Matériau	PA11 ou PP ; PA12 déconseillé
Orientation	film dans le plan XY — impératif
Durée de vie	quelques dizaines à centaines de cycles (≠ millions en PP injecté)

Pour un produit à ouverture fréquente, préférer une **charnière à axe** : deux chapes + axe (imprimé $\varnothing \geq 3$ mm avec jeu 0,5 mm, ou axe acier rapporté $\varnothing \geq 2$ mm).

Chapitre 10 — Pièces articulées et mécanismes imprimés assemblés

Le lit de poudre imprime des mécanismes **déjà assemblés et non démontables** (chaînes, cardans, soufflets) : aucune autre techno ne le fait aussi simplement — à condition de respecter les jeux et le dépoudrage.

10.1 Règles de jeux (print-in-place)

Liaison	Jeu minimal
Pivot (axe dans alésage)	0,5 mm au $\varnothing$ ([MJF]) / 0,6 mm ([SLS])
Rotule	0,6–0,8 mm sur le rayon de la sphère
Glissière	0,5–0,7 mm par face + rainures d'échappement de poudre
Maillons de chaîne, tissus rigides	0,6 mm entre éléments

10.2 Conception pour le dépoudrage et le fonctionnement

- Chaque interstice doit **déboucher** : pas de liaison enfermée dans un carter clos (ou alors avec trous d'accès $\varnothing \geq 3,5$ mm en regard de la liaison).
- Premier mouvement "au déballage" : prévoir un débattement libre suffisant pour casser le film de poudre semi-frittée ; les liaisons se rodent en quelques cycles.
- Limites à annoncer au client : jeu fonctionnel perceptible (pas de mécanisme de précision), risque de grippage si surfaces en regard étendues, usure PA/PA à long terme (envisager lissage chimique des portées).

Bonne pratique : sur les portées cylindriques, réduire la surface de contact (gorges, contacts linéiques) : moins de friction, meilleur dépoudrage.

Chapitre 11 — Textes, gravures, marquages et textures

11.1 Lisibilité garantie

Paramètre	MJF	SLS
Profondeur/hauteur — minimum imprimable	0,5 mm	0,8 mm
Profondeur/hauteur — seuil de lisibilité garantie	1,0 mm	1,0 mm
Largeur de trait	$\geq 0,5$ mm	$\geq 0,8$ mm
Taille de police minimale	~6 pt	~14 pt
Police	sans-serif grasse (Arial Bold, DIN)	idem

Deux seuils à ne pas confondre : le **minimum imprimable** est la plus petite valeur que le procédé reproduit ; le **seuil de lisibilité garantie** (≥ 1 mm) est celui à retenir pour un marquage fonctionnel ou contractuel, qui doit rester net après microbillage et teinture.

- La **gravure (en creux)** vieillit mieux que le relief (pas d'arrachement au microbillage) ; le relief est plus lisible sur pièce brute.
- Placer les textes sur des faces **orientées vers le haut ou verticales** ; éviter les faces downskin.
- MJF : le MJF grave lettres et motifs à haute résolution ; pour un marquage garanti (surtout si contractuel), viser une profondeur ou hauteur d'au moins **1 mm** — le contraste gris/noir après teinture est faible.

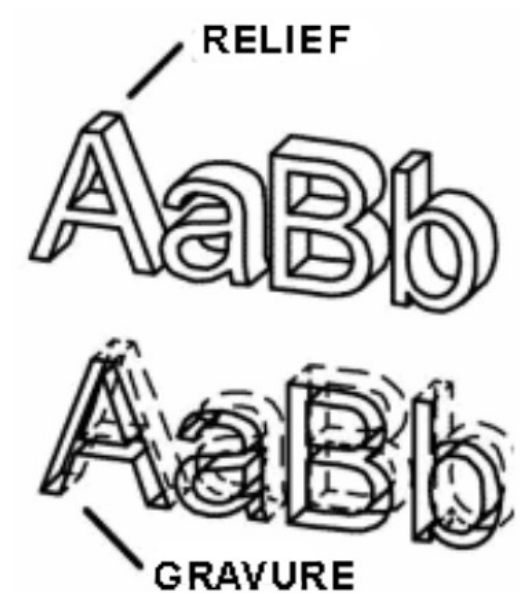


Figure — Marquage en relief ou en gravure, profondeur/hauteur ≥ 1 mm.

11.2 Textures et traçabilité

- **Textures fonctionnelles** : grip (picots 0,5–1 mm), masquage des défauts d'aspect (grain uniforme), guidage tactile. Les textures s'impriment sans surcoût — les utiliser.
- **Traçabilité série** : intégrer référence, indice et cavité de version dans la CAO (gravure) ; pour des numéros de série uniques, générer des variantes de fichier (les prestataires acceptent les lots multi-fichiers).

PARTIE 4 — OPTIMISATION ET MISE EN FABRICATION

Chapitre 12 — Optimisation de la résistance mécanique

La liberté géométrique du lit de poudre permet de mettre la matière **là où passent les efforts** — c'est ici que l'AM dépasse le simple remplacement d'une pièce usinée ou injectée.

12.1 Raidissage : nervures, goussets, bossages

Élément	Règle de dimensionnement
Nervure	épaisseur = 0,6–1× la paroi raidie ; hauteur ≤ 5× son épaisseur ; congé en pied $r \geq 0,5 \times$ épaisseur
Gousset (angle entre deux parois)	triangle à 45°, épaisseur = paroi, jambes $\geq 4 \times$ épaisseur
Bossage autour d'un trou sollicité	$\varnothing \geq 2 \times \varnothing$ trou, raccordé à la paroi par nervures ou congés

Contrairement à l'injection, pas de retassure visible ni de contrainte de démoulage : les nervures peuvent être aussi épaisses que la paroi et orientées librement. Le quadrillage de nervures remplace avantageusement tout épaississement massif (moins de matière = moins cher **et** moins de déformation, voir ch. 6).

12.2 Gérer l'anisotropie et les concentrations de contrainte

- Le sens Z (empilement des couches) est le point faible : SLS perd 10–20 % de résistance et surtout beaucoup d'allongement à rupture en Z ; MJF est plus isotrope mais Z reste le sens le moins ductile. **Règle : orienter les contraintes de traction et de flexion principales dans le plan XY**, ou dimensionner avec les propriétés Z (fiches matériaux, valeurs minimales).
- Congés systématiques** sur tous les angles rentrants ($r \geq 0,5 \times$ l'épaisseur locale, $r \geq 1$ mm par défaut) : un angle vif est une entaille, et l'effet d'entaille se cumule avec la faiblesse inter-couches.
- Éviter les entailles géométriques dans les zones fléchies (gorges, marquages, changements brusques de section).

12.3 Allègement avancé et consolidation

- Lattices** : remplissage de volumes par treillis (règles du ch. 6) ; utile pour rigidité spécifique, absorption d'énergie, échange thermique.
- Optimisation topologique** : les formes organiques issues du calcul s'impriment sans surcoût ; vérifier ensuite parois mini (ch. 1) et dépoudrage (ch. 6).
- Consolidation de fonctions** : regrouper n pièces (visserie, guides, supports, clips) en une seule — supprime des assemblages, des tolérances cumulées et du coût. Réflexe à activer à chaque re-conception.
- Fatigue et fluage** : le PA flue sous charge constante et sa tenue en fatigue est inférieure aux valeurs statiques — pour une pièce chargée en permanence, garder un coefficient de sécurité ≥ 2 sur la limite statique, davantage en Z.

Erreur fréquente : reprendre telle quelle une pièce d'injection (dépouilles, parois constantes de 2 mm, nervures fines) au lieu de re-concevoir pour l'AM — on paie alors les contraintes des deux procédés sans les avantages d'aucun.

Chapitre 13 — Préparation des fichiers CAO

Un fichier propre et complet évite l'essentiel des allers-retours avec le prestataire. Dernière étape avant fabrication — et premier motif de retard quand elle est bâclée.

13.1 Formats et export

Format	Usage	Recommandation
3MF	format d'envoi recommandé	unités, couleur et métadonnées embarquées, fichier léger

Format	Usage	Recommandation
STL	standard universel	acceptable ; vérifier unités (mm) et résolution
STEP	référence géométrique exacte	joindre en complément pour les cotes critiques / reprises d'usinage

Résolution de tessellation (export STL binaire ou ASCII, unités en mm) : flèche (chordal tolerance) 0,02–0,05 mm, angle 1–10° — un réglage courant chez les prestataires MJF est **0,05 mm / 1°**. En dessous : fichier énorme sans gain (la machine ne résout pas mieux que ~0,08 mm) ; au-dessus : facettes visibles sur les surfaces courbes.

13.2 Contrôle du maillage

Vérifier avant envoi (Netfabb, Meshmixer, 3D Builder, contrôle intégré des slicers) :

- maillage **étanche** (watertight) : aucune arête libre, aucun trou ;
- **normales** orientées vers l'extérieur ;
- pas d'**auto-intersections** ni de coques dupliquées superposées ;
- une **seule pièce par fichier** (pas d'assemblage exporté d'un bloc) ;
- échelle : la pièce fait bien ses dimensions en **mm** à l'ouverture.

13.3 Informations à joindre à la commande

Pour chaque référence : matériau et technologie (MJF / SLS), finition (ch. 5), quantité, **cotes critiques** (plan PDF ou STEP annoté), **orientation imposée** le cas échéant (clips, charnières, faces d'aspect — ch. 5, 9, 12), exigences particulières (étanchéité, contact alimentaire, couleur).

Check final avant envoi : parois $\geq$ mini (ch. 1) · trous et jeux aux valeurs guide (ch. 2–3) · cavités percées (ch. 6) · maillage étanche à l'échelle · fiche d'accompagnement complète.

ÉTUDE DE CAS — Carter en U grand format (PA12 SLS)

Pièce : carter de protection en U inversé, 137 × 260 × 140 mm, épaisseur uniforme 3 mm, voûte supérieure cintrée, deux flancs plans parallèles reliés par deux traverses, fixation par trous $\varnothing$ 10 mm traversants en partie basse (à 15 mm du bord).

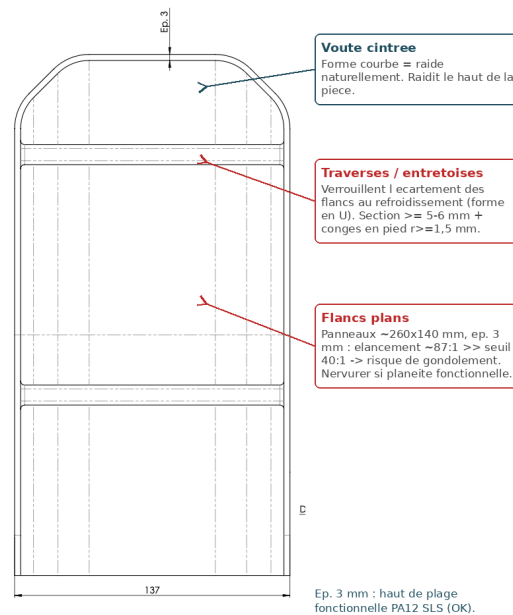


Figure 1 — Vue de face : flancs plans, traverses d'entretoisement et voûte cintrée.

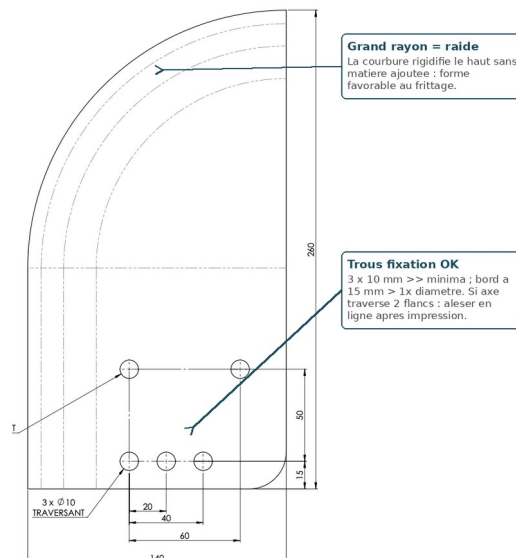


Figure 2 — Vue de profil : voûte à grand rayon (raidissant le haut) et trous de fixation.

Analyse de l'épaisseur

- **3 mm est la bonne valeur** : haut de la plage "paroi fonctionnelle" PA12 SLS (ch. 1). Épaissir davantage serait contre-productif : plus de masse chaude $\rightarrow$ plus de retrait différentiel et de coût.
- **Le vrai sujet n'est pas la résistance mais la déformation** : les flancs sont des panneaux plans de $\sim 260 \times 140$ mm, soit un élanement $\approx 87:1$ — bien au-delà du seuil de $\sim 40:1$ (ch. 1). La voûte cintrée raidit efficacement la partie haute (la courbure est une forme favorable au frittage), mais les jambes plates restent exposées au gondlement.
- **Écarts à anticiper** : $\pm 0,3\%$ $\rightarrow \pm 0,8$ mm sur la hauteur de 260 mm (ch. 4), plus une flèche possible de 0,5–1 mm au centre des panneaux non tenus. Si la planéité des flancs est fonctionnelle (plaquage sur un support), ajouter un nervurage léger côté intérieur (nervures 2–3 mm, hauteur 10–15 mm — ch. 12).

Analyse des traverses (entretoises)

- Cas typique de la **forme en U à branches longues** (ch. 7) : au refroidissement, les deux jambes tendent à se refermer. Les traverses verrouillent l'écartement intérieur — bonne parade, au bon endroit (une en zone médiane, une en partie basse, là où la voûte ne raidit plus).
- Elles rigidifient aussi la pièce en service (torsion du U) et ne posent aucun problème de dépoudrage (structure ouverte).
- **Vigilances** : section $\geq 5-6$ mm sur une portée de ~ 130 mm (une traverse de 3 mm flambe et n'entretoise rien — le " $\varnothing \geq 3$ mm" du ch. 1 est un minimum d'imprimabilité, pas de rigidité) ; **congés en pied** à chaque jonction traverse/flanc ($r \geq 1,5$ mm : zone de rupture typique, effet d'entaille cumulé à la faiblesse inter-couches) ; si les traverses ne servent qu'à la fabrication, les dessiner **sécables** (amincissement local aux extrémités pour découpe propre après impression).

Points conformes et enseignements

- Conformes d'emblée : trous $\varnothing 10 \geq$ minima (ch. 2), distance au bord $15 \text{ mm} > 1 \times \varnothing$, congés de voûte présents, épaisseur uniforme (ch. 1).
- **Trous coaxiaux sur les deux flancs** : sur une pièce de cette taille, deux perçages en vis-à-vis peuvent se décaler de 0,3-0,5 mm l'un par rapport à l'autre. Si un axe doit traverser les deux flancs, imprimer sous-dimensionné et aléser en ligne après impression (ch. 2).
- **À retenir** : sur une grande pièce ouverte, la stratégie gagnante combine une forme naturellement raide (courbure), des entretoises aux zones non raidies et des tolérances resserrées uniquement aux interfaces.



Add-Train — Impression 3D MJF & SLS

Un projet d'impression 3D ? De la revue de fabricabilité (DfAM) à la pièce finie, Add-Train vous accompagne. Envoyez-nous votre fichier pour un devis rapide.

Jonathan Ellero

Fondateur, Add-Train

jonathan@add-train.fr

+33 6 18 29 49 70

add-train.com