

industrialiser avec quelles technologies ?

1. Plastique

technologie	coût pièces	investissement	cycle industrialisation, séries, modifications	points saillants
impression 3D	élevé	très faible (programme) pour des pièces jusqu'à dizaine de cm, machine qqes k€ mais !!! temps passé	qqes jours séries < 10 / 20 modifs aisées	fabrication additive, ne convient pas à toutes les formes !!! aspect et tenues mécaniques & thermiques même si nets progrès !!! sens des couches si besoin de (un peu) résistance mécanique temps de fabrication unitaire important, inadapté pour série excellent (moyennant préparation industrielle initiale) pour pièces requérant une personnalisation individuelle
usinage commande numérique	moyen - élevé	très faible (programme)	qqes jours séries < 100 modifs aisées si même topologie	enlèvement de matière, ne convient pas à toutes les formes modifications légères aisées alternative très économique & rapide : composants standards moulés disponibles sur catalogue peut convenir (moyennant préparation industrielle initiale) à des pièces requérant une personnalisation individuelle
pliage / "tôlerie"	moyen	faible	2 - 6 semaines séries < 200 modifs aisées si même topologie	déformation de matière, ne convient pas à toutes les formes, très adapté à la forme "boîtier" (sorte d'origami basique avec des feuilles de plastique) bel aspect alternative très économique & rapide : boîtiers standards moulés disponibles sur catalogue
thermoformage (soufflage)	faible - moyen	moyen qqes k€ nettement moins cher que moule	1 - 4 mois suivant complexité et taille séries < qqes centaines modifs difficiles	déformation de matière, ne convient pas à toutes les formes, très adapté à la forme "coque" ne convient souvent pas pour plastiques très techniques alternative économique à injection-moulage si forme & matière OK, surtout pour très grosses pièces (e.g. coffre de toit automobile)

injection moulage	faible - ultra-faible	lourd 15k€ → 600 k€	2 - 6 mois suivant complexité séries > qqes centaines modifs difficiles (temps & €)	<p>les moins chères des pièces mécaniques complexes dès que le volume est là mais aucune évolutivité permet des formes complexes (rajouter une forme ne coûter souvent rien) mais !!! démoulage (penser Flanby)</p> <p>compétences spécifiques de conception pièce & moule (Rhône Alpes, Nord Italie, Portugal)</p> <p>modifications asymétriques : creuser un moule est plus facile que de lui ajouter de la matière → si besoin de mise au point, prévoir pièce dans le sens de la retouche peu de possibilités de variantes à part marquages, couleurs et parfois matières</p> <p>alternative low cost et plus rapide pour séries faibles & précision limitée : moules silicone & aluminium</p>
extrusion	ultra-faible - hyper-faible	moyen qqes k€	1 - 4 mois suivant complexité séries > qqes centaines de mètres modifs difficiles	<p>très bon marché mais exclusivement pour pièces de type "nouille" (e.g. profils, goulottes)</p> <p>modifications asymétriques : creuser une filière est plus facile que de lui ajouter de la matière → si besoin de mise au point, prévoir pièce dans le sens de la retouche</p> <p>alternative encore plus économique : profils standards disponibles sur catalogue</p>

Plastique = isolant électrique (même si tous les plastiques ne répondent pas aux normes électriques d'isolation)

2. Métal

technologie	coût pièces	investissement	cycle industrialisation, séries, modifications	points saillants
poinçonnage - emboutissage - découpe commande numérique (yc laser)	moyen	très faible (programme)	qques jours série 1 / 500 modifs aisées	<p>se prête bien aux pièces avec nombreuses variantes contraintes fortes de conception : pas de trous près des bords, nombre de formes limité (≈ 35) ...</p> <p>le choix entre découpe laser et découpe classique par "grignotage" se fait sur des bases économiques et de disponibilité machine du fournisseur</p> <p>capacité d'emboutissage limitée aux faibles déformations</p>
pliage (manuel ou commande numérique)	moyen - élevé	nul (manuel) très faible (CN)	qques jours série < 15 / 500 modifs aisées	<p>se prête bien aux pièces avec variantes contraintes fortes de conception : rayon pliage, pas de trous près des plis, longueur des plis...</p> <p>coûts de démarrage élevés (réglage à chaque nouvelle série) économiquement problématiques pour très faibles volumes</p>
emboutissage - poinçonnage - découpe avec outillage dédié (voire machine dédiée)	faible	lourd 15k€ → 600+ k€	1 - 6+ mois suivant complexité modifs difficiles	<p>qques possibilités de variantes très encadrées (présence ou absence d'un trou ou d'une marque)</p> <p>compromis important entre complexité (donc coût) de l'outillage dédié (voire de la machine dédiée) et la cadence de production donc le coût direct de production de la pièce</p>
usinage commande numérique	moyen - élevé	très faible (programme)	qques jours séries < 100 modifs aisées si même topologie	<p>contraintes de conception : accès des outils, épaisseurs post-usinage</p> <p>peut convenir (moyennant préparation industrielle initiale) à des pièces requérant une personnalisation individuelle</p>
décolletage	très faible - faible	très faible - faible (programme parfois complétés par petits outils dédiés)	qques jours séries > qques 1000 modifs aisées si même topologie	<p>coûts de démarrage élevés uniquement pour pièces révolution de grande série</p> <p>alternative très économique & rapide : composants standards décolletés disponibles sur catalogue (rondelles, bagues, entretoises....)</p>
soudure brasure	très variable en fonction de techno	très variable en fonction de techno	qques jours - qques mois suivant techno	à éviter autant que faire se peut car la répétabilité d'une soudure est une affaire de spécialistes et donc source de coûts voire de rebuts

injection	faible - ultra-faible	lourd 15k€ → 600 k€	2 - 6 mois suivant complexité séries > qqes centaines modifs difficiles (temps & €)	uniquement avec matières de type zamak ou certains bronzes : aspect métallique, résistance mécanique et thermique supérieure mais proche du plastique bon compromis technico-économique pour séries élevées
extrusion	ultra-faible - hyper-faible	moyen qqes k€	1 - 4 mois suivant complexité séries > qqes centaines de mètres modifs difficiles	très bon marché mais exclusivement pour pièces de type "nouille" (e.g. profils, radiateurs en alu) l'aluminium extrudé est un excellent compromis mécanique-thermique-économique modifications asymétriques : creuser une filière est plus facile que de lui ajouter de la matière → si besoin de mise au point, prévoir pièce dans le sens de la retouche alternative encore plus économique : profils standards disponibles sur catalogue
fonderie	moyen	lourd 15k€ → 600+ k€	1 - 6 mois suivant complexité séries > qqes dizaines modifs difficiles (temps & €)	la fonderie est au métal ce que l'injection est au plastique si besoin de précision dimensionnelle le plus souvent une opération de reprise est nécessaire qui accroît coût et délai permet aussi moyennant forts investissements des pièces de très petite série très techniques mais pour ce type de pièces l'impression 3D gagne du terrain (avec coûts pièces forts)
impression 3D	(très) élevé	très faible (programme) machines très coûteuses	qqes jours séries < 8 modifs aisées	technologies émergentes donc instables, à n'utiliser que si l'avantage est réellement irrésistible (e.g. aéronautique) fabrication additive, ne convient pas à toutes les formes !!! aspect et tenues mécaniques & thermiques même si nets progrès !!! sens des couches si besoin de résistance mécanique temps de fabrication unitaire important, inadapté pour série

Métal = conducteur électrique (même si certains métaux [Ag, Cu, Al] sont meilleurs conducteurs que d'autres)

3. Electronique

technologie	coût pièces	investissement	cycle industrialisation, séries, modifications	points saillants
discret (traversant & CMS)	moyen	masques qqes k€ in situ qqes 10 k€	cycle environ 4 semaines + 4 semaines suite à modifs Fichiers CAO permettent masque sérigraphie, programmation pick and place, programmation test in situ	Discret adapté aux premiers prototypes et préséries car les modifications "manuelles" sont possibles. La fabrication aussi peut être manuelle. CMS nécessaire quand recherche de surface faible, seule techno utilisée actuellement en série. Prévoir les points de test in situ. ou d'autres stratégies de tests (recherche de points chauds, laser...) le test fonctionnel ne suffit pas Choisir au maximum des composants standards et un faible nombre de références (résistances, capacités...) Utiliser un composant intégrant 10 transistors plutôt que 10 transistors les composants européens et asiatiques sont différents
intégration (ASIC)	faible	Plusieurs 100 k€	6 mois à un an	Permet d'intégrer un ensemble élevé de fonctions. Nécessite une stabilité du design et une assurance de grandes séries
circuits multicouches	Augmente avec le nb de couches	qqes k€	2 semaines - 2 mois	4 couches est le "standard". Ne pas passer directement du schéma au PCB. Plan de masse(1 couche), plan Vcc (une deuxième couche) Attention aux signaux qui dépendent de l'implémentation Attention à la CEM Limiter le nombre de connexions et de composants, éviter les cartes empilées, embarquer le test au maximum, faire une carte multivariante plutôt que n variantes de cartes
nouvelles technos : 3D, circuits souples	N/A	N/A	N/A	Utiles dans des cas très spécifiques de contraintes de forme et d'usage, limiter le nombre de composants sur de tels circuits Se faire accompagner par des leaders de ces technos

technologie	coût pièces	investissement	cycle industrialisation, séries, modifications	points saillants
firmware / numérique	0	temps d'étude		Utiliser le firmware pour gérer des réglages, des variantes privilégier l'open source définir la stratégie d'update (client ou fabricant) embarquer le test
analogique				Complexe à concevoir, obligatoire de se faire aider dans le développement par le fabricant, le routage est fondamental, CEM. Designer avec des fonctions déjà connues

4. Assemblage

technologie	coût assemblage	investissement	cycle industrialisation, séries, modifications	points saillants
manuel	faible - moyen	très faible - moyen qqes 100 € → qqes 10 k€	qqes jours → qqes mois série 1 - qqes 1000 modifs plutôt aisées	<p>coûts salariaux ouvriers très dépendants du pays : France ≈8, Centre-Europe ≈3, Tunisie & Chine ≈2,5, Inde ≈1 avec 3 immenses bémols :</p> <ul style="list-style-type: none"> - productivité (yc technicité & qualité) liée au salaire, - besoin d'encadrement d'autant plus fort que les salaires ouvriers sont bas or les coûts d'encadrement descendent moins vite que les coûts ouvriers, - ne pas oublier coût et délai de transport <p>→ toujours raisonner en coût complet rendu (yc rebuts & stocks) et pas en taux horaire ouvrier</p> <p>la conception ergonomique des postes de travail et de leur approvisionnement influe grandement la productivité : des petits investissements sont généralement très vite payés même en pays low cost mais limitent l'aptitude aux modifications</p> <p>un humain [mal] payé aux pièces se moque des consignes : si erreur possible --> détrompage (donc investissement) ou à défaut contrôle (donc coût supplémentaire direct & rebuts)</p>
[semi-] automatique	ultra-faible → faible	moyen - très lourd qqes 10 k€ >>>>	qqes mois → 30 mois série >> qqes 1000 modifs très limitées	<p>les premières raisons pour automatiser sont la qualité et la stabilité des flux plus que le coût direct</p> <p>les fabrications dites 100% automatiques ne le sont jamais : il y a toujours du personnel de supervision, de maintenance & de contrôle et très souvent du personnel pour approvisionner les machines ce personnel est nettement plus spécialisé que du montage manuel : bien calculer le payback sur coût complet rendu avant d'automatiser</p> <p>nécessite toujours une mise au point longue</p> <p>une automatisation mesurée dans un pays "medium cost" (Centre-Europe, Tunisie...) est souvent un bon compromis</p>

5. Divers

technologie	coût fonction	investissement	cycle industrialisation, séries, modifications	points saillants
revêtement métallique de pièces métalliques	faible - moyen (très) lourd si revêtement partiel	faible sauf si très grandes séries	qqes jours → qqes mois (grandes séries) toutes séries (mais investissement différent) très peu dépendant des évolutions de la pièces	opération supplémentaire avec rupture de charge : calamité délai et coût à chaque fois que c'est possible préférer une matière première pré-revêtue à un traitement spécifique de revêtement post-fabrication des pièces impératif anti-corrosion sur pièces en acier impératif pour certains contacts électriques (Ag, Sn, Ni...) impératif vis à vis de certains types de frottements !!! revêtement des "coins & recoins" pas très green : les contraintes écologiques accroissent beaucoup les coûts
revêtement métallique de pièces plastiques	faible - moyen (très) lourd si revêtement partiel	faible sur le papier, souvent moyen+ dans la réalité	qqes jours → qqes mois (grandes séries) toutes séries (mais investissement différent) tolère les évolutions pièce si même topologie	opération supplémentaire avec rupture de charge : calamité délai et coût si besoin esthétique préférer des matières plastiques d'aspect naturellement métallisé si besoin de blindage CEM, bien réfléchir aux alternatives (boîtier métallique, pièce de blindage séparée) à n'utiliser que si raison impérative
peinture de pièces métalliques	faible - moyen (très) lourd si peinture partielle	faible sauf si très grandes séries	qqes jours → qqes mois (grandes séries) toutes séries (mais investissement différent) très peu dépendant des évolutions de la pièces	opération supplémentaire avec rupture de charge : calamité délai et coût à chaque fois que c'est possible préférer une matière première pré-peinte à une peinture post-fabrication des pièces impératif anti-corrosion sur pièces visibles en acier !!! peinture des "coins & recoins" pas très green : les contraintes écologiques accroissent beaucoup les coûts

technologie	coût fonction	investissement	cycle industrialisation, séries, modifications	points saillants
peinture de pièces plastiques	moyen	faible sur le papier, souvent moyen+ dans la réalité	qques mois toutes séries (mais investissement différent) tolère les évolutions pièce si même topologie	qualité difficile à obtenir et à conserver préférer matière plastique injectée teintée dans la masse !!! peinture des "coins & recoins" à n'utiliser que si raison impérative
sérigraphie - impression	très faible - faible grandes variations en fonction de l'aspect	faible mais à surveiller (notamment durée de vie)	qques jours - qques semaines toutes séries (mais investissement différent) changement du motif imprimé aisé changement de la zone imprimée = refaire	mal souvent nécessaire si coût impression > 3% coût produit alors se poser beaucoup de questions (à commencer par qu'avons-nous vraiment besoin de marquer sur la pièce ?)
dépose d'étiquette	très faible - faible grandes variations en fonction de l'aspect	très faible - faible mais à surveiller (notamment durée de vie)	qques jours toutes séries (mais investissement différent) changement du motif imprimé aisé	mal souvent nécessaire si coût étiquette + dépose > 3% coût produit alors se poser beaucoup de questions (à commencer par qu'avons-nous vraiment besoin d'étiqueter sur la pièce ?)

technologie	coût fonction	investissement	cycle industrialisation, séries, modifications	points saillants
emballage	≈ 3% - 8% coût produit	variable suivant techno	qqes jours - 3 mois toutes séries (mais investissement différent) aptitude aux modifications très variable en fonction des technologies	<p>un mal souvent nécessaire à la fois en amont (pièces, sous-ensembles) et en aval (produits finis) → transformer l'emballage du produit fini en support publicitaire surtout que emballage = première impression du client + souvent seule impression du distributeur → transformer l'emballage du produit fini en accessoire utile au client (e.g. gabarit de pose) → réutiliser / consigner / recycler emballages des pièces et sous-ensembles</p> <p>de multiples technologies très différentes : se faire aider par un spécialiste multi-techno (≠ fournisseur d'une techno) est souvent un investissement profitable</p> <p>rendre les emballages aisés à recycler et/ou jeter (e.g. facile à plier pour rendre plat) privilégier les standards (Galia est une bonne base de départ http://www.galia.com/) !!! dimensions des packaging standard : les dépasser de peu suffit à changer de format voire être hors format !!! si transport maritime → emballage spécial approprié</p> <p>raisonner en coût complet : coût emballage + coût des rebuts évités + coûts recyclage ou poubelle</p> <p>si coût emballage > 5% - 8% coût produit alors se poser beaucoup de questions (à commencer par quelles fonctions avons-nous besoin de protéger ?)</p>
transport	≈ 4% - 8% coût produit si <2000 km sans barrière physique ni douanière sinon ≈ 8% - 15% [20%]	généralement nul	qqes jours - qqes semaines toutes séries peu sensible aux modifications sauf changement radical de packaging	<p>un autre mal nécessaire à la fois en amont (pièces, sous-ensembles) et en aval (produits finis) plus on s'insère dans des flux préétablis ("groupages") moins c'est coûteux mais moins c'est flexible</p> <p>se faire aider par un spécialiste multi-modal s'assurer des douanes et autres "formalités administratives" (!!! délai) : se faire aider par un "spécialiste" local</p> <p>si seuils coûts produit dépassés alors se poser beaucoup de questions</p> <p>!!! si transport maritime → emballage spécial approprié</p>