



**POLYTECHNIQUE  
MONTREAL**

**UNIVERSITÉ  
D'INGÉNIERIE**

# MEC3900/AER3900 : Projet intégrateur 3

Enseignant : Ramez Zalat

**Cours 5 : Ressources & Intro DFMA**



Suivis



Réduction de coût et DFMA

# Calendrier du trimestre

Vous devriez être dans l'étude préliminaire (brainstorming, recherche de concepts) sur la base de votre revue de documentation et de votre cahier des charges.

Ma recommandation :

- Choix de design avant le cours #6
- Présentez votre sélection à votre client et/ou votre directeur !

Court chapitre (2h + 1h évaluation asynchrone) sur le système professionnel québécois

Atelier 3 : mini revue de design, présentez votre solution

DIMANCHE	LUNDI	MARDI	MERCREDI	JEUDI	VENDREDI	SAMEDI
Août 25	26	27 Cours 0 2A et 3A : Atelier 1	28	29	30 1A : Atelier 1	31
Septembre 1	2	3 Cours 1 2B et 3B : Atelier 1	4	5	6 1B : Atelier 1	7
8	9 Limite choix de cours	10 Cours 2 2A et 3A : Atelier 2	11	12 Fiche	13 1A : Atelier 2	14
15	16	17 Cours 3 2B et 3B : Atelier 2	18	19	20 1B : Atelier 2	21
22	23	24 Cours 4	25	26 Rapport initial	27	28
29	30	Lundi 1	2	3	4	5
Octobre 6	7	8 Cours 5 Suivi individuel	9	10	11 Suivi individuel	12
13	14	15 Suivi individuel (Zoom)	16	17	18	19
20	21	22 Cours 6 Suivi individuel	23	24	25 Suivi individuel	26
27	28	29 Cours 7 Suivi individuel	30	31	1 Suivi individuel	2
Novembre 3	4	5 Cours 8 2A et 3A : Atelier 3	6	7	8 1A : Atelier 3	9
10	11	12 Test OIQ 2B et 3B : Atelier 3	13	14	15 1B : Atelier 3	16
17	18	19 Cours 9 2A et 3A : Atelier 4	20	21	22 1A : Atelier 4	23
24	25	26 Cours 10 2B et 3B : Atelier 4	27	28	29 1B : Atelier 4	30
Décembre 1	2	3 Cours 11	4 Présentations Rapports	5	6	7

Pour les semaines qui suivent :

- Pas de remises
- Pas de TD
- Donc : priorisez les **tâches à haute valeur ajoutée**

Tête-à-tête (10 minutes) avec votre chargé de TD

Horaire des suivis affiché sur Moodle

# Suivis individuels

Groupe 01L			Groupe 02L			Groupe 03L (Zoom)		
Jean-Paul Lemarquis			Jean-Paul Lemarquis			Ramez Zalal		
<b>4 octobre 2024</b>	<b>Vendredi 12h45-14h35</b>		<b>8 octobre 2024</b>	<b>Mardi 15h45-17h35</b>		<b>8 octobre 2024</b>	<b>Mardi 18h30-20h20</b>	
12h45 - 13h00	Rainville, Christophe	Présent	15h45 - 16h00	Bourassa, Zacharie		18h30 - 18h45	Ghibaudo, Nicolas	
13h05 - 13h20	Yamine, Michael	Présent	16h05 - 16h20	Morales Chaurette, Gabriel		18h50 - 19h05	Zvezdin, Patrick	
13h25 - 13h40	Bal, Victor Édouard	Absent	16h25 - 16h40	Malenfant-Poulin, Rose		19h10 - 19h25	Hazboun, Alexandre	
13h45 - 14h00	Ethier, Théo	Présent	16h45 - 17h00	Tremblay, Philippe		19h30 - 19h45	Tem, Tommy	
14h05 - 14h20			17h05 - 17h20	Gaudio, Lucas		19h50 - 20h05	Koriko Issifou, Hawa	
14h25 - 14h40	Dupont-Nadeau, Rafah	Présent	17h25 - 17h40	Gonzalez Contreras, Hernan Felipe		20h10 - 20h25	Casgrain, Simon	
<b>11 octobre 2024</b>	<b>Vendredi 12h45-14h35</b>		<b>Groupes 1 et 2</b> Jean-Paul Lemarquis			<b>15 octobre 2024</b>	<b>Mardi 18h30-20h20</b>	
12h45 - 13h00	Raffali, Mehdi		<i>En cas de difficulté pour vous d'être présent à cette date</i>			18h30 - 18h45	Brochu, Jacob	
13h05 - 13h20	Santonja, Emeline		<i>1e: négocier une permutation avec une ou un collègue</i>			18h50 - 19h05	Charland, Francis	
13h25 - 13h40	Bel, Emilien		<i>2e: me contacter pour envisager une alternative</i>			19h10 - 19h25	Demimuid, Arthur	
13h45 - 14h00	Gravel, Julianne					19h30 - 19h45	Gutierrez, Pablo	
14h05 - 14h20	Gaiardo, Nicolas					19h50 - 20h05	Cartier, Victor	
14h25 - 14h40	Lamartine Rainville, Matias					20h10 - 20h25	Boilard, Charles	
14h45 - 15h00	Beirouty, Sami							
<b>25 octobre 2024</b>	<b>Vendredi 12h45-14h35</b>		<b>22 octobre 2024</b>	<b>Mardi 15h45-17h35</b>		<b>22 octobre 2024</b>	<b>Mardi 18h30-20h20</b>	
12h45 - 13h00	Rinfret, Christophe		15h45 - 16h00	Fiorello Riina, Cédric		18h30 - 18h45	Rizkalla, Antoine	
13h05 - 13h20	Hourcade, Emmanuel		16h05 - 16h20	Hechiche, Omar Yannik		18h50 - 19h05	Eddahir, Youssef	
13h25 - 13h40	Gosselin, Christophe		16h25 - 16h40	Landry, Audrey-Ann		19h10 - 19h25	Seguin, Xavier	
13h45 - 14h00	Hana, Manal		16h45 - 17h00	Kanapathippillai, Shajeevan		19h30 - 19h45	Robichaud, Fanny	
14h05 - 14h20	Turcotte, Cédric		17h05 - 17h20	Ben Khaled, Omar		19h50 - 20h05	Zhu, Jean	
14h25 - 14h40	Gaouette, Émile		17h25 - 17h40	Le Pouhaër, Joan		20h10 - 20h25	Pâquet, Louis-Alexis	
						20h30 - 20h45	Robert, Mathieu	
<b>1 novembre 2024</b>	<b>Vendredi 12h45-14h35</b>							
12h45 - 13h00	Banihashemi, Diba							
13h05 - 13h20	David, Alessandro							
13h25 - 13h40	Morin, Xavier							
13h45 - 14h00	Goyette, Loïc							
14h05 - 14h20	Rochon, Océane							
14h25 - 14h40	Girouard, Louis-Charles							

Travaux dirigés

Inscription pour les suivis individuels : >>Cliquez ici<<

[Lien direct](#)

## Auto-évaluations sur Moodle

Répondez avec sérieux et intégrité. Vous démontrez votre professionnalisme en appliquant l'éthique de l'ingénieur dans vos réponses à cette auto-évaluation.

- Auto-évaluation #1 de 3 - 30 septembre au 4 octobre (Durée : 5 min)
- Auto-évaluation #2 de 3 - 28 octobre au 1er novembre (Durée : 5 min)
- Auto-évaluation #3 de 3 - 18 novembre au 22 novembre (Durée : 5 min)

## Facturation/imputation des heures

Facture (détaillée semaine par semaine) à remettre à la fin du projet sur Moodle.

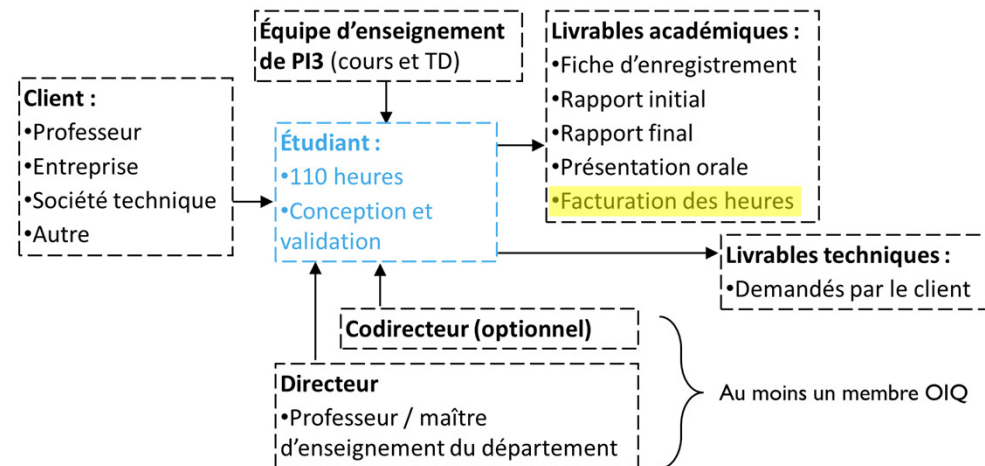
- Gabarit optionnel disponible sous peu sur Moodle.

Pour fins de simplification, considérez dans le cadre du projet les tarifs suivants :

- 80 \$ / hre pour vous (étudiant PI3)
- 120 \$ / hre pour votre directeur ou tout autre membre du personnel de Polytechnique dont vous sollicitez la collaboration.

**Attention :** n'envoyez pas une vraie facture à votre client à la fin du projet. Cet exercice a pour buts de...

- 1) Vous faire réaliser la valeur du temps d'ingénierie
- 2) Vous faire prendre de l'expérience dans la gestion de projets





Suivis



**Réduction de coût et DFMA**

**Réduction de coût  
et  
*Design for Manufacturing and Assembly  
(DFMA)***

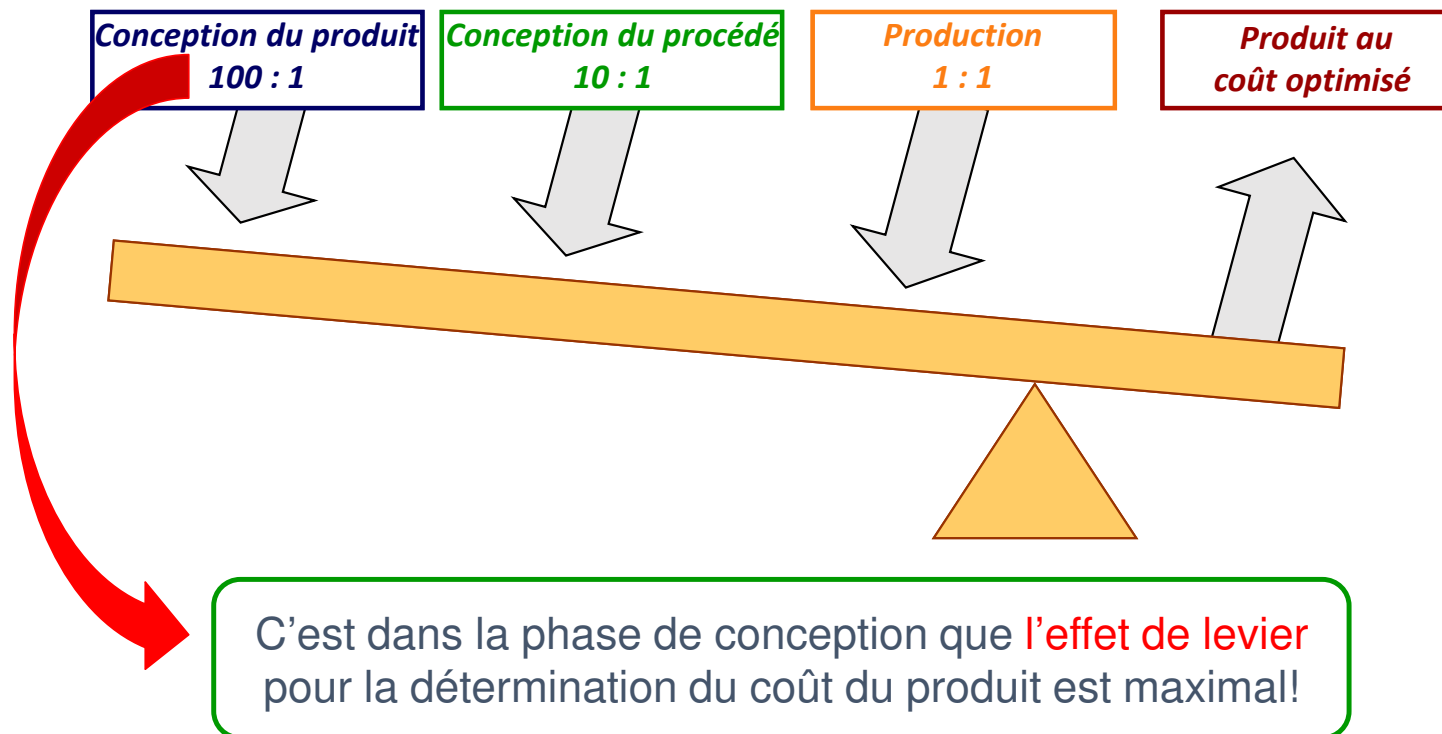


## Réduction de coût et DFMA

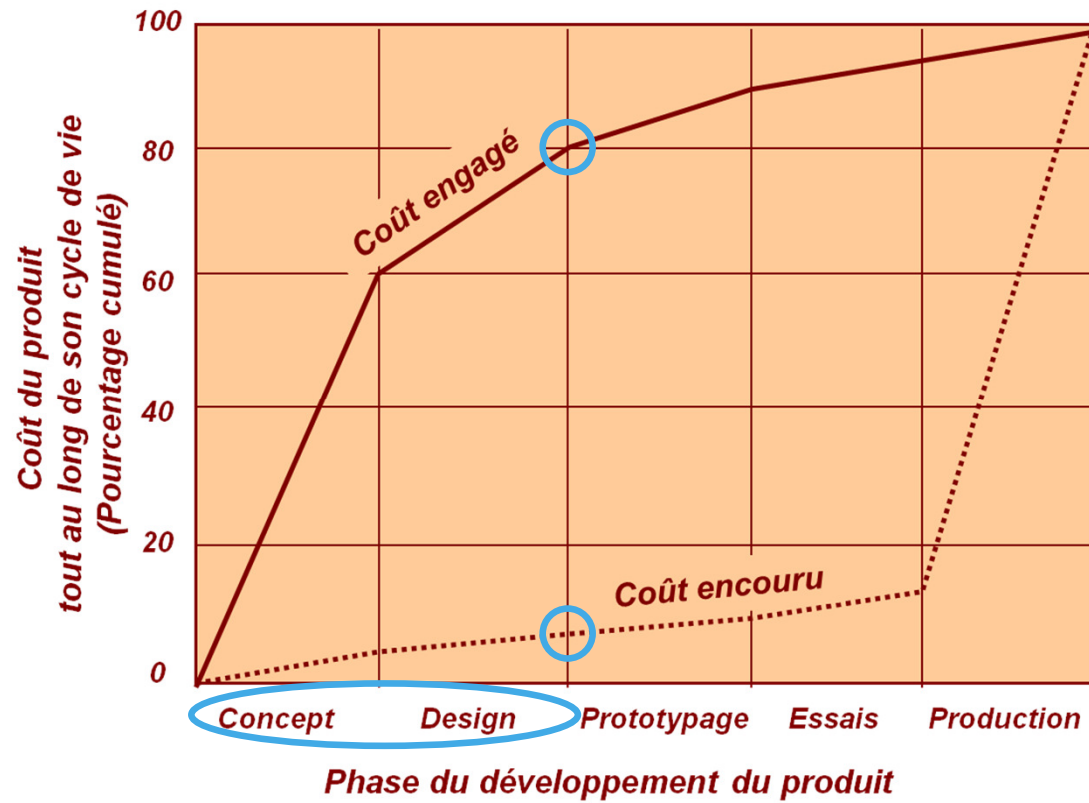
C'est dans la phase de conception que le levier pour la détermination du coût du produit est maximal!

- 70 à 80% du coût d'un produit...
  - ... déterminé dès la phase de conception
- 20 à 50% des coûts de la non-qualité...
  - ... générés dès la phase de conception
- Alors que l'ingénierie...
  - ... ne représente en gros que 5% à 8% du coût du produit

## Réduction de coût et DFMA



## Réduction de coût et DFMA



## Réduction de coût et DFMA

Méthodes et concepts appliqués dans la démarche

a) Méthode du coût cible

- Commençons pas le Prix de vente (PV)...
- Deux (2) approches pour déterminer un Prix de vente
  1. Approche «Comptable»
    - Le PV d'un produit est déterminé par son coût
  2. Approche «Marketing», ou axée sur le client
    - Le PV d'un produit est basé sur ce que le marché est prêt à payer pour en faire l'acquisition
    - Ou sur la stratégie compétitive de l'entreprise
- Le souhait, l'objectif:
  - Que les deux approches donnent le même résultat...
  - ... c.-à-d., le même prix de vente



## Réduction de coût et DFMA

Méthodes et concepts appliqués dans la démarche

a) Méthode du coût cible (suite)

### 1. Approche comptable

$$\text{Prix de vente (PV)} = \text{Coût des produits manufacturés (CPM)} + \text{Marge brute (MB)}$$

- Coût des produits manufacturés (CPM) couvre:
  - Matières premières + Main d'œuvre directe + Frais généraux de fabrication (FGF)
- Marge brute (MB) couvre:
  - Coûts de vente + Administration + Profit brut
- Taux de marge brute (% de MB):
  - $( \text{Marge brute (MB)} / \text{Prix de vente (PV)} ) \times 100$
  - Typiquement: 20% à, idéalement, 35%
  - Fixé par l'entreprise

## Réduction de coût et DFMA

Méthodes et concepts appliqués dans la démarche

a) Méthode du coût cible (suite)

### 2. Approche marketing, axée sur le client

Prix de vente (PV) = Ce que le client est prêt à payer

- Taux de marge brute (% de MB) :
  - Taux souhaité => établi par l'entreprise
- Coût des produits manufacturés (CPM) :
  - Une **cible** est établie en fonction du PV et du % de MB:

Coût des produits manufacturés (CPM) = ( 100 - % de MB ) X Prix de vente (PV)

Méthode du coût cible

## Réduction de coût et DFMA

Méthodes et concepts appliqués dans la démarche

a) Méthode du coût cible (suite)

En résumé – Approche comptable VS Approche marketing

1. Approche comptable

$$\text{Prix de vente (PV)} = \text{Coût des produits manufacturés (CPM)} + \text{Marge brute (MB)}$$

2. Approche marketing, axée sur le client

$$\text{Coût des produits manufacturés (CPM)} = (100 - \% \text{ de MB}) \times \text{Prix de vente (PV)}$$

Méthode du coût cible

Ce que le client est prêt à payer

## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche

#### a) Méthode du coût cible (suite)

- Le souhait, l'objectif, c'est que les deux approches donnent le même résultat
  - ... c.-à-d., le même prix de vente (PV)

L'OBJECTIF !

Prix de vente  
(PV)

=

Prix de vente  
(PV)

Approche comptable

Approche marketing

- ... ou encore, le même coût des produits manufacturés (CPM)

Coût des produits  
manufacturés  
(CPM)

=

Coût des produits  
manufacturés  
(CPM)

Approche comptable  
(coût RÉEL)

Approche marketing  
(coût CIBLE)

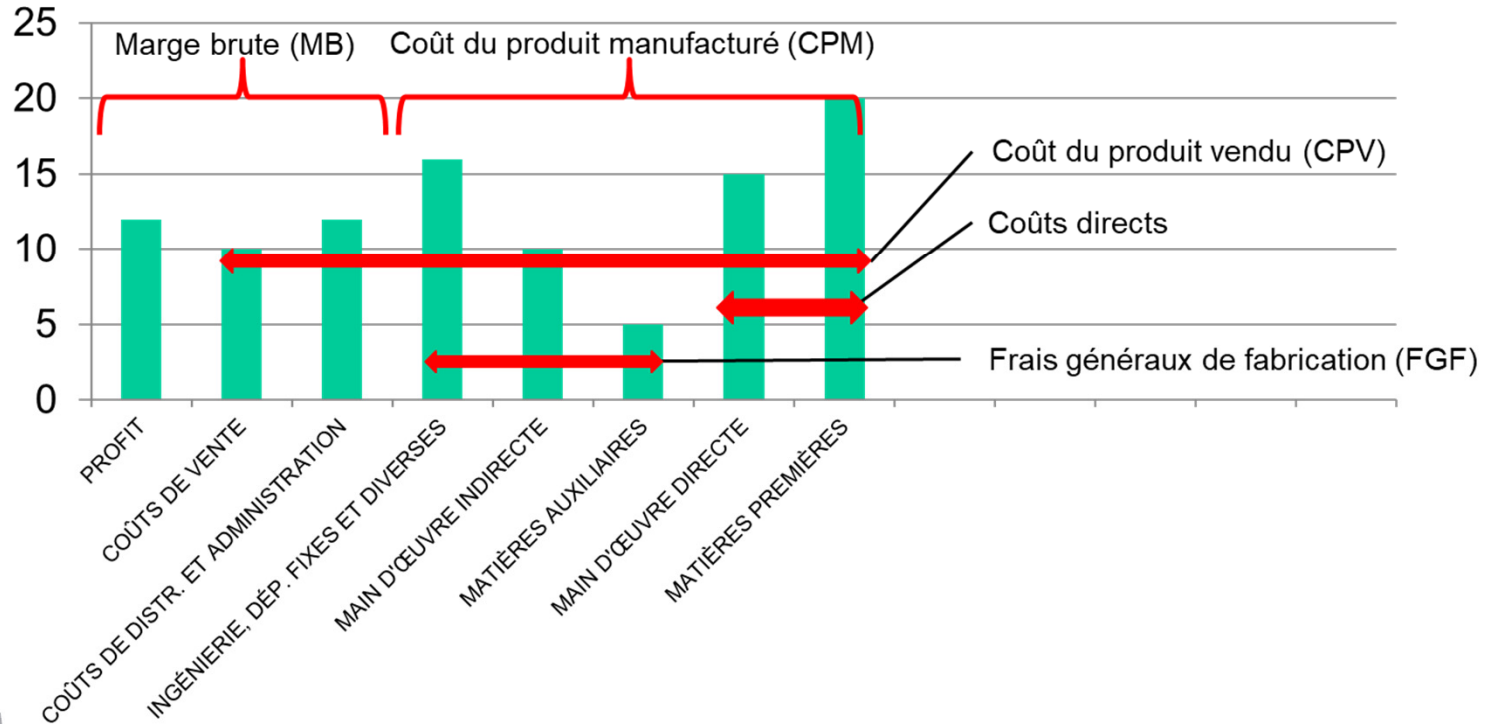


# Réduction de coût et DFMA

Méthodes et concepts appliqués dans la démarche

a) Méthode du coût cible (suite)

Éléments du coût d'un produit vs son prix de vente- Rappel



## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche d) Analyse de la valeur

- Qu'est-ce que l'analyse de la valeur?
  - «Méthode systématique qui vise à obtenir, pour un produit donné, le **meilleur rapport** entre la **satisfaction des besoins** du clients et les **coûts engagés** pour réaliser ce produit»
    - Référence : Hydro-Québec, *L'analyse de la valeur*
  - But de l'analyse de la valeur:
    - Répondre aux besoins clients
    - Analyser les coûts de chacune des fonctions que le produit doit remplir
    - Éliminer les coûts inutiles
    - Optimiser la valeur d'un produit

## Réduction de coût et DFMA

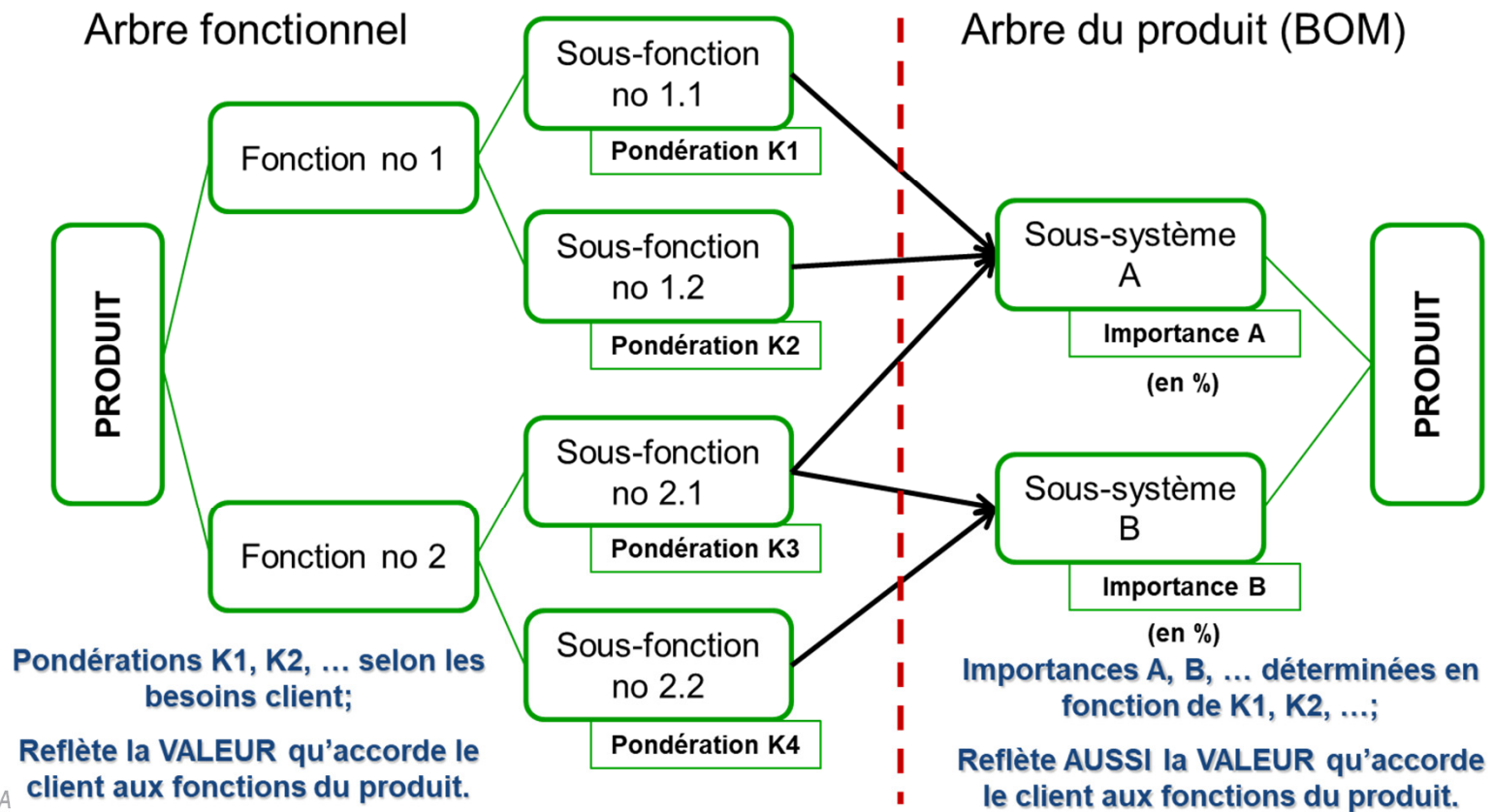
### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche d) Analyse de la valeur (suite)

- Définition de la valeur d'un produit:
  - La valeur est un concept
  - Ne peut être chiffrée
  - Directement proportionnelle à la satisfaction
  - Inversement proportionnelle aux coûts

$$\text{Valeur} = \frac{\text{Satisfaction des besoins client}}{\text{Coût du produit}}$$

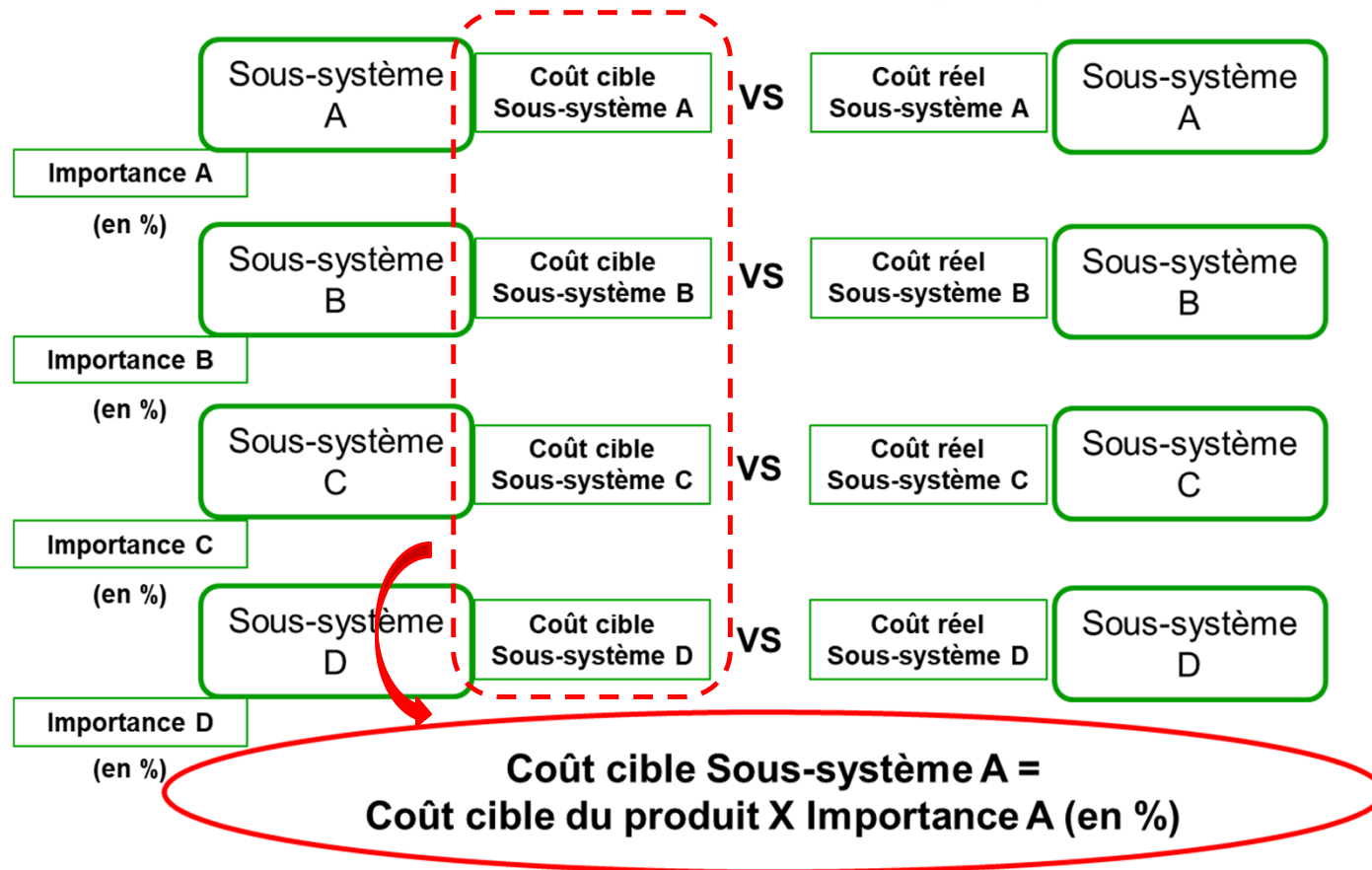
## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche d) Analyse de la valeur (suite)



## Réduction de coût et DFMA

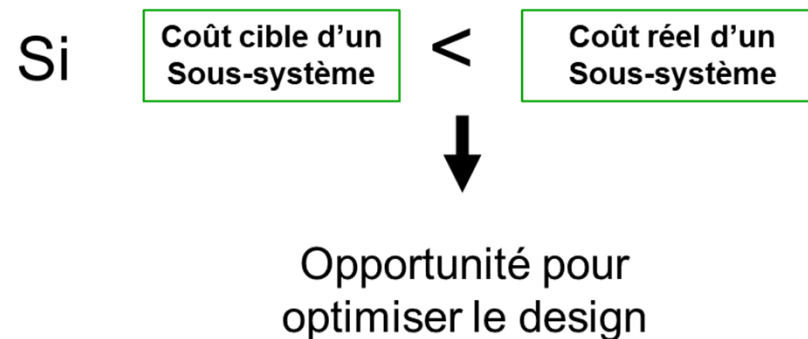
### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche d) Analyse de la valeur (suite)



## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche d) Analyse de la valeur (suite)

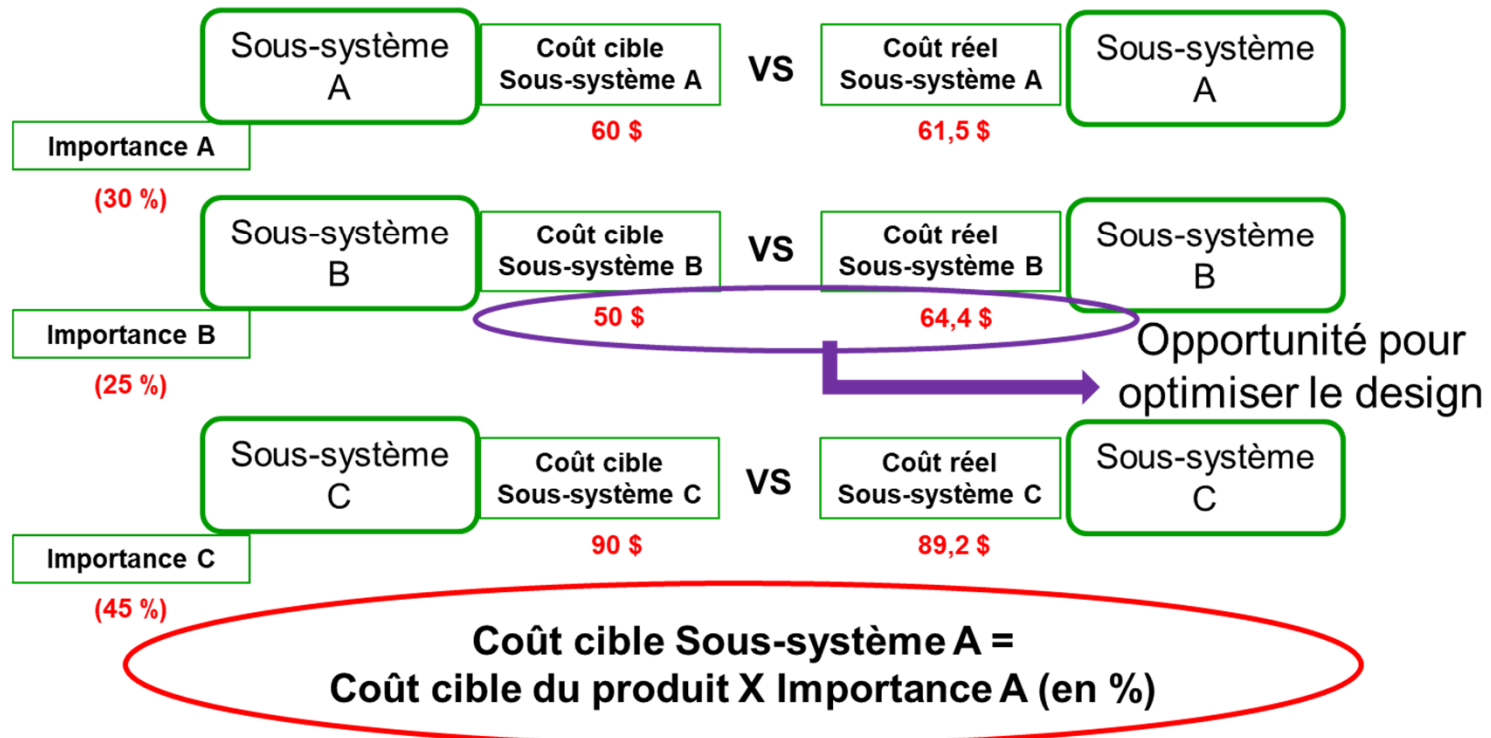
- Lorsqu'il y a des écarts...
  - Entre le coût cible...
  - ... et le coût réel (actuel ou projeté) des sous-systèmes qui remplissent les différentes fonctions et sous-fonctions désirées...
  - Alors il faut **optimiser** le ratio en optimisant le design
  - Il faut générer **des idées** pour optimiser le design



## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche d) Analyse de la valeur (suite)

- Exemple: un produit dont le coût réel est de **215,10 \$**
  - Si son coût cible est établi à **200 \$**, alors...



## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche d) Analyse de la valeur (suite)



- Quelques questions pertinentes à la recherche d'idées:
  - Ce sous-système contribue-t-il à donner de la valeur au produit?
  - A t'on besoin de toutes ces caractéristiques?
    - Questionner la pertinence des fonctions identifiées;
    - Questionner les niveaux et flexibilités associés aux critères (réf.: CRI-NI-FLEX);
  - Y a-t-il un autre moyen d'obtenir la même fonction?
    - Existe-t-il un élément standard pour remplacer du « sur mesure »
    - Y a-t-il des pièces ou de la matière première à acheter moins cher chez d'autres fournisseurs (approvisionnement)?
  - Y a-t-il moyen de réduire le nombre de pièces (totales et différentes)
  - Peut-on fabriquer différemment?
  - Peut-on assembler différemment?
  - L'outillage est-il approprié?

**DFMA**



## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA)

- En quoi consiste le DFMA:
  - Méthodologie de conception en fonction des contraintes d'assemblage et de fabrication
  - Présente un ensemble de lignes directrices, principes, règles du pouces, etc.
  - Méthode qui permet d'obtenir un produit:
    - Dont les opérations de montage et d'assemblage associées sont réduites et facilitées
    - Dont le nombre de composantes est réduit au minimum (optimisé)
    - Dont les matériaux ont été choisis de façon optimisée
    - Dont la fabrication des composantes est compatible avec les opérations de fabrication en place (équipements, procédés)

## Réduction de coût et DFMA

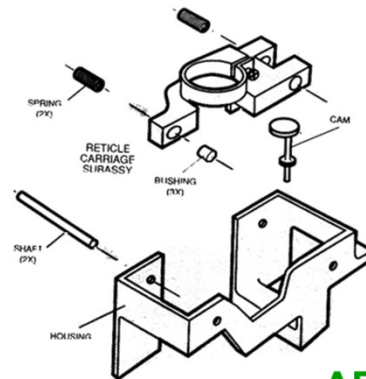
### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

- DFMA – Les bénéfiques:
  - Réduction des coûts:
    - Coût du produit
      - Moins de pièces
      - Optimisation dans le choix des matériaux et des méthodes de fabrication et assemblage
    - Coût du capital
      - Prise en compte des équipements de production en place
  - Simplification du produit:
    - Moins de pièces
      - Multiples bénéfiques qui en résultent (*voir diapo suivante*)
  - Diminution du délai de mise en marché:
    - Temps de développement de produit plus court
      - Prise en compte des méthodes de fabrication et assemblage lors de la phase conception

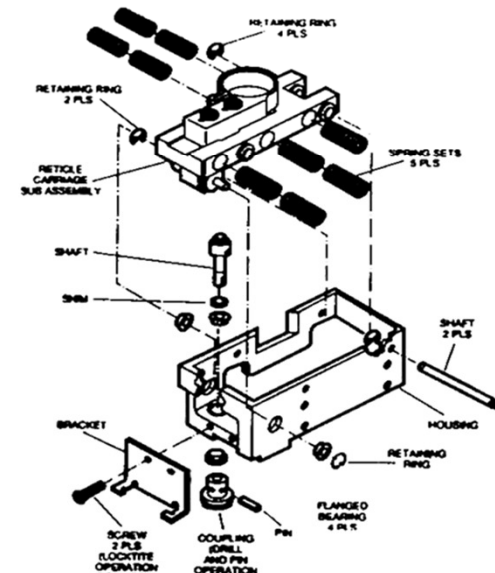
## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly (DFMA)* (suite)

- Bénéfices résultant de la diminution du nombre de pièces:
  - ↓ Nombre d'opérations et de manipulations d'assemblage
  - ↓ Niveau des inventaires
  - ↓ Quantité de documentation
  - ↓ Nombre de fournisseurs
  - ↓ Poids du produit
  - ↑ Qualité et fiabilité du produit



APRÈS



AVANT

Exemple  
provenant de  
Texas Instrument

## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

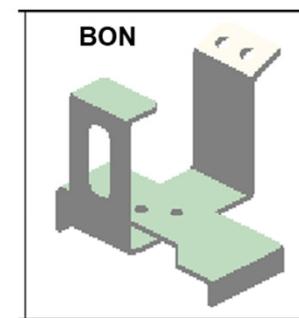
- Paradigme de l'analyse des coûts
  - Recommandations des années **1970**:



Design  
NON recommandé  
(en 1970)



Parce que la pièce  
est «complexe»



Design  
recommandé  
(en 1970)

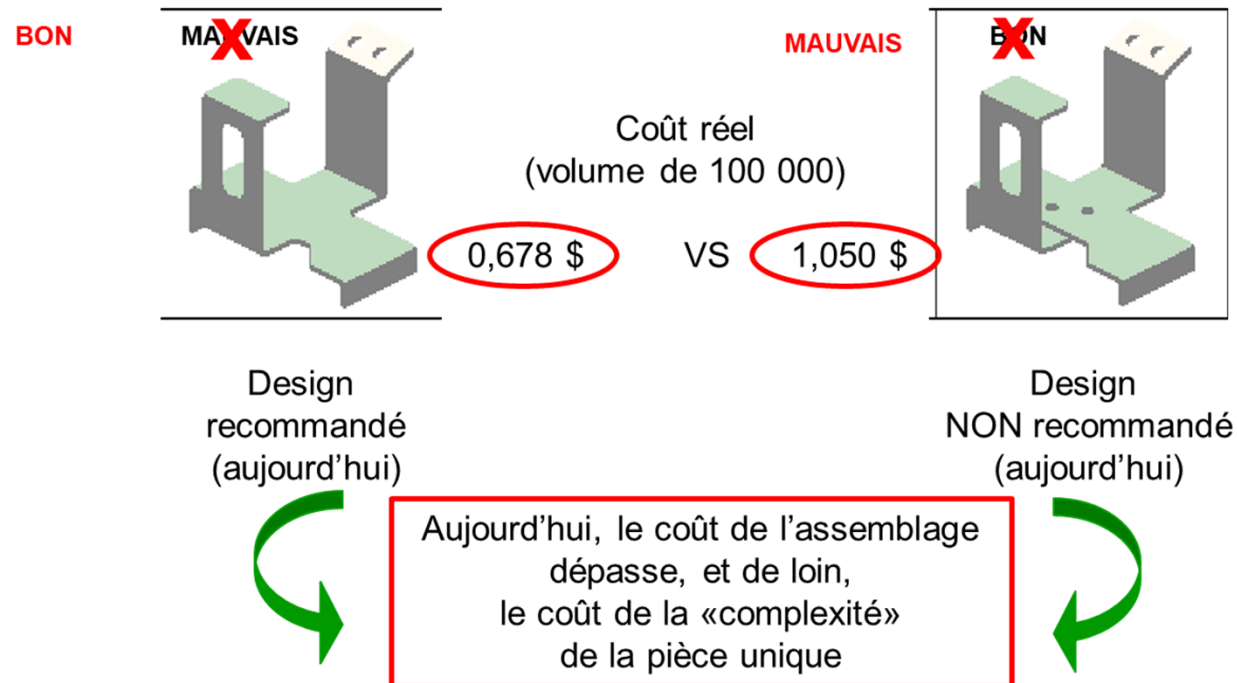


Parce que 2 pièces  
«simples» c'est  
plus économique

## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

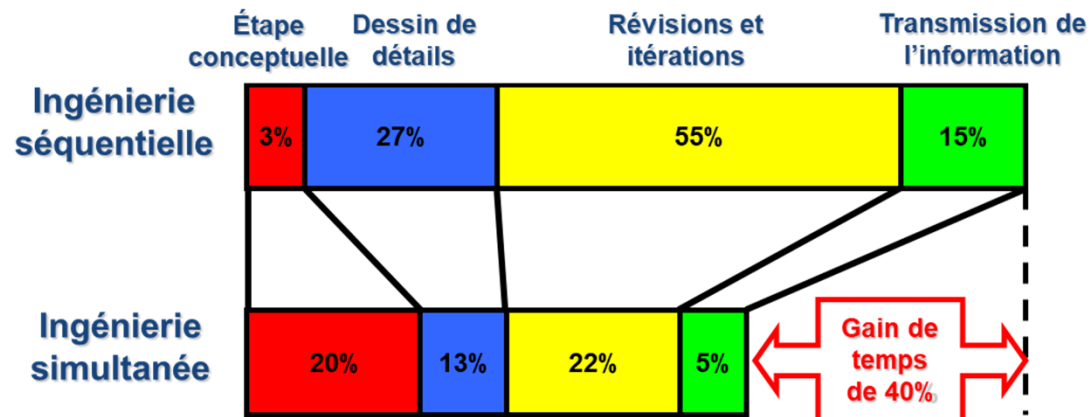
- Paradigme de l'analyse des coûts (suite)
  - Mais la réalité **aujourd'hui**:



## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

- Diminution du délai de mise en marché
  - Grâce au DFMA...
  - ... et à l'ingénierie simultanée (de façon plus générale)



Source: *Plastics Design Forum*, octobre 1993

## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

- DFMA – Les bénéfices – Quelques chiffres:
  - ↓ 54% nombre de pièces
  - ↓ 60% nombre d'attaches
  - ↓ 53% nombre d'opérations d'assemblage
  - ↓ 60% temps d'assemblage
  - ↓ 45% coût d'assemblage
  - ↓ 42% coût de la main d'œuvre
  - ↓ 50% coût total du produit
  - ↓ 40 à 50% délai de mise en marché
  - ↓ 22% poids

Moyennes tirées de 117  
études de cas auprès de 56  
compagnies aux États-Unis  
(avril 1999)

Référence: Boothroy, G. *Product  
Design for Manufacture and  
Assembly*, Marcel Dekker, 2002, p.  
35

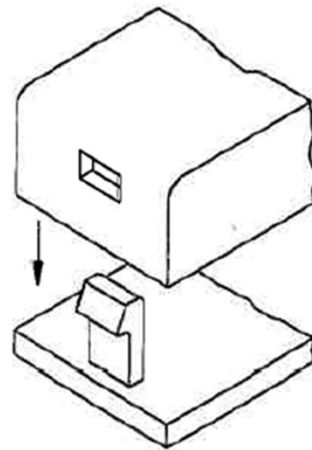
ATTENTION: comme toujours, pas facile d'isoler  
les bénéfices d'une initiative de ceux des autres  
initiatives entreprises conjointement...

## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

#### Les principes du DFA

- Principe no 1: Minimiser le nombre de composants
  - Éliminer les attaches et les raccords ou réduire leur utilisation
    - Utiliser des assemblages à encliquetage ou à pression (*snap fit*, *press fit*, etc.)



Vue en coupe lorsque  
le couvercle est  
verrouillé

*Énoncés des principes et images (cette diapo et les diapos subséquentes)*

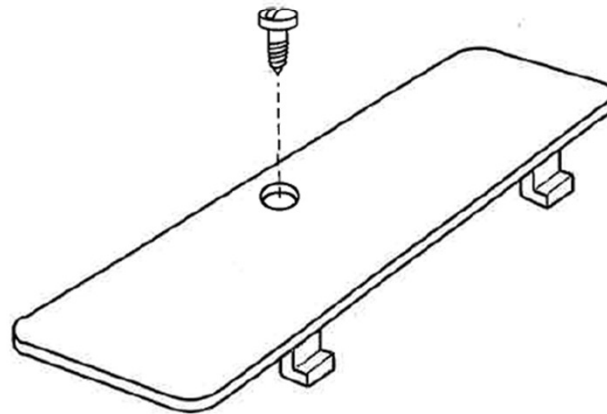
Traduction libre (et adaptation) de: Boothroy,  
G. *Product Design for Manufacture and  
Assembly*, Marcel Dekker, 2002, p. 15



## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

- Principe no 1: Minimiser le nombre de composants (suite)
  - Éliminer les attaches et les raccords ou réduire leur utilisation (suite)
    - Utiliser des crochets ou des rebords intégrés pour fixer/positionner une pièce

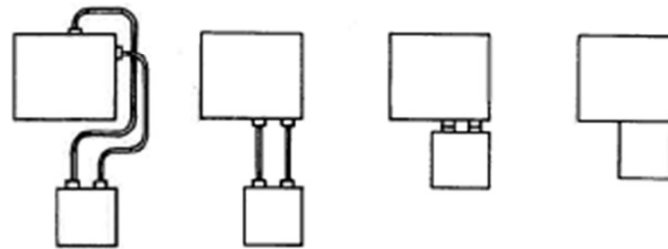


Couvercle d'accès retenu et fixé  
à l'aide de crochets intégrés et  
1 seule vis  
(au lieu de 2 ou 3 vis)

## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

- Principe no 1: Minimiser le nombre de composants (suite)
  - Éliminer les attaches et les raccords ou réduire leur utilisation (suite)
    - Raccorder les pièces directement entre elles, sans connecteurs



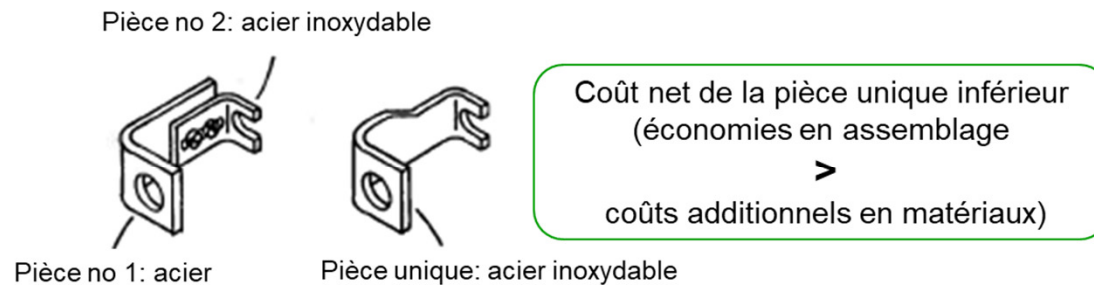
Efficacité croissante

Coûts décroissants

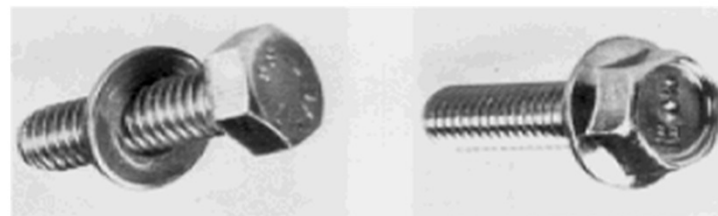
## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

- Principe no 1: Minimiser le nombre de composants (suite)
  - Favoriser les composants complexes intégrant plusieurs fonctions



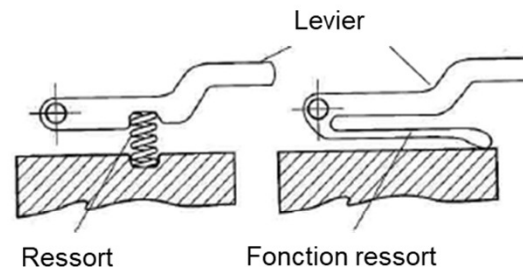
- Utiliser des attaches combinées (rondelles intégrées, etc.)



## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

- Principe no 1: Minimiser le nombre de composants (suite)
  - Intégrer des charnières, ressorts, guides, etc.



Ressort intégré  
à la pièce

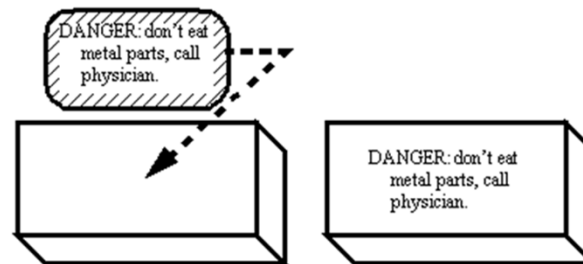


Boîtier et couvercle de cette  
commande faits en une seule pièce  
en plastique moulé (injection)  
=> la flexibilité du polyéthylène mise  
à profit pour la fonction «charnière»

## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

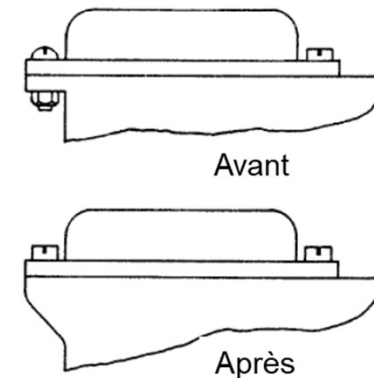
- Principe no 1: Minimiser le nombre de composants (suite)
  - Éviter les étiquettes à assembler/fixer aux pièces
    - Graver/incorporer le message à même le moule
    - Ex.: identification d'une pièce
    - Ex.: mode d'emploi ou avertissement de danger



## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

- Principe no 2: Standardiser les pièces
  - Réduire le nombre de **nos de pièces** (items)
  - Moins il y en a, moins il y a de...
    - ... dessins différents,
    - ... méthodes et procédés différents,
    - ... procédures de contrôle de qualité différentes
    - ... moules différents,
    - ... programmes CNC différents,
    - ... fournisseurs différents,
    - ... etc..
  - Facilite aussi le processus de design
    - «Manuel de conception» plus succinct
  - Utiliser des pièces standards (commerciales)
    - Le moins possible de pièces «maison»



2 vis identiques au lieu  
d'une vis et  
un boulon + écrou

## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

- Principe no 3: Faciliter la manipulation des pièces
  - Faciliter la saisie des pièces présentées en vrac
  - Facteurs qui affectent la manipulation:
    - Forme des pièces
      - Arrondie (tendance à rouler) vs...
      - Prismatique (stable sur une surface)



Stabilité croissante sur une table



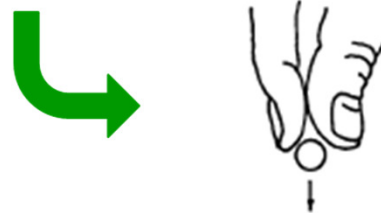
## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

- Principe no 3: Faciliter la manipulation des pièces (suite)
  - Facteurs qui affectent la manipulation: (suite)
    - Dimension et épaisseur des pièces
      - Rapport D vs E => élevé = fragilité (précaution requise)
      - Grandes dimensions => affecte le poids, manipulation plus difficile
      - Petites dimensions => manipulation requiert des outils spéciaux?



- Petites dimensions => risque que la pièce glisse des mains?

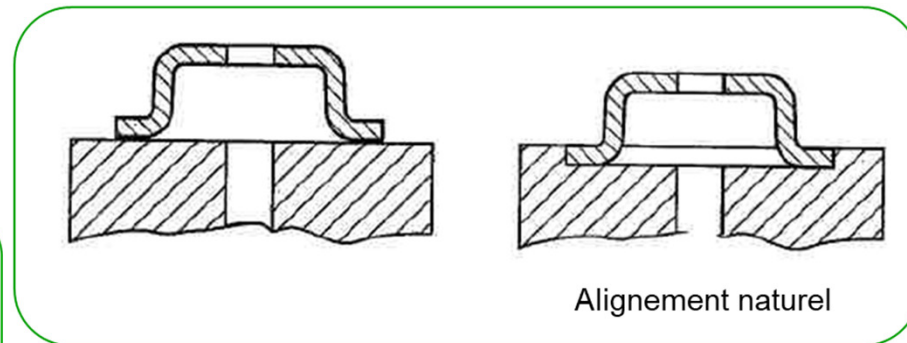
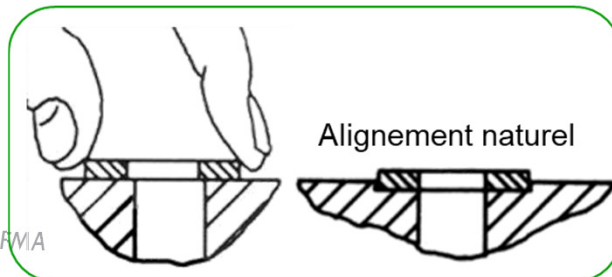
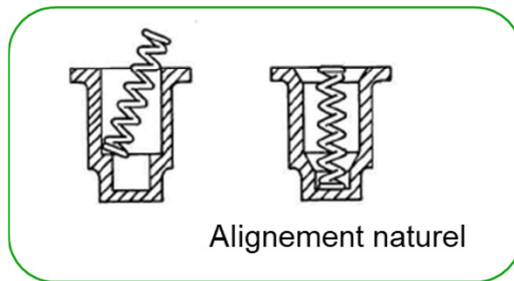




## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

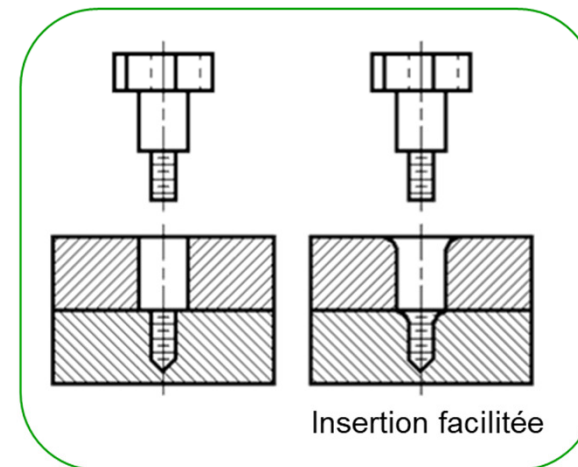
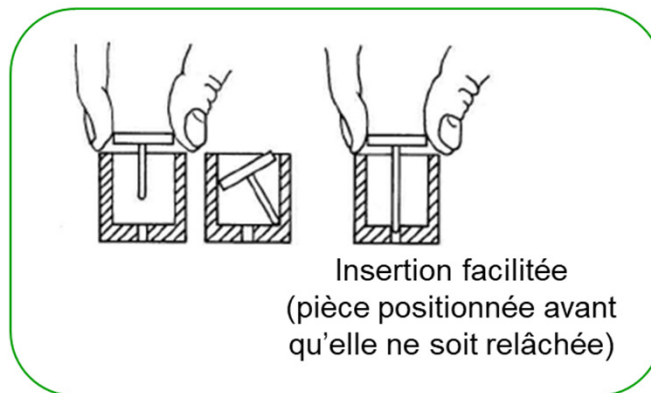
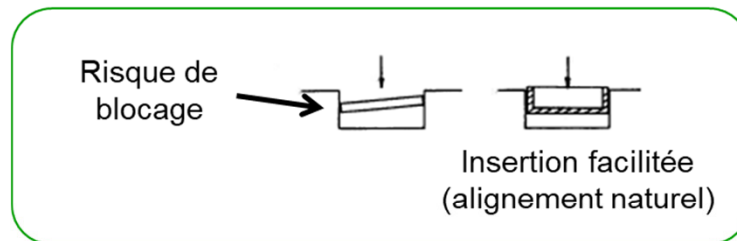
- Principe no 4: Faciliter l'insertion et l'alignement des pièces
  - Concevoir les pièces de façon à ce qu'elles se positionnent et s'alignent facilement – idéalement, d'elles mêmes
    - Alignement naturel: par des chanfreins, des dégagements
    - Pas besoin de les retenir manuellement pour les insérer/aligner



## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

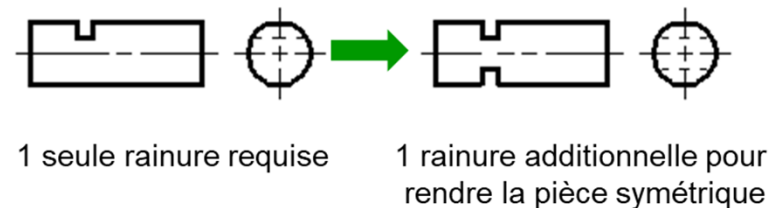
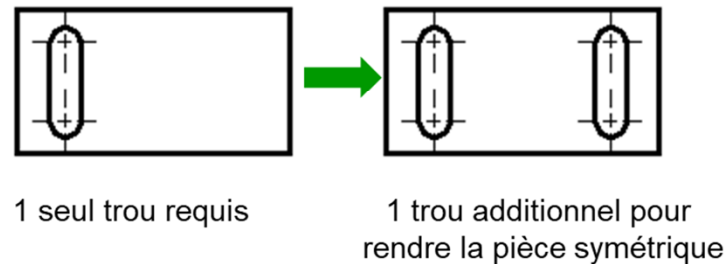
- Principe no 4: Faciliter l'insertion et l'alignement des pièces (suite)



## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

- Principe no 5: Favoriser la symétrie des pièces ou rendre l'asymétrie évidente
  - Pièces symétriques => manipulation et alignement facilités
    - Temps d'assemblage réduit



## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

- Principe no 5: Favoriser la symétrie des pièces ou rendre l'asymétrie évidente (suite)
  - Pièces asymétriques => temps d'assemblage plus long
    - Si l'asymétrie est requise: voir alors à la rendre plus prononcée => évidente à la vue et au toucher...
      - ... pour faciliter l'assemblage



Légère asymétrie requise  
(mais peu ou pas évidente à la vue)



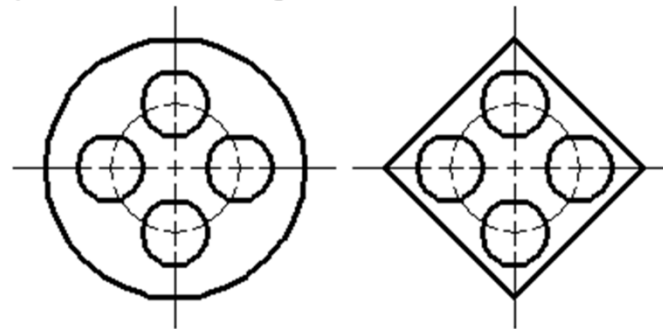
Asymétrie volontairement plus prononcée  
(évidente à la vue)

- Symétriques vs Asymétriques: lien avec la facilité de manipulation et d'insertion

## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

- Principe no 6: Faciliter l'orientation des pièces
  - Une pièce est facile à orienter si:
    - L'orientation est implicite à cause de sa configuration propre
    - Des dispositifs externes peuvent être utilisés comme référence
    - Sa configuration place le centre de masse d'une façon qui fait ressortir son orientation et en facilite la saisie
  - Facile à orienter => manipulation et alignement facilités
    - Temps d'assemblage réduit

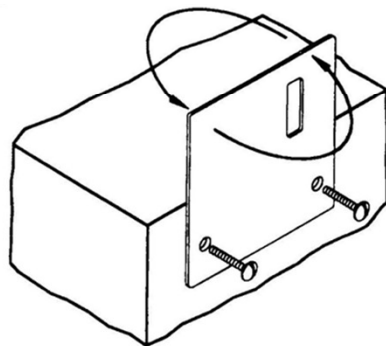


Alignement naturel  
des 4 trous

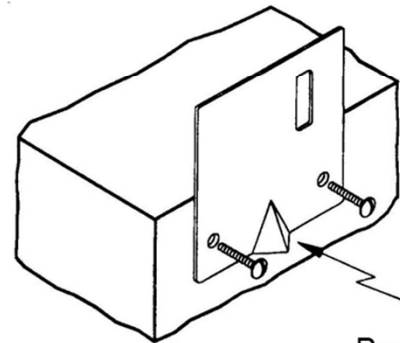
## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

- Principe no 7: Concevoir les composants afin qu'ils ne puissent pas être assemblés incorrectement
  - Éliminer les situations où une pièce peut être installée à l'envers
  - Utilisation de détrompeurs (*Poka Yoke*)



La plaque risque d'être  
assemblée du mauvais côté



Protubérance dans  
la plaque => Détrompeur

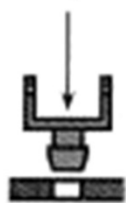
- Utilisation de pièces symétriques OU asymétriques mais dont l'asymétrie sert de détrompeur

## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

- Principe no 8: Faciliter la fixation des pièces
  - Éviter les vis autant que possible, la colle, etc.
  - Utilisation des méthodes de fixation rapides (ex.: boutons à pression)

Assemblage  
par encliquetage  
(*snapfit*)



Assemblage  
par pression  
(*pressfit*)



Rivet  
Intégré



Rivet  
standard



Vis

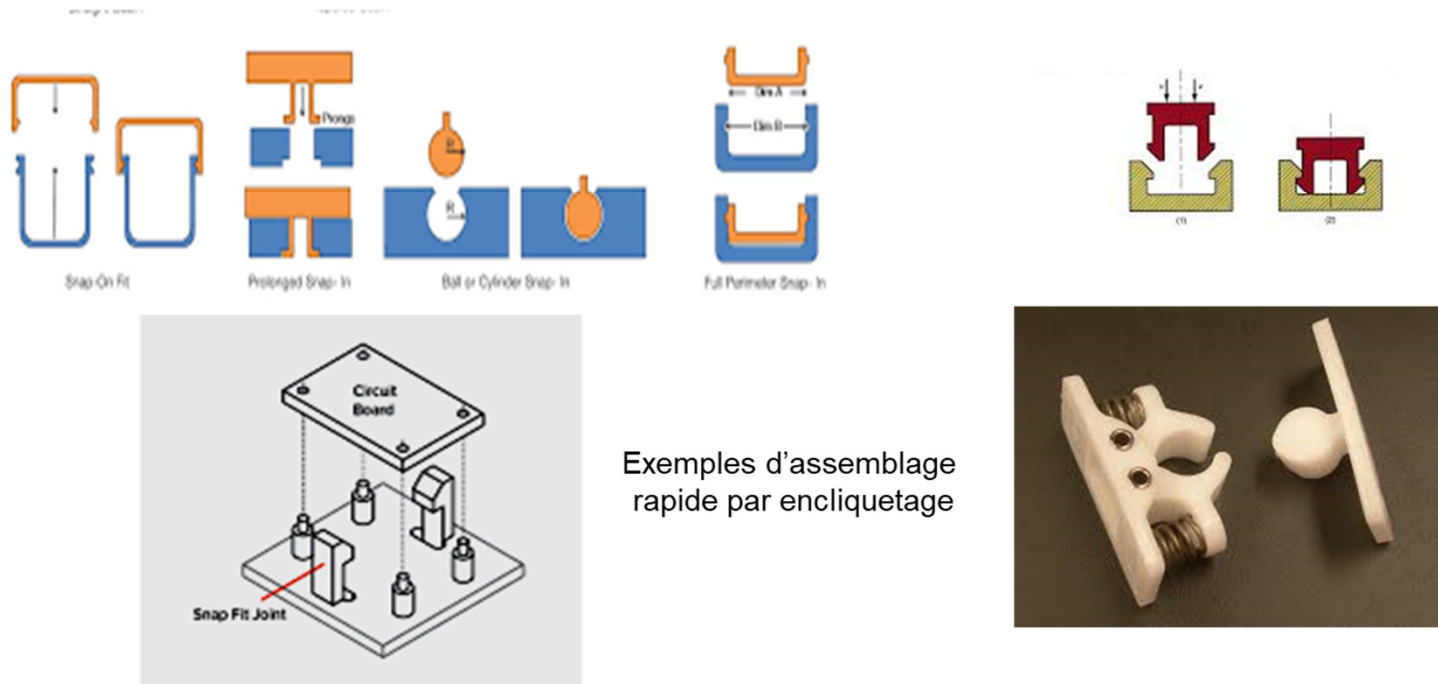


Coûts croissants

## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

- Principe no 8: Faciliter la fixation des pièces (suite)



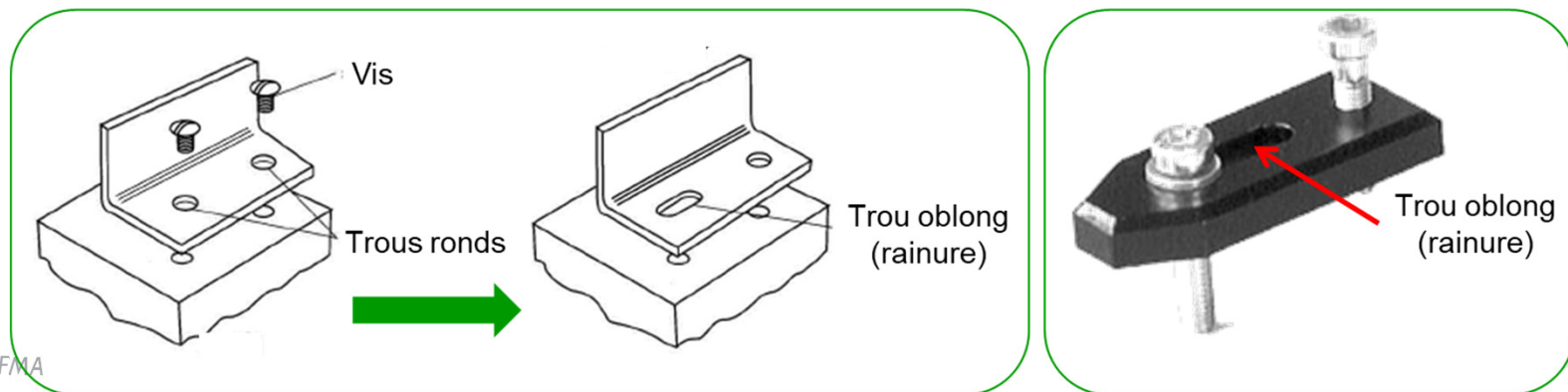
Exemples d'assemblage rapide par encliquetage



## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

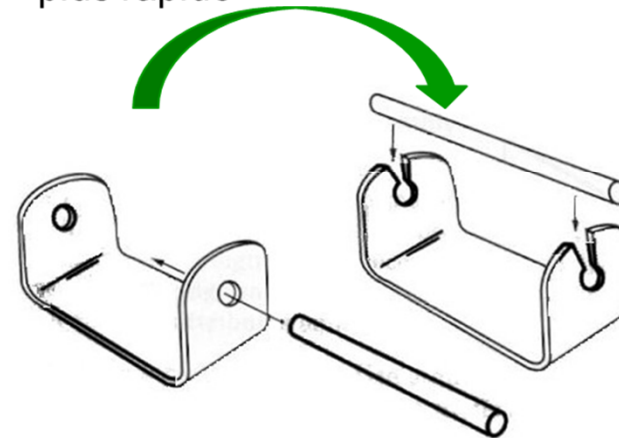
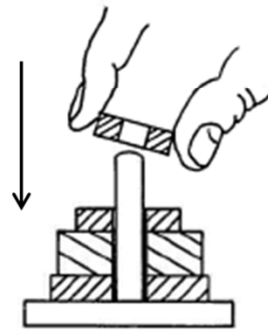
- Principe no 9: Minimiser les ajustements requis ou les tolérances serrées
  - Le problème des ajustements peut être évité...
    - En concevant des pièces qui se positionnent de façon relative à une pièce de référence
    - En insérant des rainures qui permettent aux vis d'avoir le jeu nécessaire pour bien se positionner
    - En réduisant le niveau des tolérances au minimum



## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

- Principe no 10: Assembler par couches successives, du haut vers le bas
  - Assemblage du type pyramidal => plus rapide

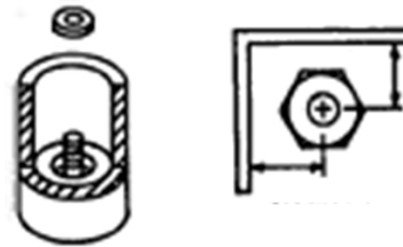


- Et voir à toujours garder la même orientation des pièces durant l'assemblage
  - Lors de la saisie, du transport, de l'insertion, etc.

## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

- Principe no 11: Assurer un accès visuel et physique pour chaque opération d'assemblage
  - Il y a deux types d'obstructions qu'il faut éviter:
    - Celles qui font que l'opérateur n'a pas une **vue claire** du lieu de montage
    - Celles qui font que l'opérateur n'a pas un **accès facile** au lieu de montage

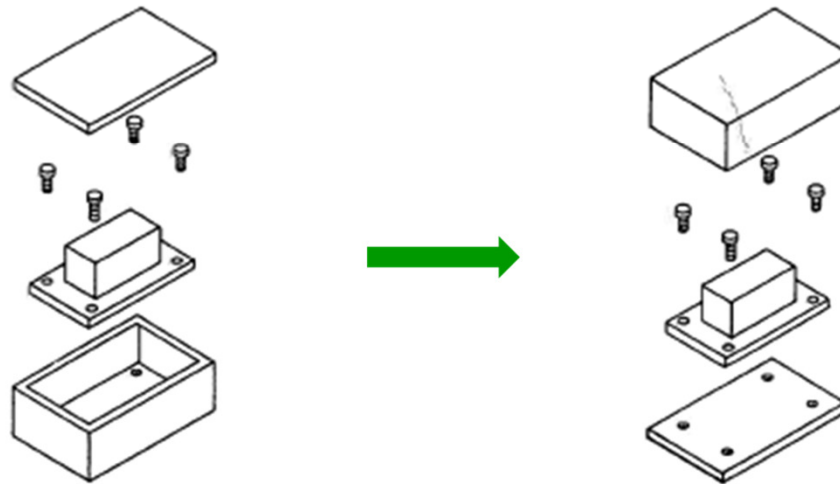


Accès insuffisant au lieu de montage  
(et vue obstruée)

## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

- Principe no 11: Assurer un accès visuel et physique pour chaque opération d'assemblage (suite)



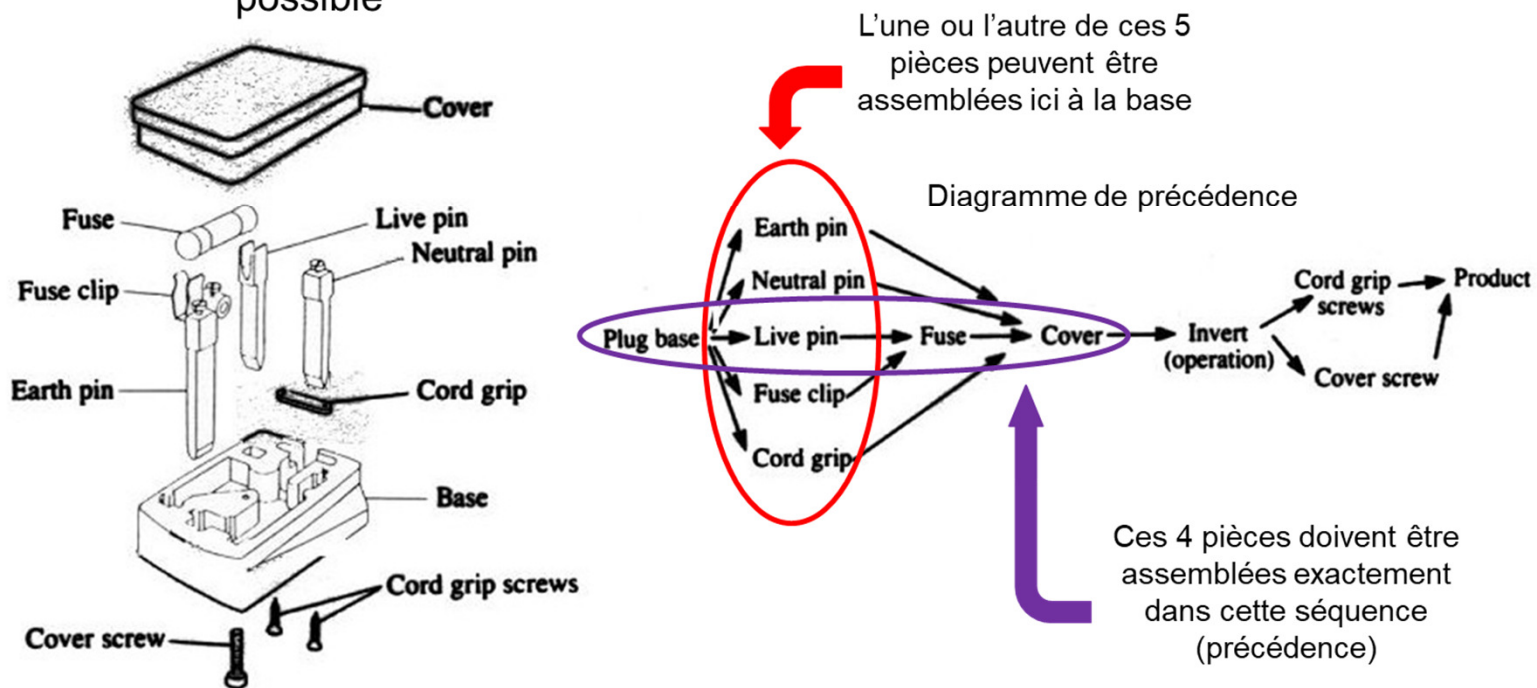
Insertion et serrage difficile des 4 vis  
(accès restreint)

Conception modifiée => accès facile  
pour l'insertion et le serrage des 4 vis

## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

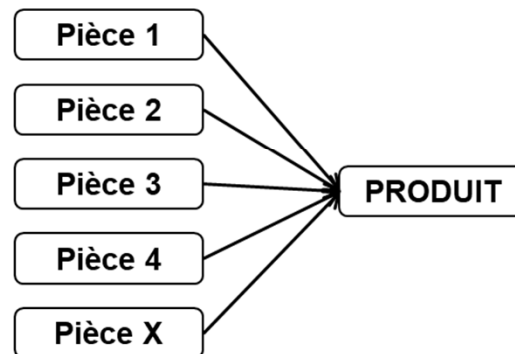
- Principe no 12: Éliminer ou réduire les précédences
  - Viser d'avoir une séquence d'assemblage la moins contrainte possible



## Réduction de coût et DFMA

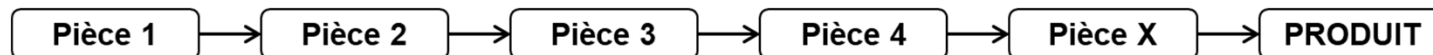
### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

- Principe no 12: Éliminer ou réduire les précédences (suite)
  - Précédence **idéale**, optimale = aucune contrainte dans la séquence d'assemblage:



Plus la précédence est critique (contrainte élevée) plus le temps d'assemblage est long (choix de la bonne pièce, aucune tolérance à l'erreur, risque d'avoir à désassembler, réassembler, etc.)

- Précédence **à éviter** = contrainte maximale, séquence d'assemblage à respecter, sinon assemblage impossible



## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

- Méthodes de DFA
  - Plusieurs méthodes existent
  - Toutes reposent principalement sur...
    - La réduction du nombre de pièces (produit fonctionnellement acceptable)
    - Un système de mesure quantitative qui guide vers des solutions idéales
      - Temps unitaire de saisie/manipulation, d'insertion, etc.
  - La méthode Boothroyd et Dewhurst est largement répandue
    - A fait ses preuves
    - Assure des résultats tangibles

## Réduction de coût et DFMA

2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche  
e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

**ABAQUES**  
(temps unitaires de manipulation et  
insertion + fixation de pièces)

NOTE IMPORTANTE: on utilise ces abaques lorsqu'on  
n'a **aucune indication** pour estimer les temps unitaires  
(ex.: pas de mesures réelles chronométrées)

Référence: Boothroy, G. et Al.,  
*Product Design for Manufacture and Assembly*,  
Marcel Dekker, 2002

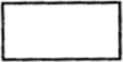


## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly (DFMA)* (suite)

#### EXEMPLE D'UN ABAQUE

Note: pour valeurs de « $\alpha$ »  
et « $\beta$ »: voir diapo plus loin

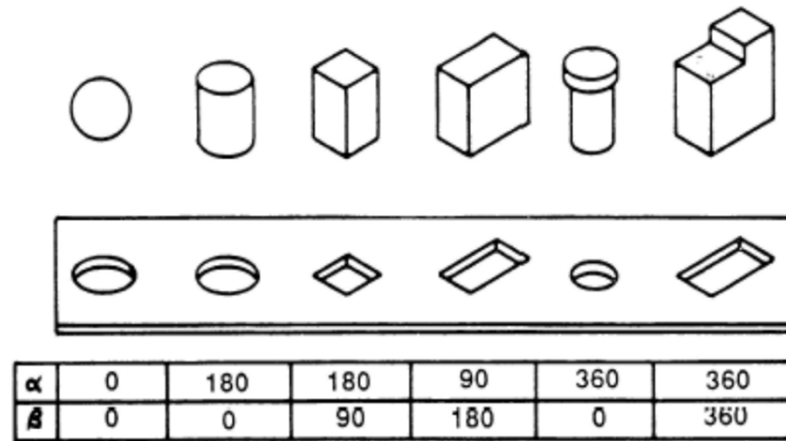
Key:  ONE HAND

		Parts are easy to grasp and manipulate					Parts present handling difficulties (1)					
		Thickness >2 mm		Thickness ≤2 mm			Thickness >2 mm			Thickness ≤2 mm		
		Size >15 mm	6 mm ≤ size >15 mm	Size <6 mm	Size >6 mm	Size ≤6 mm	Size >15 mm	6 mm ≤ size ≤15 mm	Size <6 mm	Size >6 mm	Size ≤6 mm	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Parts can be grasped and manipulated by one hand without the aid of grasping tools	$(\alpha + \beta) < 360^\circ$	0	1.13	1.43	1.88	1.69	2.18	1.84	2.17	2.65	2.45	2.98
	$360^\circ \leq (\alpha + \beta) < 540^\circ$	1	1.5	1.8	2.25	2.06	2.55	2.25	2.57	3.06	3	3.38
	$540^\circ \leq (\alpha + \beta) < 720^\circ$	2	1.8	2.1	2.55	2.36	2.85	2.57	2.9	3.38	3.18	3.7
	$(\alpha + \beta) = 720^\circ$	3	1.95	2.25	2.7	2.51	3	2.73	3.06	3.55	3.34	4

(1) : voir diapo plus loin («Notes pour abaque des temps de manipulation»)

## Réduction de coût et DFMA

2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche  
 e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)



$\alpha$ : Alpha symmetry, which depends on the angle through which a part must be rotated about an axis perpendicular to the axis of insertion

$\beta$ : Beta symmetry, which depends on the angle through which a part must be rotated about the axis of insertion.

Valeurs de  $\alpha$  et  $\beta$

## Réduction de coût et DFMA

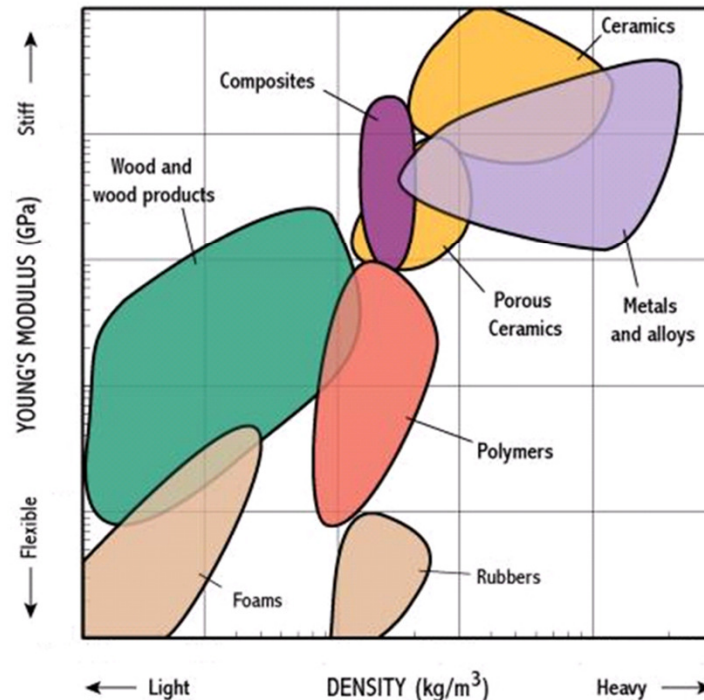
### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

- Design for Manufacturing – DFM – En bref...
  - Lors de la conception, prendre en compte la fabrication des pièces (optimiser la fabrication et réduire les coûts)
    - Choix des **matériaux**
      - En fonction de critères tels que:
        - » Performance, résistance mécanique
        - » Masse volumique
        - » Possibilités de traitement/transformation et d'usinage
        - » Esthétique
    - Choix des méthodes et **procédés**
      - En fonction des matériaux choisis
      - Procédés primaires, secondaires, tertiaires
        - » *Voir rappel plus loin*
    - Choix des **séquences** de fabrication
      - Concevoir les pièces de sorte à minimiser les étapes de fabrication

## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

- Choix des matériaux – Utilisation de chartes



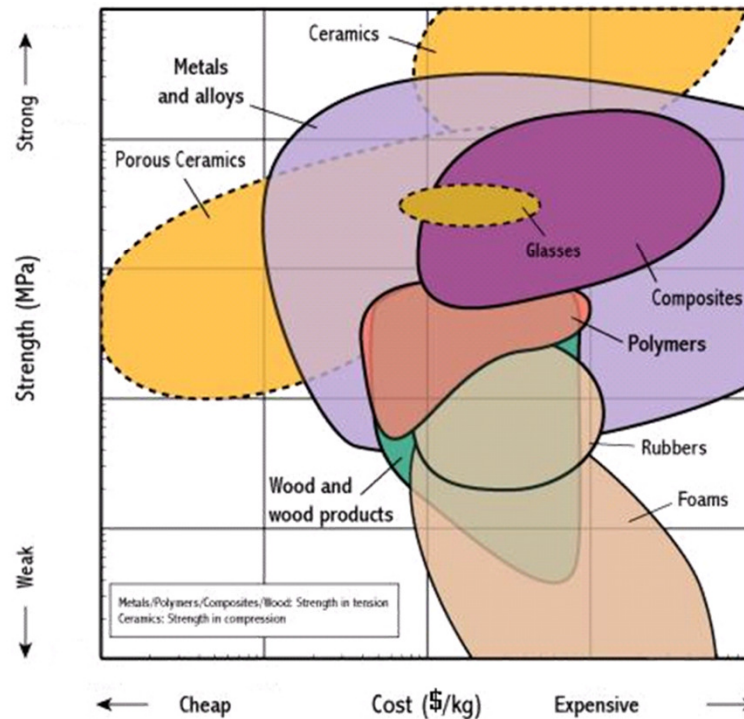
Lorsqu'on cherche à optimiser la **rigidité** vs la **masse** d'une pièce...

*Attention: charte montrée ici pour fins d'illustration seulement; ne pas utiliser en conception.*

## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

- Choix des matériaux – Utilisation de chartes (suite)



Lorsqu'on cherche à optimiser la **résistance** vs le **coût** d'une pièce...

*Attention: charte montrée ici pour fins d'illustration seulement; ne pas utiliser en conception.*

## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

- Choix des procédés
  - Procédé **primaire**:
    - Confère à la pièce sa première géométrie «grossière»
    - Confère à la pièce ses caractéristiques principales de base
    - Exemples: moulage en sable, par injection, extrusion, forgeage, etc..
  - Procédé **secondaire**:
    - Confère à la pièce sa géométrie définitive
    - Exemples: usinage, meulage, affûtage, alésage, etc.
  - Procédé **tertiaire**:
    - Affecte/améliore les caractéristiques de la pièce
    - N'affecte en général pas la géométrie de la pièce
    - Exemples: traitement de surface, traitement thermique, etc.

# Réduction de coût et DFMA

## 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly (DFMA)* (suite)

- Choix des procédés –  
Utilisation de chartes

Lorsqu'on cherche un type de **procédé** applicable au **matériau** d'une pièce...

*Attention: charte montrée ici pour fins d'illustration seulement; ne pas utiliser en conception.*

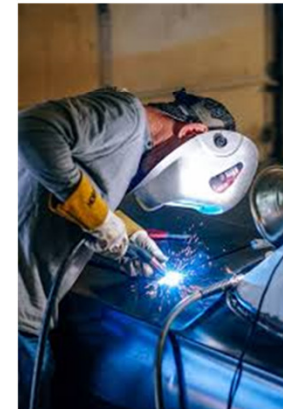
- Non applicable
- Moins courant
- Pratique courante

	Cast Iron	Carbon Steel	Alloy Steel	Stainless Steel	Aluminum and Alloys	Copper and Alloys	Zinc and Alloys	Magnesium and Alloys	Titanium and Alloys	Nickel and Alloys	Refractory Metals	Thermoplastics	Thermosets	
Sand Casting	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Solidification processes
Investment Casting	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	
Die Casting	Red	Red	Red	Red	Yellow	Green	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red	
Injection Molding	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Green	Yellow	
Structural Foam Molding	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Green	Red	
Blow Molding (ext.)	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Green	Red	
Blow molding (inj.)	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Green	Red	
Rotational molding	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Green	Red	
Impact extrusion	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red	Bulk Deformation processes
Cold heading	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red	
Closed die forging	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Red	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red	
Powder metal processing	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red	
Hot extrusion	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red	
Rotary swaging	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red	
Machining (from stock)	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Material removal processes
ECM	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	
EDM	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	
Wire EDM	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Red	Profiling
Sheet Metal (Stamp/Bend)	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red	Sheet forming processes
Thermoforming	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Red	Red	Green	Red	
Metal Spinning	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red	

## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

- Quelques règles de base pour réduire les coûts de fabrication
  - Usinage:
    - Autant que possible => **préformer** la pièce par procédé primaire (ex.: moulage, forgeage, etc.)
    - Usinage d'une pièce => sur **une seule** machine-outil



- Soudure:
  - À **éviter** autant que possible
    - Pliage, formage, et même des fois usinage => plus économique
  - Souder matériaux identiques ou presque => plus économique
  - Souder l'aluminium => plus complexe, plus coûteux que l'acier



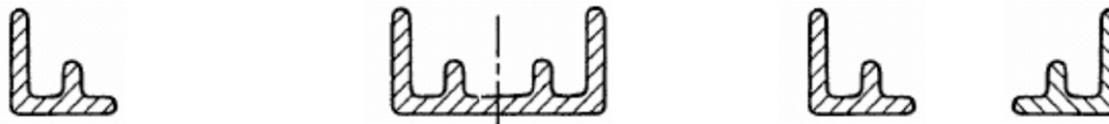
## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

- Quelques règles de base pour réduire les coûts de fabrication (suite)
  - Moulage à injection:
    - Pièces à épaisseur uniforme => plus économique
    - Pièces à paroi mince => plus économique



- Extrusion:
  - Pour produire une pièce asymétrique:
    - Produire une pièce symétrique + la couper en deux => des fois plus économique



Pour produire cette pièce... ➡ ... on produit celle-ci... ➡ ... que l'on coupe ensuite en deux

## Réduction de coût et DFMA

### 2. Méthodes et concepts appliqués dans la démarche e) *Design for Manufacturing & Assembly* (DFMA) (suite)

- Quelques règles de base pour réduire les coûts de fabrication (suite)
  - Métal en feuille:
    - Concevoir la géométrie des pièces de sorte à **minimiser les rebuts**

