



Procédés de fabrication



Le BE, le BM et l'atelier

Les différents procédés de fabrication

Comment estimer le cout de revient d'une pièce

Le moulage

La fabrication par déformation

L'usinage

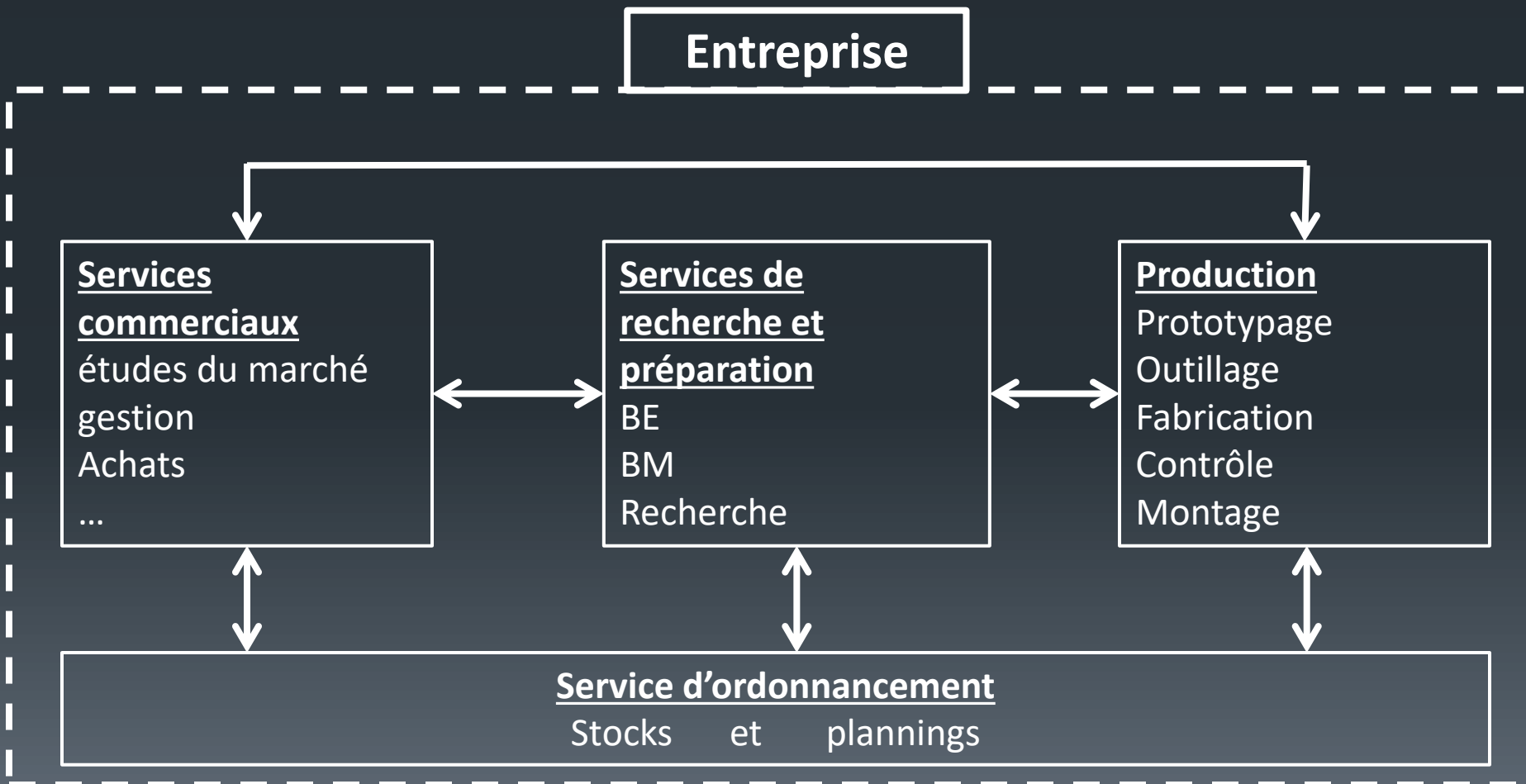
L'usinage à grande vitesse



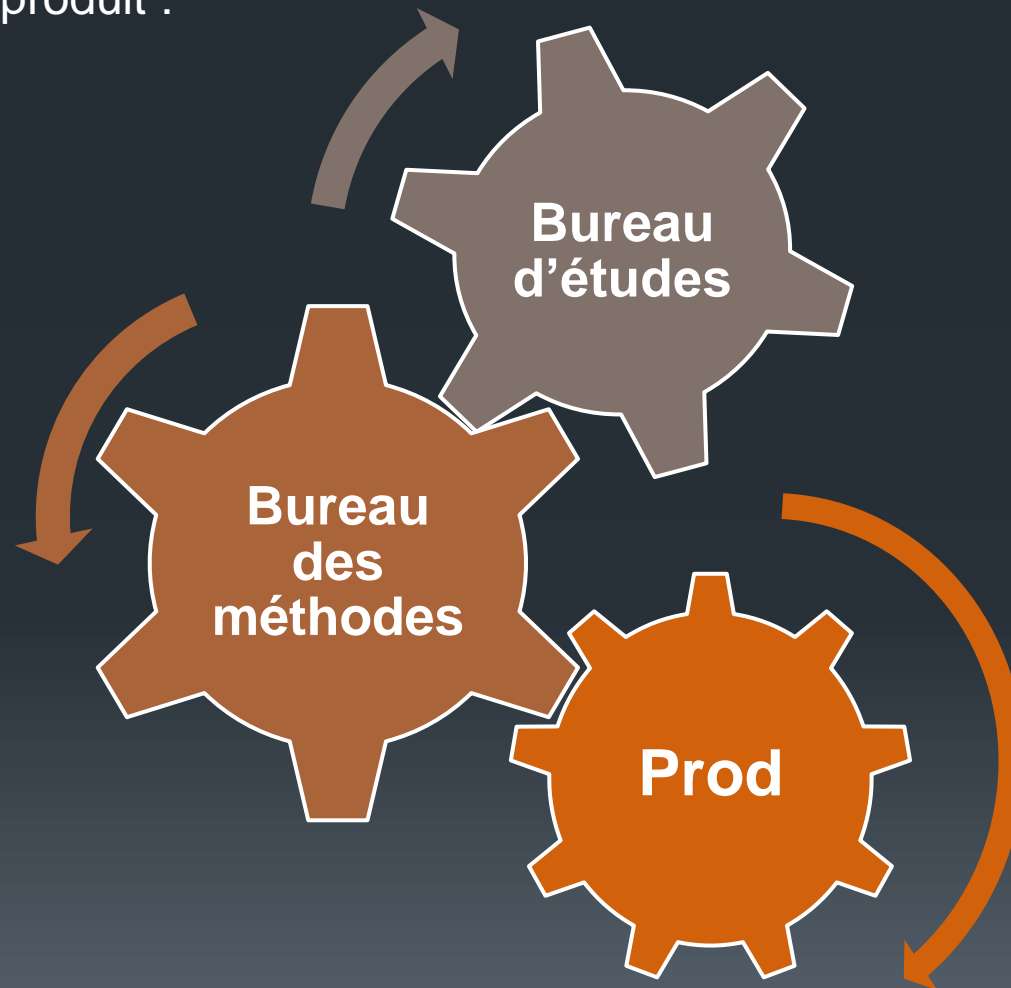
Le BE, le BM et l'atelier


Le BE, le BM et l'atelier de fabrication:

Une entreprise industrielle est découpée en un certains nombres de services (ou d'entités). Ces différents services contribuent à au processus industriel du produit.




Parmi ces différents services, 3 collaborent pour le développement et l'industrialisation du produit :





Parmi ces différents services, 3 collaborent pour le développement et l'industrialisation du produit :


Le bureau d'études (BE) : s'occupe de l'étude fonctionnelle, de la conception, dessins de définition, étude mécanique ...



Parmi ces différents services, 3 collaborent pour le développement et l'industrialisation du produit :

Le bureau d'études (BE) : s'occupe de l'étude fonctionnelle, de la conception, dessins de définition, étude mécanique ...

Le bureau des méthodes (BM) : s'occupe de la faisabilité, des solutions pour la réalisation des pièces données par le BE, des contraintes quantité/coût/délai ...
Le BM fait le lien entre le BE et l'atelier de fabrication



Parmi ces différents services, 3 collaborent pour le développement et l'industrialisation du produit :

Le bureau d'études (BE) : s'occupe de l'étude fonctionnelle, de la conception, dessins de définition, étude mécanique ...

Le bureau des méthodes (BM) : s'occupe de la faisabilité, des solutions pour la réalisation des pièces données par le BE, des contraintes quantité/coût/délai ...
Le BM fait le lien entre le BE et l'atelier de fabrication

Le service de production : s'occupe de la fabrication des pièces, du contrôle de conformité, de l'assemblage ...



Le BM va exploiter certains documents comme :

- Dessin de définition du produit : rédigé en collaboration avec le BE
- Répertoire des moyens disponibles (compétences des opérateurs, machines-outils ...)

Le BM va créer les document suivants :

- Avant projet d'études de fabrication(APEF) : document qui liste l'ordre chronologique des phases avec vérification du respect des exigences.
- Dessin de la pièce brute (surépaisseurs, dépouilles ...)
- Feuille d'étude de phase (contrat de phase).



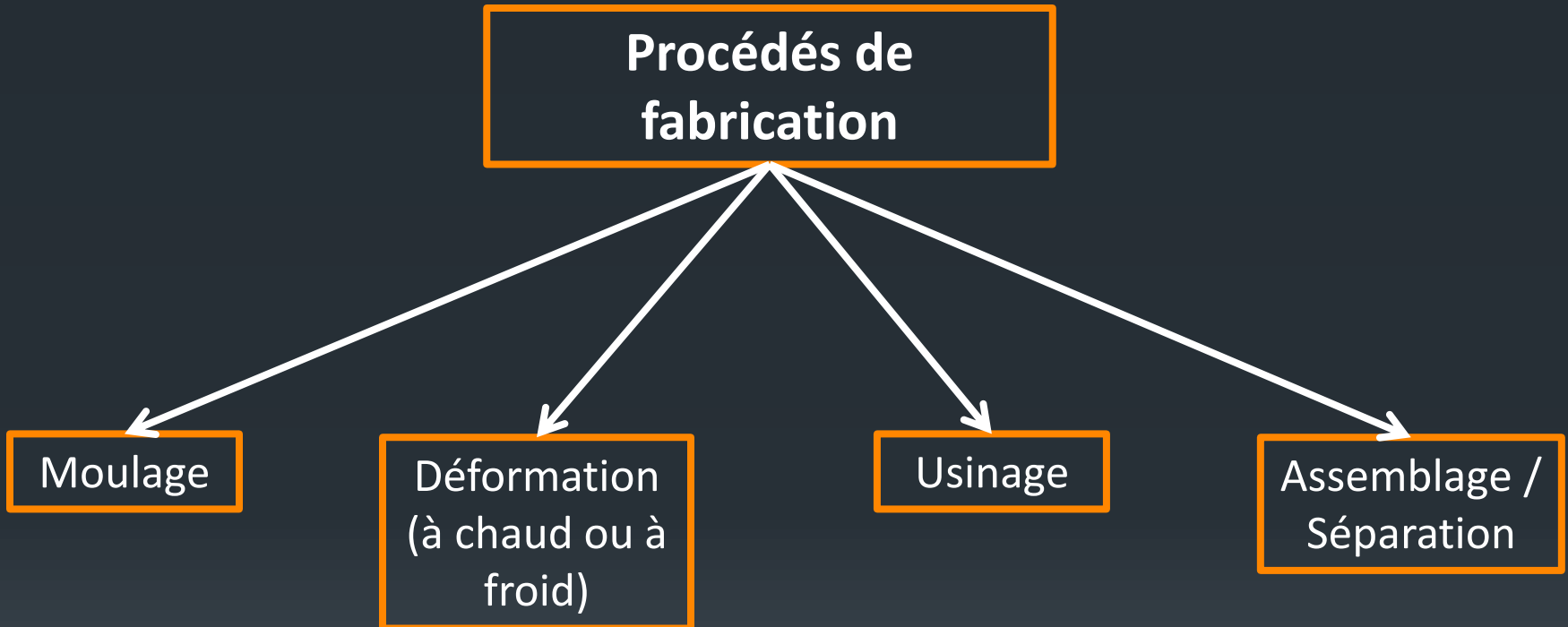
Voir Extrait d'un APEF en pièce jointe :

Voir exemple de contrat de phase en pièce jointe :



Quels sont les procédés de fabrication
que vous connaissez ?

Les différents procédés de fabrication utilisés dans l'industrie:



La fabrication d'une pièce passe par une combinaison de différents procédés

Comment estimer le cout de revient d'une pièce ?

Le cout de revient d'une pièce peut être divisé en deux parties :

- 1) Coûts fixes (b): ce sont les coûts qui ne dépendent pas du nombre de pièces produites : machines, outillage, conception, réalisation de la gamme de fabrication
- 2) Coûts variables (a): ce sont les coûts qui dépendent du nombre de pièces produites : matières premières, énergie consommée, temps passé sur la fabrication

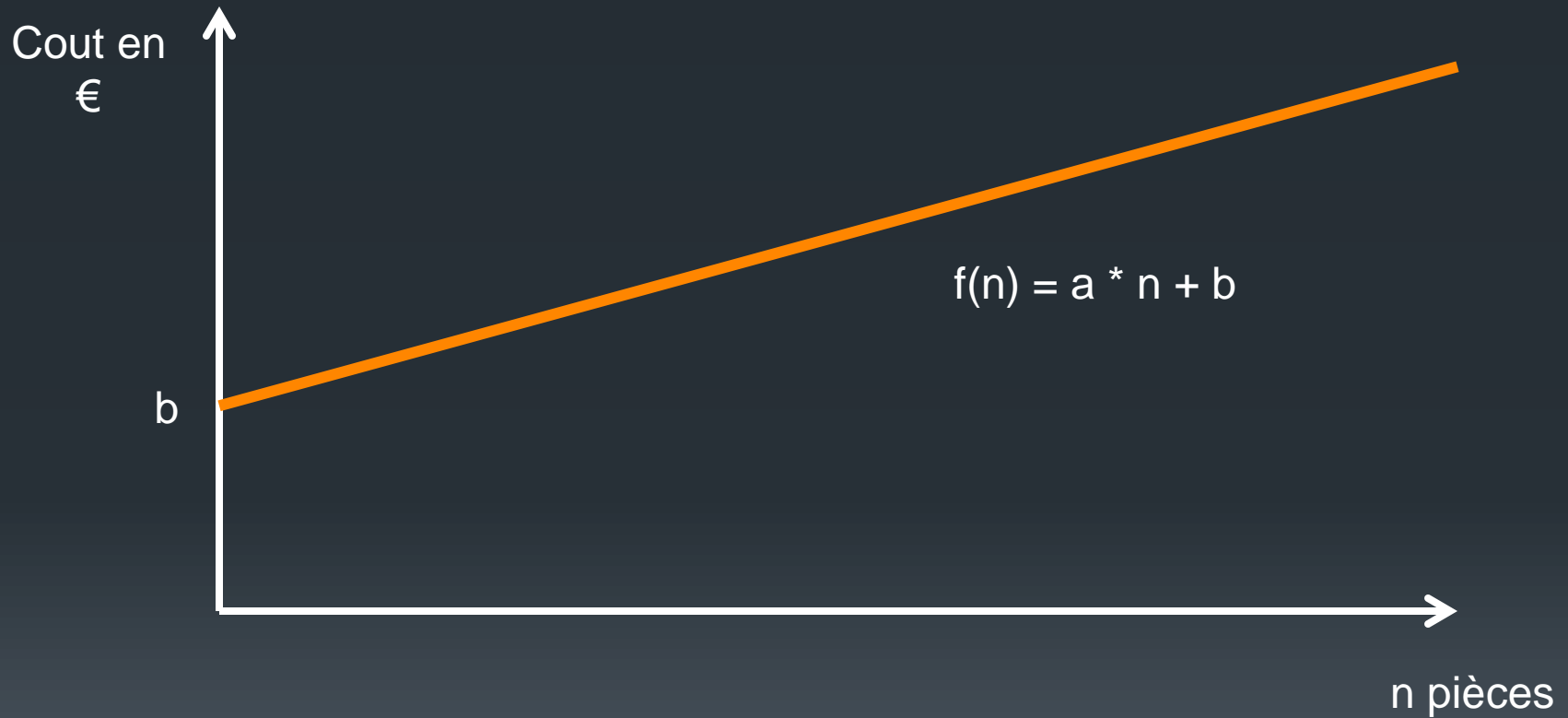
Le cout total étant la somme des deux, il s'agit d'une fonction affine :

$$f(n) = a * n + b$$

Avec n le nombre de pièces produites.

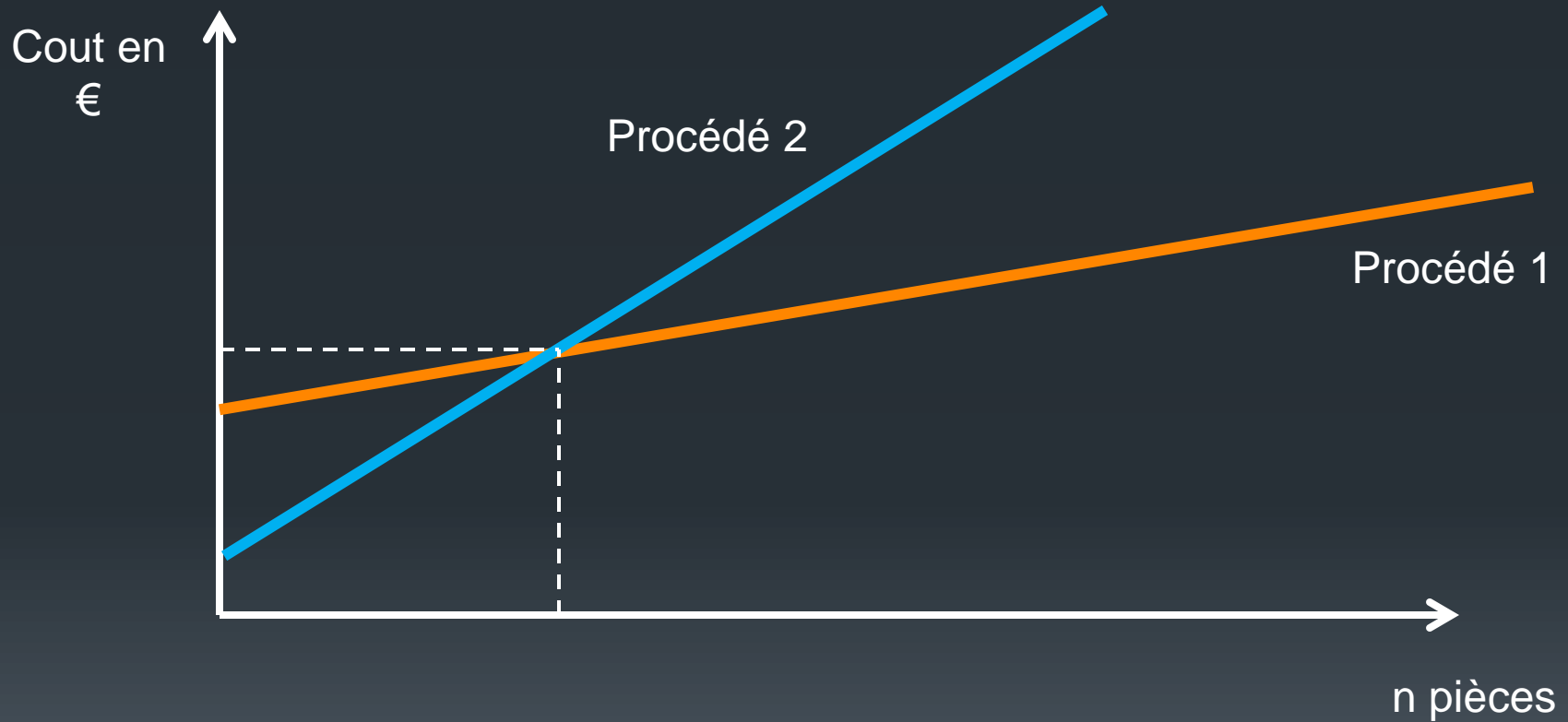
Comment estimer le cout de revient d'une pièce ?

La somme de ces couts, fixes et variables, divisées par le nombre de pièces produites nous permet d'estimer le coût de revient d'une pièce.

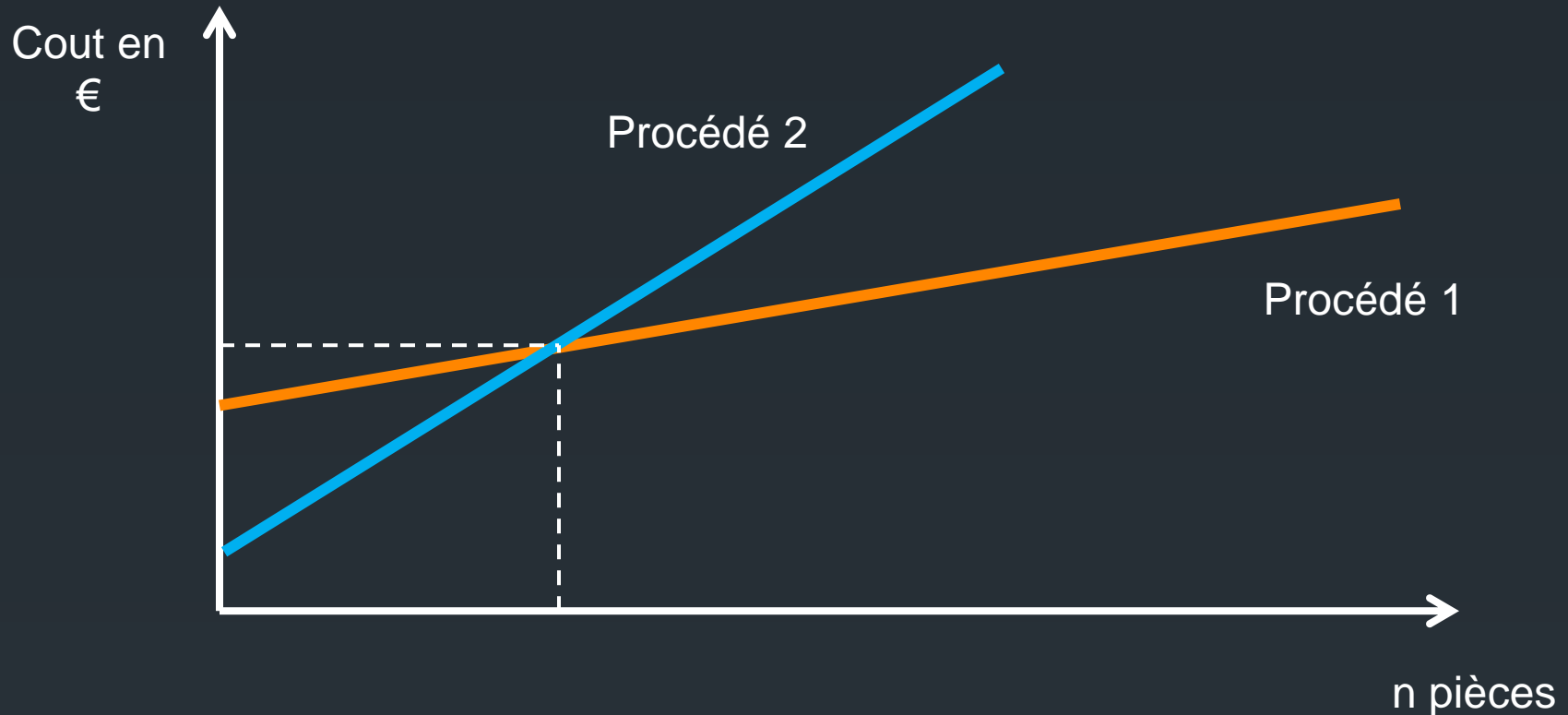


Comment estimer le cout de revient d'une pièce ?

On peut aussi comparer les couts de deux procédés différents et choisir le plus économique en fonction du nombre de pièces qu'on souhaite produire.



Comment estimer le cout de revient d'une pièce ?



Au départ, le procédé 1 est plus cher car il a besoin de plus de couts fixes, mais il finit par être plus rentable sur le long terme.

L'intersection des deux droites peut être calculée en posant l'équation :

$$a_1 * n + b_1 = a_2 * n + b_2$$

Travail de recherche et synthèse :

Recherchez puis présentez les éléments suivants :

- La définition du procédé et ses différentes déclinaisons
- Des exemples de pièces réalisés via le procédé en question
- Quelques schémas explicatifs du procédé
- Ses avantages et ses limites
- Les paramètres essentiels à prendre en compte lors de son utilisation
- Ses perspectives pour l'avenir

Groupe 1 : Moulage

Groupe 2 : Forgeage

Groupe 3 : Usinage

Groupe 4 : Assemblage et séparation

Le moulage :

Le matériau en fusion est versé dans un moule fabriqué au préalable. Ce procédé permet l'obtention de pièces complexes.



Le moulage :

Le matériau en fusion est versé dans un moule fabriqué au préalable. Ce procédé permet l'obtention de pièces complexes.

Moulage non permanent (fabrication unitaire ou petite série)

- Sable
- Carapace (mélange sable + résine)
- Modèle perdu (en polystyrène)
- Cire perdue

Le moulage :

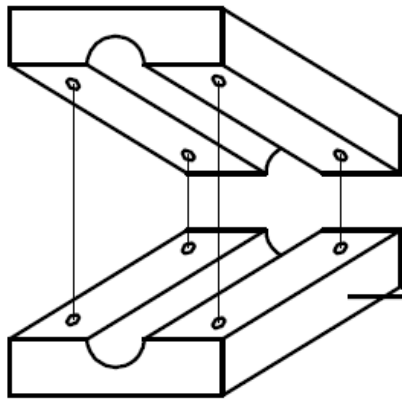
Le matériau en fusion est versé dans un moule fabriqué au préalable. Ce procédé permet l'obtention de pièces complexes.

Moulage non permanent (fabrication unitaire ou petite série)

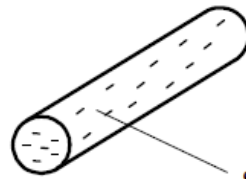
- Sable
- Carapace (mélange sable + résine)
- Modèle perdu (en polystyrène)
- Cire perdue

Moulage permanent (grande série)

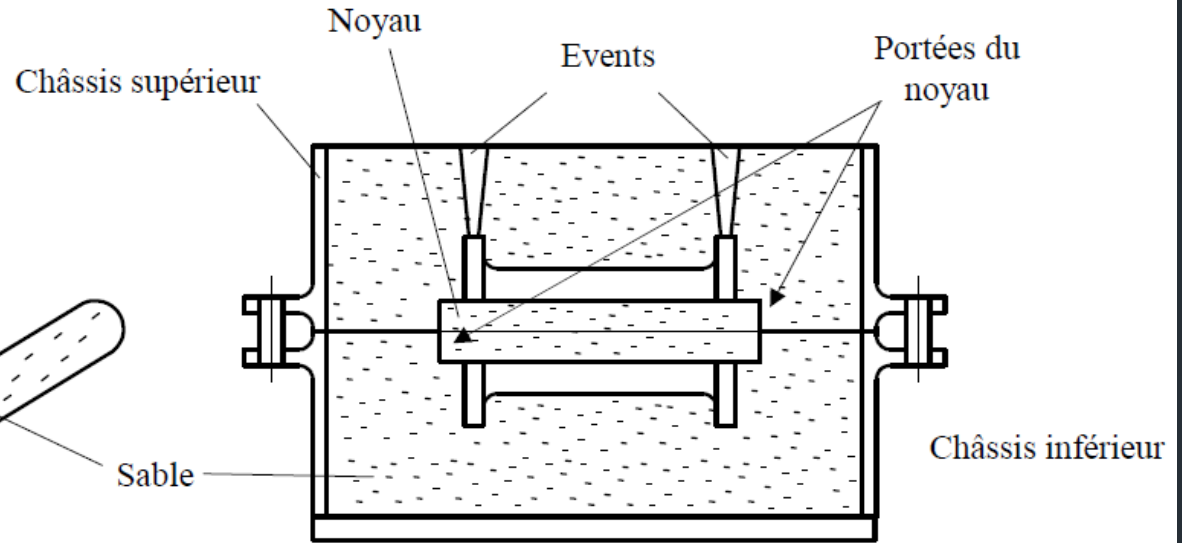
- en coquille par gravité (métal)
- en coquille sous pression (métal)
- Injection plastique



Boite à noyau

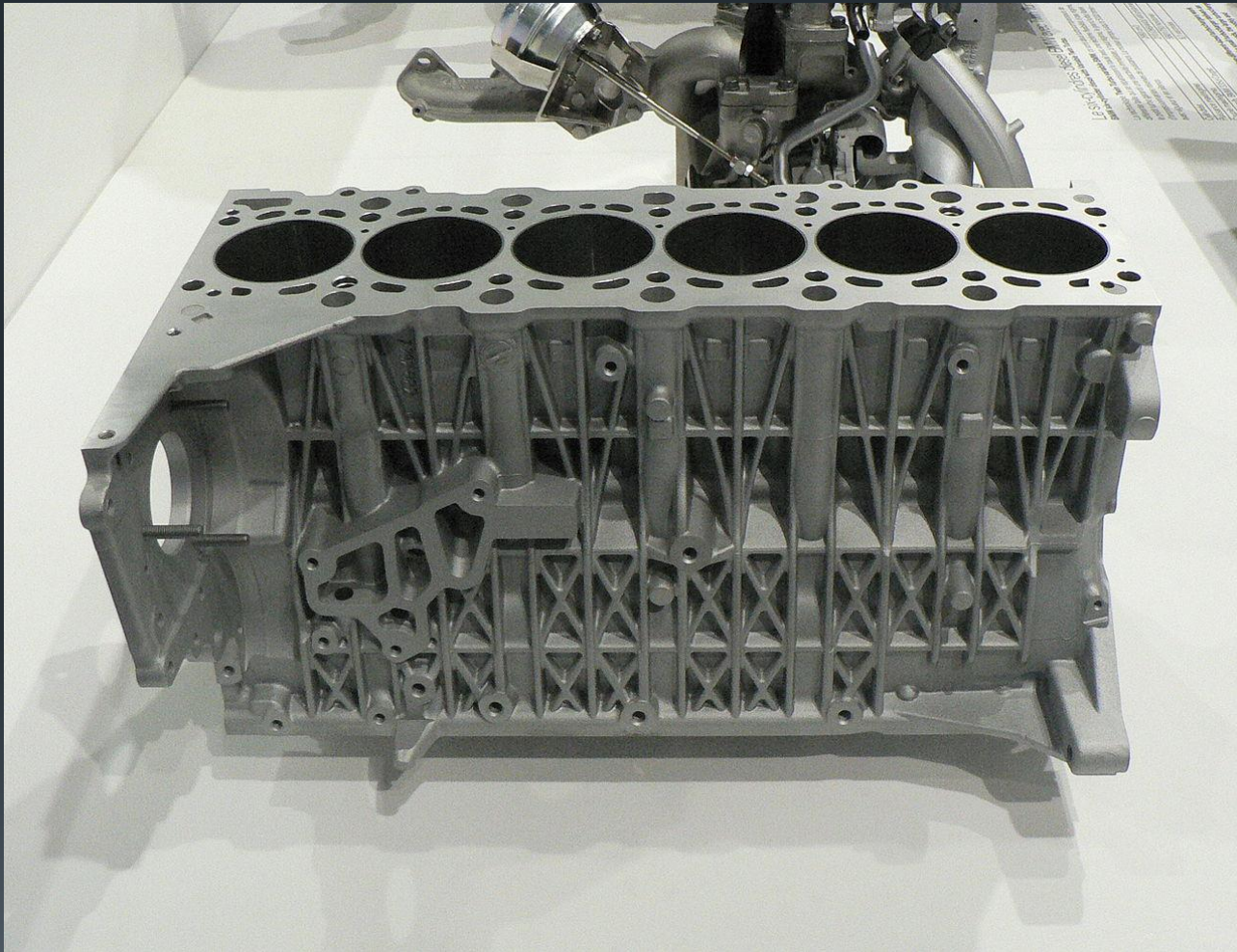


Noyau en sable



Utilisation du noyau

Le moulage :

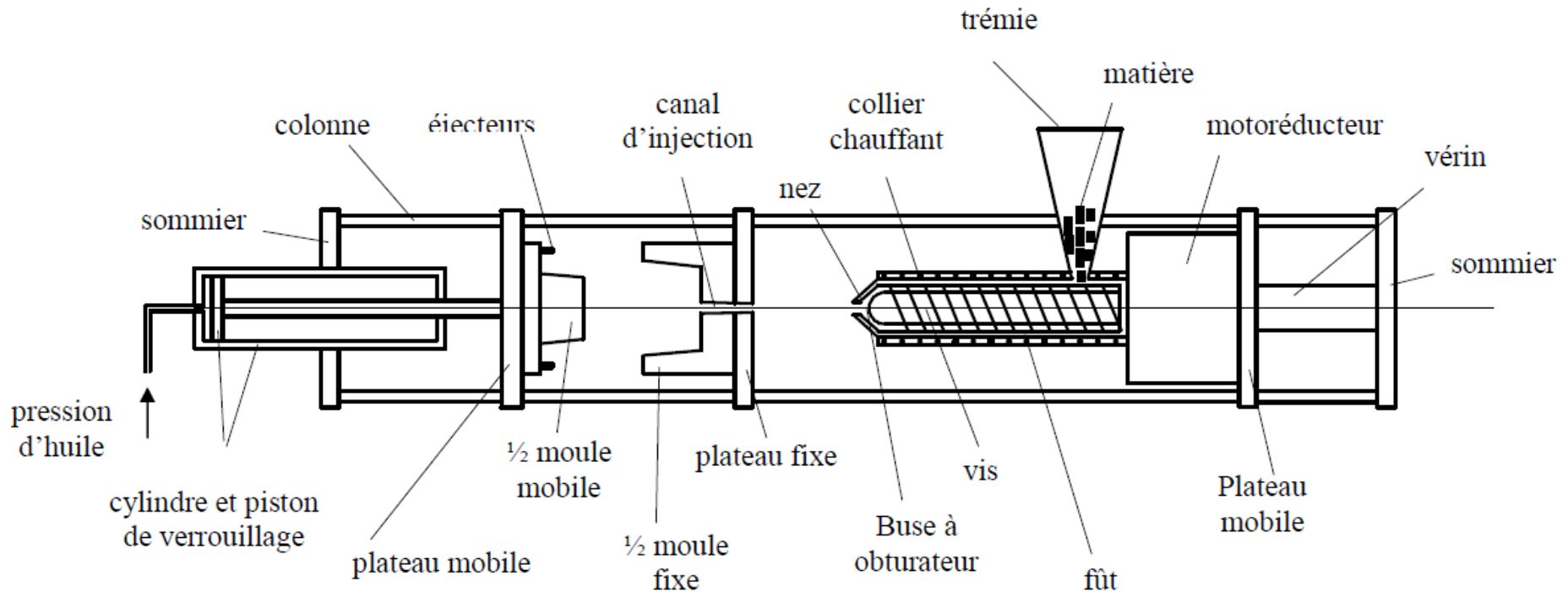




Vidéo moulage bloc moteur

Injection plastique :

Le moulage des plastiques se fait sous pression à l'aide de machines automatisées comme sur l'image ci-dessous.





Vidéo injection plastique

Éléments importants du moulage d'une pièce :


- Réalisation du moule (à la main ou usinage)
- Choix d'un plan de joint adéquat.
- Système d'alimentation en métal liquide (par-dessus ou dessous)
- Ajout des noyaux pour les parties creuses.
- Penser aux événements pour l'évacuation des gaz.
- Penser au démoulage (dépouilles).
- Prendre en compte la contraction du matériau lors du refroidissement.

Pour les moules permanents :

- Penser à chauffer le moule.
- Choisir la bonne pression et vitesse (pour le moulage sous pression).
- Position des éjecteurs.

La fabrication par déformation :

Déformation (à chaud ou à froid)



Travail des métaux à l'état massif

- Forge libre
- Estampage / matriçage
- Extrusion
- ...

La déformation peut se faire :

- à chaud $T^{\circ} > 0,5 * \text{Température de fusion}$
- à froid $T^{\circ} < 0,5 * \text{Température de fusion.}$

La fabrication par déformation :

Déformation (à chaud ou à froid)

```
graph TD; A[Déformation (à chaud ou à froid)] --> B[Travail des métaux à l'état massif]; A --> C[Travail des métaux en feuilles];
```

Travail des métaux à l'état massif

- Forge libre
- Estampage / matriçage
- Extrusion
- ...

Travail des métaux en feuilles

- Emboutissage
- Pliage
- ...

La fabrication par déformation :

Déformation (à chaud ou à froid)

```
graph TD; A[Déformation (à chaud ou à froid)] --> B[Travail des métaux à l'état massif]; A --> C[Travail des métaux en feuilles];
```

Travail des métaux à l'état massif

- Forge libre
- Estampage / matriçage
- Extrusion
- ...

Travail des métaux en feuilles

- Emboutissage
- Pliage
- ...

La déformation peut se faire :

- à chaud $T^\circ > 0,5$ Température de fusion
- à froid $T^\circ < \text{Température de fusion.}$

FORGE LIBRE :

Cette technique doit son nom à la grande liberté du matériau de se déplacer. Elle utilise des outillages standards pour réaliser des pièces simples dont le poids varie de quelques grammes à plusieurs tonnes.





FORGE LIBRE :

Cette technique doit son nom à la grande liberté du matériau de se déplacer. Elle utilise des outillages standards pour réaliser des pièces simples dont le poids varie de quelques grammes à plusieurs tonnes.

ESTAMPAGE :

Cette technique est une sorte de moulage par déformation plastique. La matière première (lopin), préalablement chauffée, est écrasée dans des moules spécifiques (les matrices) par frappes (ou pression) successives.

Note : L'estampage ne concerne que les matériaux ferreux.



FORGE LIBRE :

Cette technique doit son nom à la grande liberté du matériau de se déplacer. Elle utilise des outillages standards pour réaliser des pièces simples dont le poids varie de quelques grammes à plusieurs tonnes.

ESTAMPAGE :

Cette technique est une sorte de moulage par déformation plastique. La matière première (lopin), préalablement chauffée, est écrasée dans des moules spécifiques (les matrices) par frappes (ou pression) successives.

Note : L'estampage ne concerne que les matériaux ferreux.

MATRIÇAGE :

Cette technique est très proche de l'estampage.

La différence avec l'estampage se caractérise en 2 points :

- Le matriçage ne concerne que les matériaux non ferreux.
- Comportement à chaud des matériaux non ferreux moins pâteux.



Vidéo forge libre



EXTRUSION :

Cette technique pratiquée a froid : $T^{\circ} < 0,5 T_f$ oblige un lopin de matière à traverser un orifice (filière).

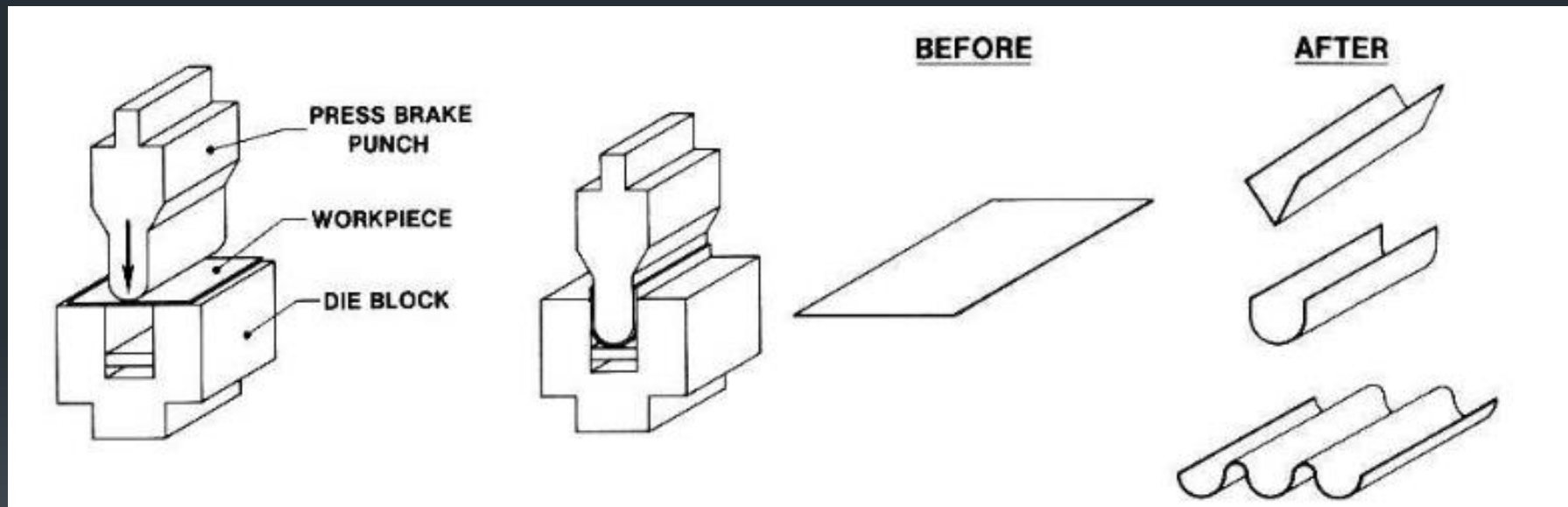
- L'extrusion concerne les matériaux ferreux (aciers avec $\%C < 0,5$) et non ferreux ;
- Efforts de déformation 6 a 10 fois supérieur par rapport a d'autres procédés de formage a chaud ;
- Poids de pièces : quelques grammes a plusieurs dizaines de kg ;
- Outillages élaborés ;
- Phénomène d'écrouissage important nécessitant parfois un Traitement thermique.



Vidéos d'extrusion d'alu et de plastique

PLIAGE :

Une presse exerce une force sur une pièce reposant sur un ou plusieurs appuis ou encastrée à une extrémité. La pièce se déforme au-delà de sa limite élastique et conserve donc sa forme pliée.





EMBOUTISSAGE

L'emboutissage est un procédé de formage par déformation plastique d'une feuille de métal entraînée par un poinçon dans une matrice.

Ce procédé permet d'obtenir rapidement et à moindre frais des tôles embouties.

Exemples:

Portière de voiture

Corps de serrure en tôle emboutie

Récipient de cuisine en tôle emboutie



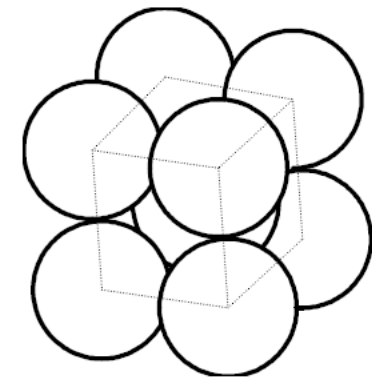
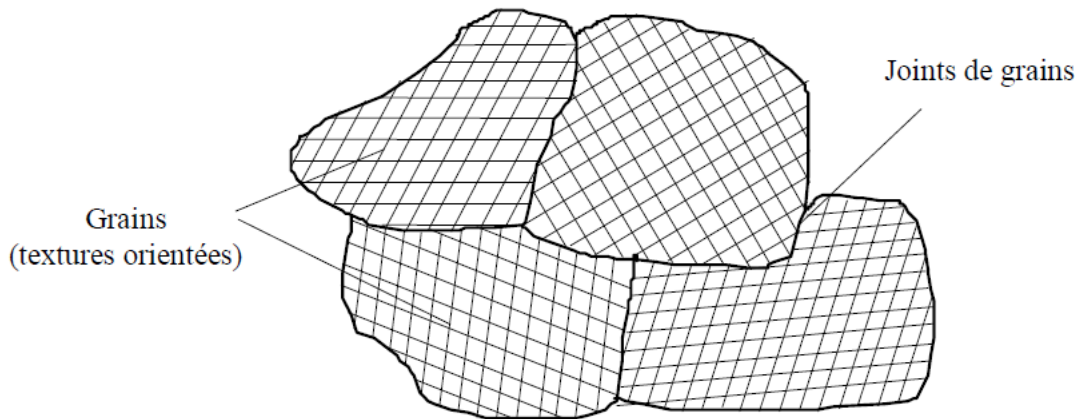
Vidéo portière usine Peugeot

L'écroutissage : effet du forgeage

Les matériaux métalliques sont constitués d'empilements d'atomes selon des structures bien précises. Ces empilements ont une orientation bien déterminée (texture).

On obtient ainsi de petits domaines de même texture qui constituent un **crystal ou grain**.

L'assemblage de ces divers cristaux ou grains forment la structure macrographique du métal.



Empilement d'atomes :
ici : structure C.C (Cubique Centrée = fer)

L'écrouissage : effet du forgeage

Comparé au moulage, le forgeage provoque un resserrement des grains et donc un durcissement du matériau qui le rend plus résistant (on parle d'écrouissage).

En revanche, cela diminue les possibilités de déformation élastique et donc la rupture se fait de manière plus brutale.

L'usinage

En construction mécanique toute opération de mise en forme par enlèvement de matière et qui est destinée à conférer à une pièce des **dimensions** et un **état de surface** situés dans une fourchette de tolérance donnée s'appelle **usinage**

En usinage, on distingue les 3 procédés suivants :

- **Le tournage**
- **Le fraisage**
- **L'électro-érosion**

L'usinage

LE TOURNAGE

Une pièce généralement cylindrique est placée sur un tour qui la met en rotation.

Un outil de coupe tangente alors la pièce et usine donc la surface soit à l'extérieur, soit à l'intérieur. Plusieurs passages sont souvent nécessaires.

Comment reconnaître une pièce tournée ?

Une pièce tournée comporte des formes de révolution : Alésage, arbre, épaulement, ...

L'usinage

LE FRAISAGE

Une pièce est placée sur une fraiseuse. Un outil (la fraise) balaye une surface en plusieurs passes.

Deux types de fraiseuses existent, les fraiseuses à Broche Horizontales et à Broche Verticales.

La fraiseuse Horizontale permet néanmoins une meilleure évacuation des copeaux et du liquide de lubrification.

Comment reconnaître une pièce fraisée : Une pièce fraisée comporte des surfaces planes ou des contours ayant un très bon état de surface.



Vidéo fabrication piston

Les paramètres de coupe :

Vc : vitesse de coupe en m/min

f : avance par tour en mm/tr (tournage)

fz : avance par tour en mm/dent (fraisage)

Vf : vitesse d'avance en mm/min

N : fréquence de rotation en tr/min

D : diamètre de l'outil (fraisage)

D : diamètre de la pièce à usiner (tournage)

Z : nombre de dent de la fraise

a : profondeur de passe

Les formules de coupe :

Fréquence rotation de la broche :

$$N = (1000 * V_c) / (\pi * D)$$

Vitesse d'avance en Tournage :

$$V_f = N * f$$

Vitesse d'avance en Fraisage :

$$V_f = N * f_z * Z$$

L'usinage

L'électroérosion

C'est un procédé qui consiste à enlever de la matière à une pièce conductrice d'électricité.

La pièce et les électrodes baignent dans un liquide diélectrique. La pièce est érodée à l'aide de décharges électriques pour obtenir les dimensions voulues.

Les décharges électriques provoquent la fusion de la matière en surface de la pièce, qui est évacuée ensuite par le liquide diélectrique

Ce procédé est utilisé dans des industries de pointe : aéronautique, optique, horlogerie ...

L'usinage

L'électroérosion

Elle est de trois types :

- Electro érosion par enfonçage : où l'électrode a une forme complémentaire de la pièce à fabriquer
- Electro érosion par fil :
- Perçage par électro érosion

L'usinage

L'électroérosion

Avantages:

- Formes complexes (trou borgnes, carrés ou autre)
- Excellent état de surface
- Usinage de matériaux conducteurs peu importe leur dureté (les aciers traités par exemple)

L'usinage

L'électroérosion

Avantages:

- Formes complexes (trou borgnes, carrés ou autre)
- Excellent état de surface
- Usinage de matériaux conducteurs peu importe leur dureté (les aciers traités par exemple)

Inconvénients:

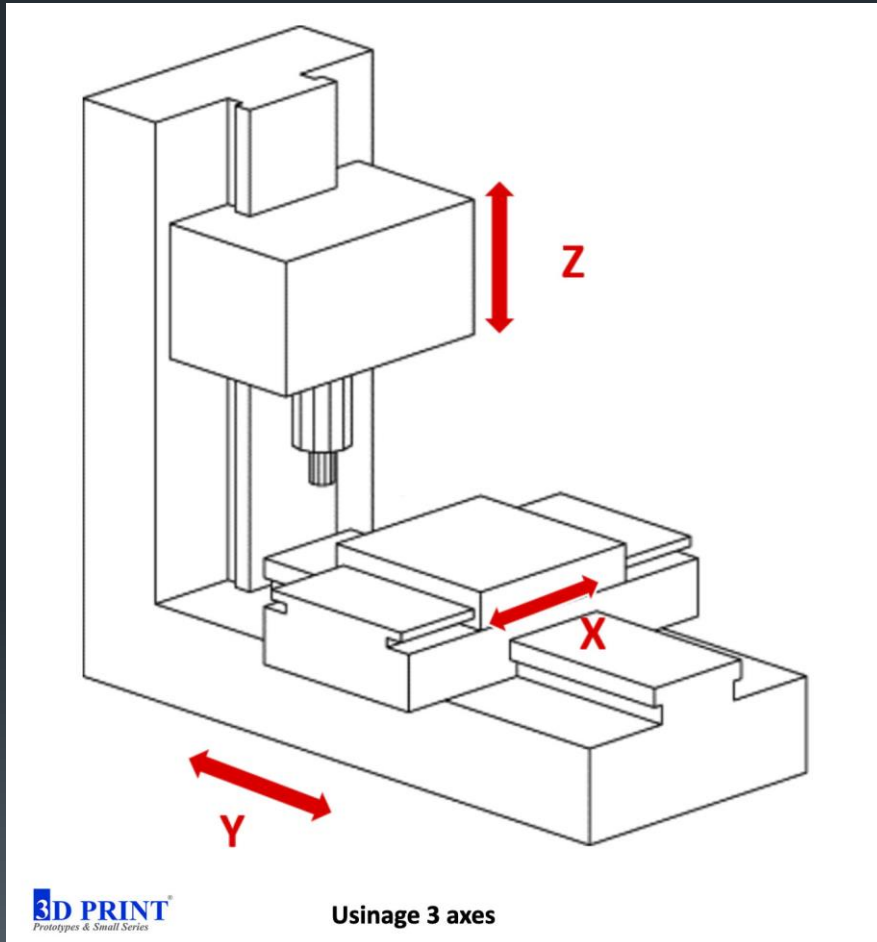
- Consommation énergétique très élevée
- Usure de l'outil (électrode) très rapide
- Procédé lent



Vidéos électro érosion

L'usinage

L'usinage à 3, 4 ou 5 axes



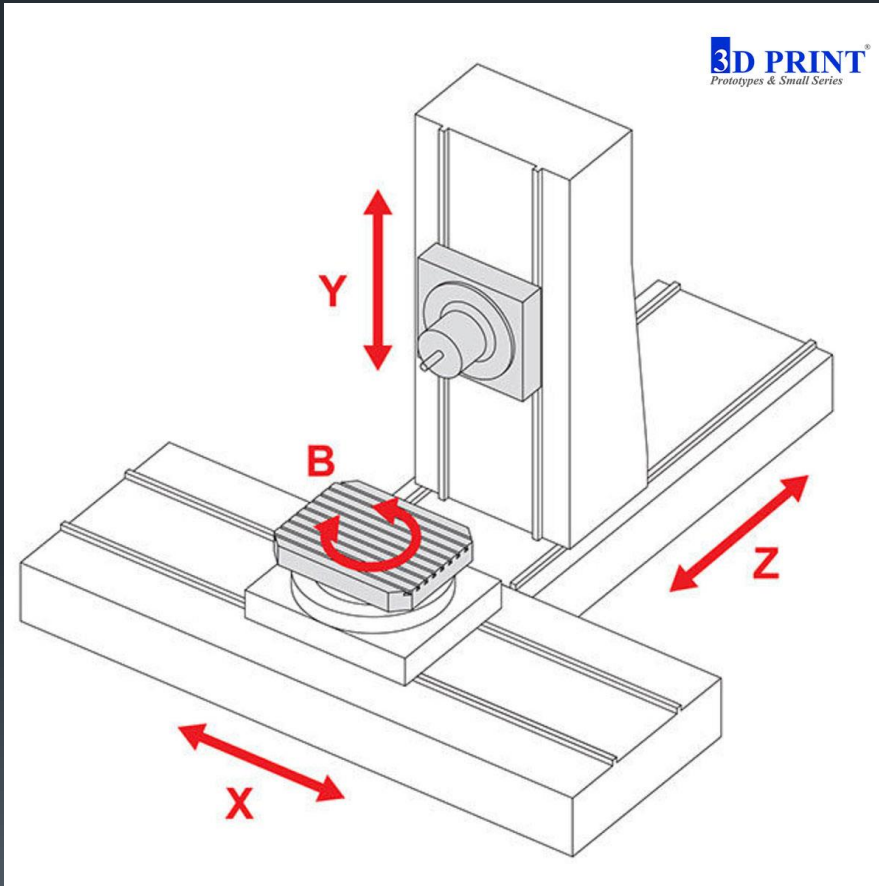
L'usinage à 3 axes :

Le brut est positionné dans l'étau, fixé sur le plateau. L'enlèvement de matière se fait suivant les trois directions de base.

Un changement de position est souvent nécessaire pour accéder aux autres surfaces, donc penser à la MIP/MAP

L'usinage

L'usinage à 3, 4 ou 5 axes



L'usinage à 4 axes :

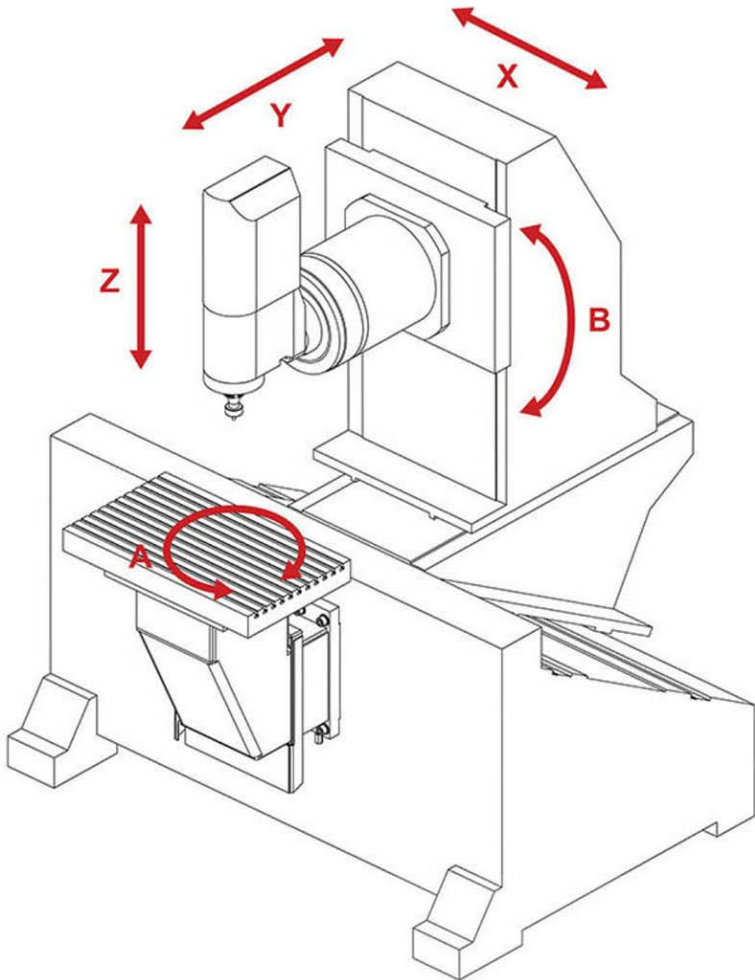
Permet un accès à plus de surfaces de la pièce et donc il y'a moins besoin de démonter la pièce pour changer la position.

Mode indexation : broche désactivée pendant la rotation du plateau qui porte la pièce.

Mode continu : la fraise continue de travailler pendant la rotation du plateau.

L'usinage

L'usinage à 3, 4 ou 5 axes



L'usinage à 5 axes :

Permet un accès à encore plus de surfaces de la pièce sans démontage (critère de reprise optimum).

Permet un gain de temps non négligeable, par contre le montage d'usinage peut être plus complexe pour laisser passer la fraise.

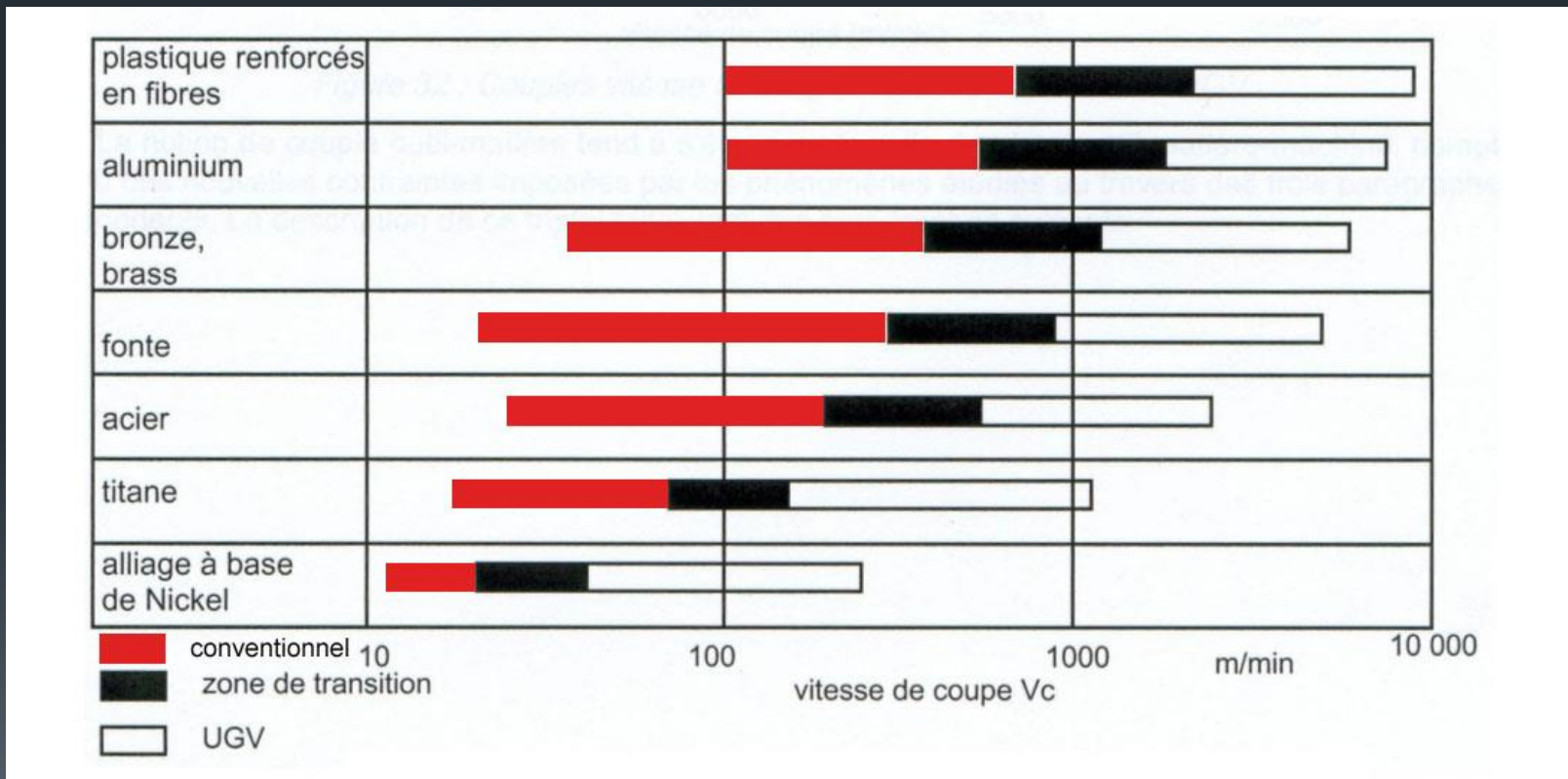


Vidéos machine 5 axes

L'usinage

L'Usinage à Grande Vitesse (UGV)

C'est une technique d'usinage caractérisée par des conditions de coupe jusqu'à dix fois plus élevées qu'en usinage conventionnel.





Vidéo UGV