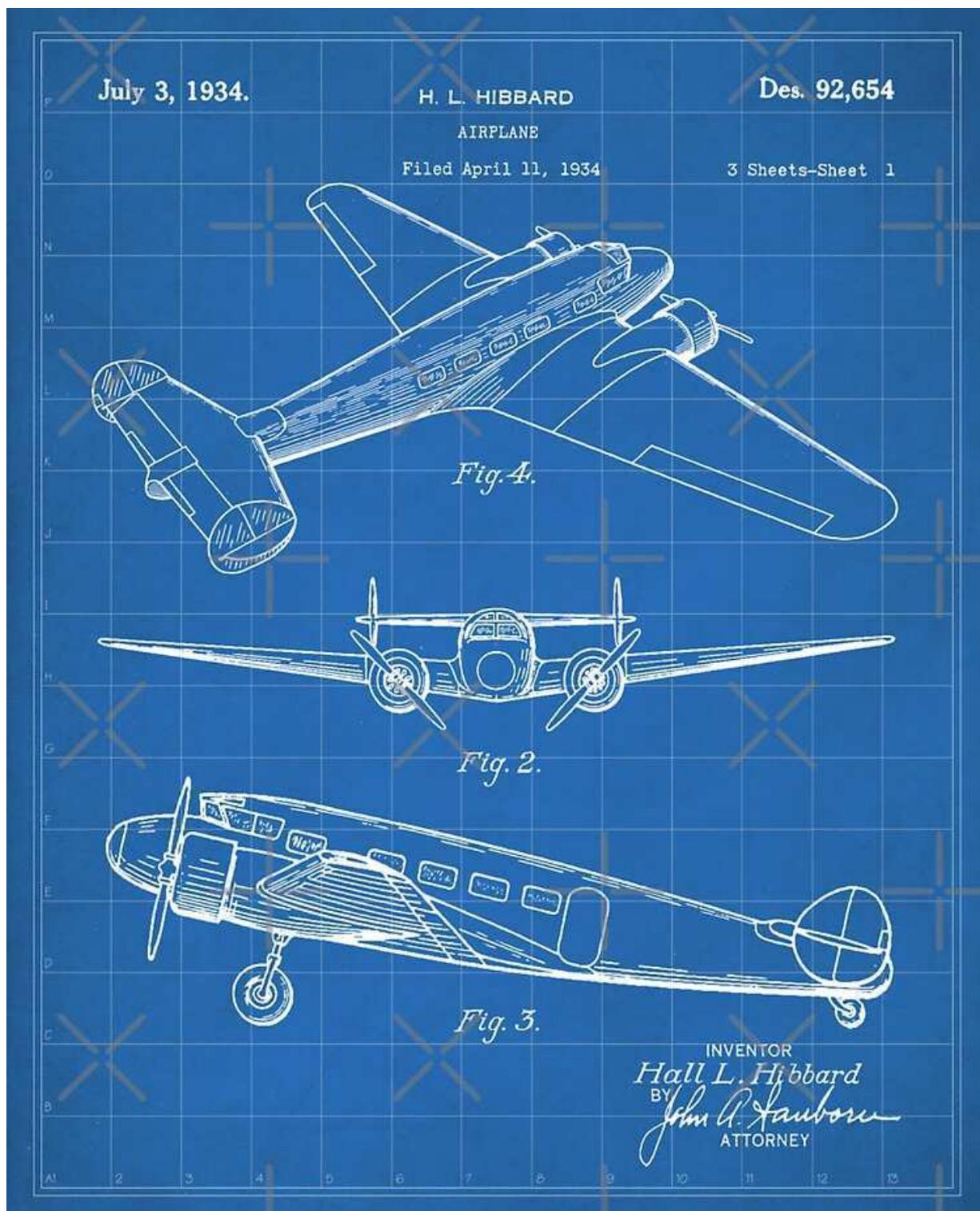


Polycopié de conception

Version 2023 – Equipe GCP



NOM :

Prénom :

Groupe :

Sommaire

Chapitre 1 Démarche de conception	1 à 7		
1.1 Démarche de conception	2		
1.2 Analyse fonctionnelle et cahier des charges	3-4		
1.3 Intention de conception	5		
1.4 Représentations	6		
1.5 Maquette numérique	7		
1.6 Culture technique	8		
Chapitre 2 Communication technique	9 à 22		
2.1 Vocabulaire technique	10		
2.2 Du 3D au 2D : les projections	11		
2.3 Perspectives	12		
2.4 Vues géométrales	13		
2.5 Correspondance des vues	14		
2.6 Types de traits	15		
2.7 Types de dessin	16		
2.8 Types de feuilles	17		
2.9 Choix des vues	18		
2.10 Axe de symétrie	19		
2.11 Forme de révolution	20		
2.12 Coupes et hachures	21-22		
2.13 Sections & co.	23		
2.14 Graphe de Montage	24		
Chapitre 3 Formes et fabrication	25 à 42		
3.1 Formes et surfaces élémentaires	26		
3.2 Fabrication par enlèvement de matière	27		
3.3 Cylindre / épaulement	28		
3.4 Congé / chanfrein	29		
3.5 Rainure de clavette / gorge	30		
3.6 Méplat / rainure prismatique / tenon	31		
3.7 Perçage / Lamage / Fraisure	32		
3.8 Filetage	33		
3.9 Taraudage	34-35		
3.10 Filetage / Taraudage – cotation commune	36		
3.11 Pliage	37		
3.12 Soudage	38		
3.13 Impression 3D	39		
3.14 Découpe laser	40		
3.15 Brochage	41		
3.16 Impossible à fabriquer !	42		
Chapitre 4 Eléments standards	43 à 47		
4.1 Eléments standards & composants méca.	44		
4.2 Vis	45		
4.3 Erou / boulon	46		
4.4 Clavette	47		
4.5 Goupille	48		
4.6 Anneau élastique	49		
4.7 Rondelle	50		
4.8 Coussinet	51		
4.9 Ressorts	52		
		4.10 Joints d'étanchéité	53
		4.11 Chaîne d'action d'un système	54
		4.12 Moteurs	55
		4.13 Vérins linéaires (hors électriques)	56
		4.14 Transmission de puissance par rotation	57-60
		4.15 Transmission par modification de mvt	61-62
		Chapitre 5 Liaisons normalisées	63 à 74
		5.1 Liaison : degrés de liberté	64
		5.2 Surfaces de contact et degrés de liberté	65
		5.3 Classes d'équivalence	66
		5.4 Graphe des liaisons	67
		5.5 Schéma cinématique	68
		5.5.1 Pivot glissant / pivot	69
		5.5.2 Glissière / hélicoïdale	70
		5.5.3 Appui plan / ponctuelle	71
		5.5.4 Rotule / rotule à doigt	72
		5.5.5 Linéaire annulaire / linéaire rectiligne	73
		5.6 Méthodologie	74
		Chapitre 6 Dimensionnement	75 à 83
		6.1 Dimensions : du modèle au réel	76
		6.2 Le pied à coulisse	77
		6.3 Mise en place de la cotation	78
		6.4 Intervalle de tolérance	79
		6.5 Tolérancement normalisé ISO	80
		6.6 Ajustements normalisés ISO	81
		6.7 Types d'ajustements	82
		6.8 Chaînes de cotes	83
		Chapitre 7 Solutions de liaisons	85 à 100
		7.1 Mise en position (la MIP)	86
		7.2 Liaison partielle versus complète	87
		7.3 La pivot	88-92
		7.4 La glissière	93-94
		7.5 Liaison complète : appui plan	95-96
		7.6 Liaison complète : par cylindre	97-99
		7.7 Maintien en position (le MAP)	100
		Chapitre 8 Eco-conception	101 à 111
		8.1 Eco-conception	102
		8.2 Règles d'éco-conception	103-106
		8.3 Matériaux	107
		8.4 Les aciers	108
		8.5 Les alliages d'aluminium	109
		8.6 Le cuivre	110
		8.7 Les plastiques	111

Sommaire CAO

Chapitre CAO 1. Généralités	1 à 14
1.1 Maquette numérique	2
1.2 Types de Fichiers SolidEdge	3
1.3 Principe de génération de volume	4
1.4 SolidEdge : les débuts	5
1.5 SolidEdge : l'interface	6
1.6 Fonctions de visualisation 3D	7
1.7 Générer une forme	8
1.8 Bien contraindre une esquisse	9
1.9 Bien construire une pièce	10
1.10 Fonctions de Formes (Perçage, Trou oblong, Nervures, ...)	11
1.11 Annotations du modèle 3D	12
1.12 Propriétés de masse	13
Vos notes	14

Chapitre CAO 2. Pièces (fichier *.par)	15 à 30
2.1 L'edgebar	16
2.2 L'Esquisse	17
2.3 Fonction Extrusion	18
2.4 Fonction Révolution	19
2.5 Fonction Congé/chanfrein	20
2.6 Fonction Perçage (3 slides)	21-23
2.7 Fonction Filetage	24
2.8 Fonction Symétrie	25
2.9 Fonction Matrice (2 slides)	26-27
2.10 Pièces de Tôlerie (fichier *.psm)	28
2.11 Modifier une pièce	29
2.12 Matériaux des pièces	30

Chapitre CAO 3. Assemblages (*.asm)	31 à 36
3.1 Assemblage : méthodologie	32
3.2 Contraindre l'assemblage	33
3.3 Fonctions d'assemblage	34
3.4 L'Edgebar en mode assemblage	35
Vos notes	36

Chapitre CAO 4. Mises en plan (*.dft)	37 à 46
4.1 Créer une Mise En Plan de pièce (MEP)	38
4.2 Les vues en coupe	39
4.3. Coupe de la vue de face	40
4.3 Habillage d'une mise en plan	41
4.4 Cotation	42
4.5 Remplir le cartouche d'une MEP	43
4.6 Mise en plan d'un assemblage	44
4.7 Nomenclature	45
Vos notes	46

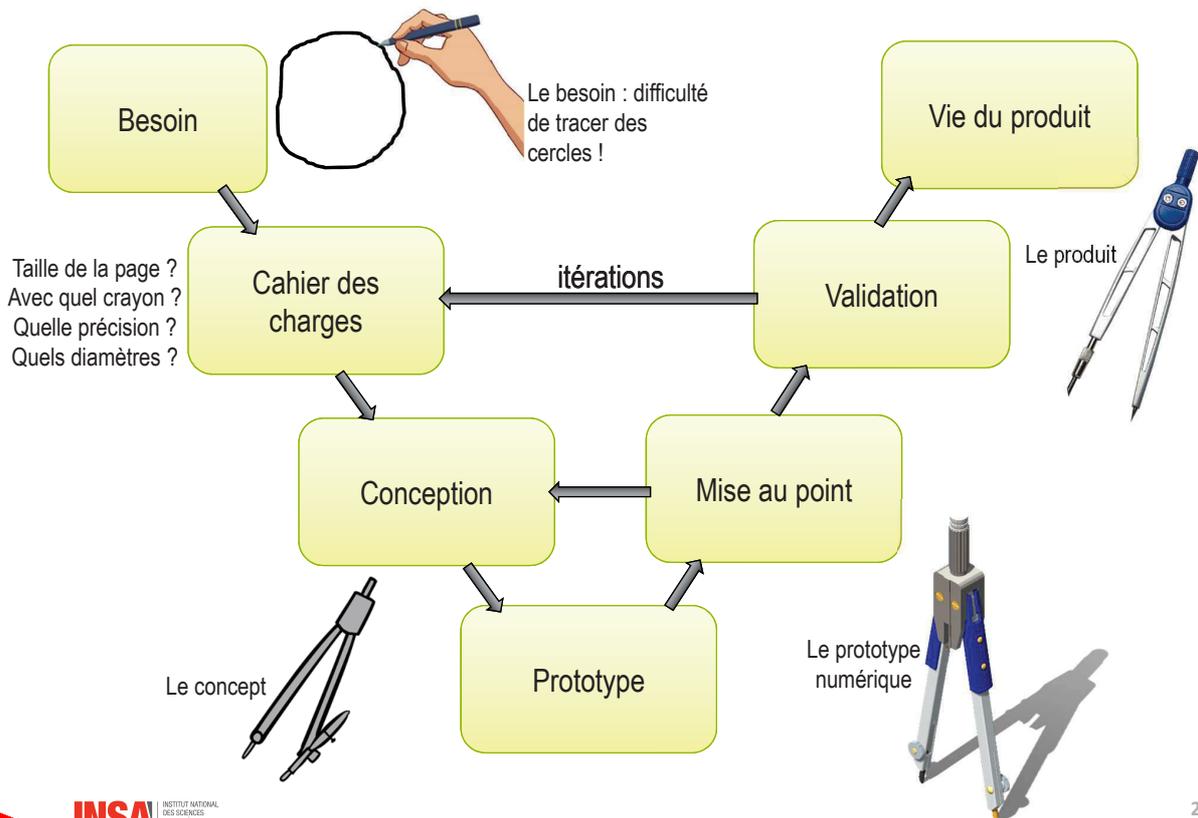
Chapitre CAO 5 Gestion et liens	47 à 54
5.1 Liens entre fichiers SE	48
5.2 Tableaux des variables	49
5.3 Liens dynamiques Excel / SE	50
5.4 Manipulation de fichiers	51
5.5 Gestionnaire de propriétés	52
5.6 Bibliothèque de pièces FIMI	53
Vos notes	54

Chapitre CAO 6 « Trucs et astuces »	55 à 83
6.1 Trucs généraux à ne pas oublier...	56
6.2 Astuces esquisses	57
6.3 Astuces d'assemblage	58
6.4 Astuces de mise en plan	59
Vos notes	60

Chapitre 1. Démarche de conception

- 1.1 Démarche de conception
- 1.2 Analyse fonctionnelle et cahier des charges (2 slides)
- 1.3 Intention de conception
- 1.4 Représentations
- 1.5 Maquette numérique
- 1.6 Culture technique

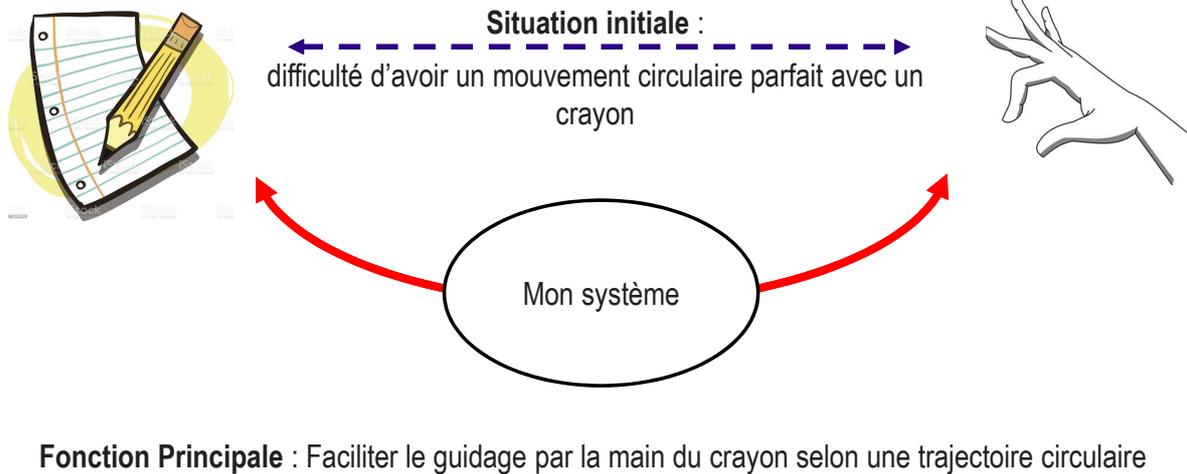
1.1 Démarche de conception



1.2 Analyse Fonctionnelle (1/2) : analyse du besoin

Quoi ? L'analyse du besoin permet de décrire un besoin de façon très détaillée et structurée en restant concentré sur le résultat à obtenir. **Le besoin** s'exprime sous la forme de **fonctions de service** : à quoi ça sert ? Ces fonctions sont divisées en **fonctions techniques** : comment fait-on pour rendre le service ?

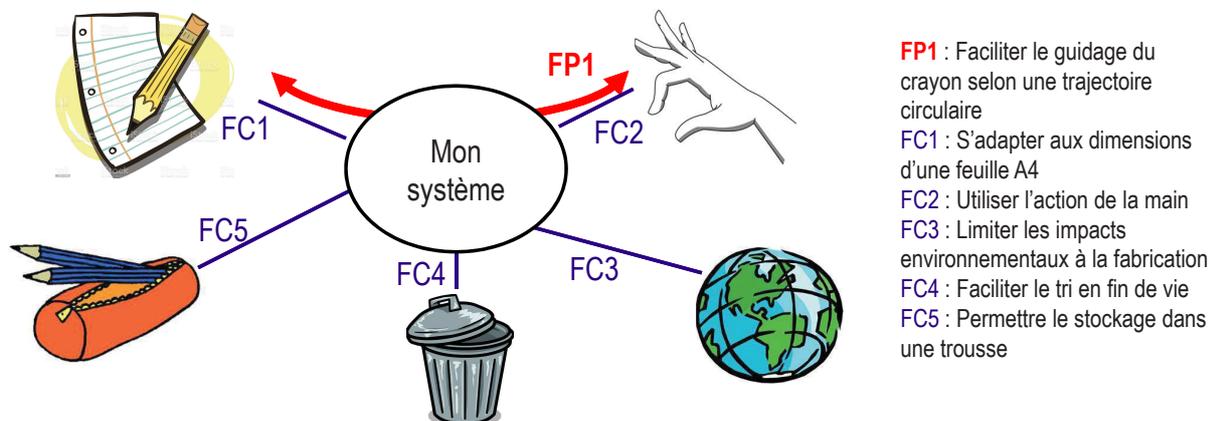
Comment ? Recenser les éléments du problème (feuille, crayon, main...). Exprimer ce qui ne vas pas entre ces éléments. **L'action réalisée** par le système pour répondre au problème est appelée **Fonction Principale FP**.



1.2 Analyse Fonctionnelle (2/2) : cahier des charges

Quoi ? Le cahier des charges fonctionnel décrit le besoin sous la forme d'exigences fonctionnelles (qu'est ce qu'on doit faire ?) et non sous forme de moyens (comment va-t-on faire ?). Il mentionne **les fonctions** à assurer ainsi que **les critères** permettant de savoir si celles-ci sont remplies. On distingue la/les Fonctions Principales (FP) qui permettent de répondre aux besoins exprimés, des Fonctions Contraintes (FC) qui découlent des interactions avec le milieu. Pour trouver les FC, on liste les éléments du milieu extérieur (interacteurs) avec lesquels le système va avoir une interaction.

NB : pour chaque critère un ou plusieurs niveaux quantitatifs sont associés. Chaque niveau peut être associé à une flexibilité qui traduit sa priorité dans la conception.

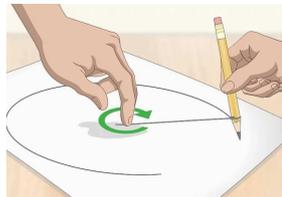


- **Une fonction = Verbe d'ACTION + complément.**
- **Les interacteurs systématiques :** la Terre (pour la fin de vie et pour l'environnement), une source d'énergie, des déchets, un objet sur lequel le système agit, les normes à respecter...

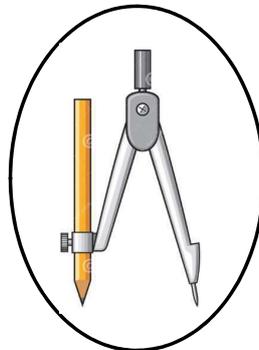
1.3 Intention de conception

Quoi ? L'intention de conception est la solution qui présente le meilleur équilibre entre la satisfaction du besoin et les ressources nécessaires pour le satisfaire (coût, temps, impact environnementaux, complexité, difficulté de fabrication etc.).

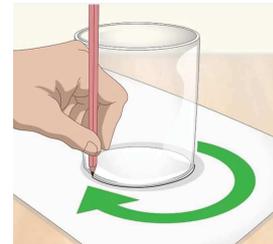
Comment ? Proposer des solutions en s'inspirant de systèmes existants. Ne pas hésiter à regarder dans des domaines relativement éloignés du problème initial. Évaluer vos solutions selon les critères du cahier des charges. Si possible faire ce travail en groupe !



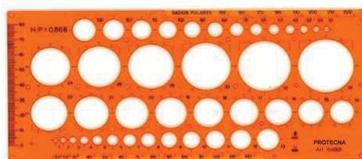
Un simple fil !



Un compas



Une pièce modèle



Un trace-cercle



Un élastique

1.4 Représentations

Quoi ? Il est nécessaire d'avoir des représentations simplifiées de l'intention de conception pour faciliter la conception et le dialogue entre différentes personnes, car tant que le produit n'est pas fabriqué, il n'existe que sous forme de **modèle** !

Schéma cinématique minimal

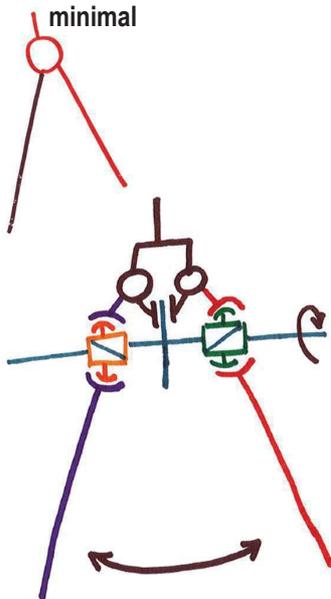


Schéma cinématique détaillé (en 2D)

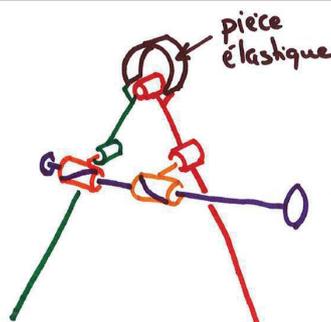
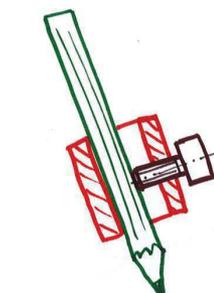
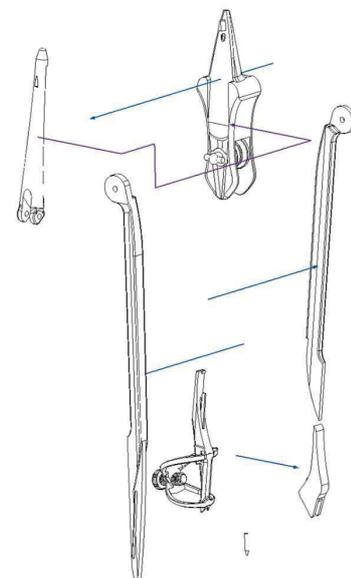


Schéma cinématique détaillé (en 3D)



Vue en coupe d'une partie de l'assemblage

Voir fiches Chapitre 2

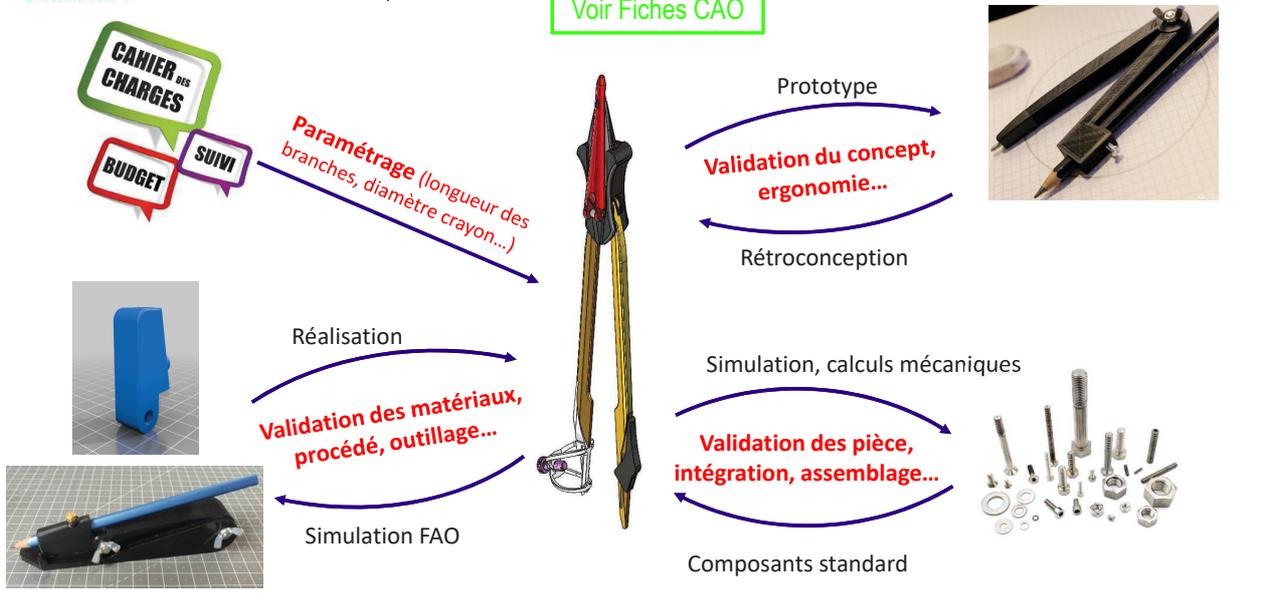


Perspective éclatée de la solution modélisée numériquement

1.5 Maquette numérique

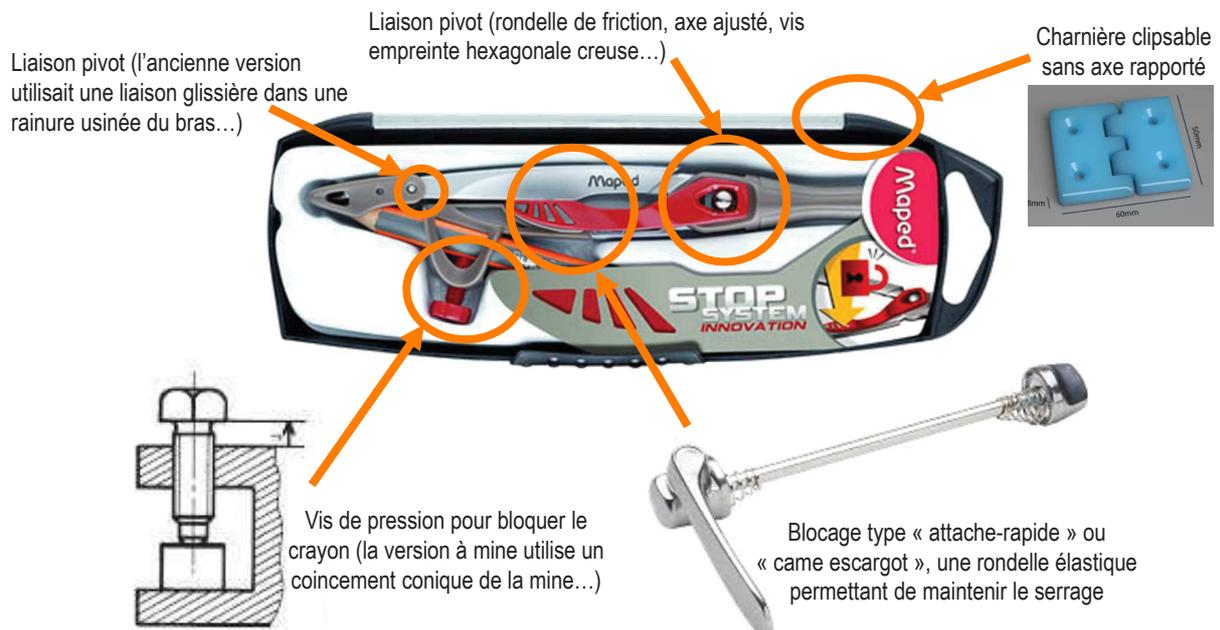
Quoi ? La maquette numérique unique et paramétrée permet de centraliser les données du produit et d'en suivre l'évolution. Intégrée à un réseau et à des machines à commandes numériques, elle devient le support d'une chaîne numérique de conception. Cette maquette évolutive permet à tous les acteurs de travailler simultanément, réduisant les délais tout en augmentant la qualité grâce à l'intégration de tous les champs de la culture technique.

Comment ? Recenser les éléments du problème.



1.6 Culture technique

Quoi ? 1% de nouveauté, 99% d'existant ! Un système technique est souvent un assemblage de solutions robustes et éprouvées dont il faut connaître l'existence. C'est la culture technique indispensable à tout travail de conception mécanique. Pour celui qui a l'œil aguerri, ces solutions sont présentes dans de nombreux produits de la vie de tous les jours, même les plus simples...



Chapitre 2. Communication technique

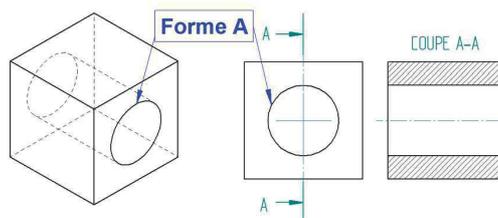
- 2.1 Vocabulaire technique
- 2.2 Du 3D au 2D : les projections
- 2.3 Perspectives
- 2.4 Vues géométrales
- 2.5 Correspondance des vues
- 2.6 Types de traits
- 2.7 Types de dessin
- 2.8 Types de feuilles
- 2.9 Choix des vues
- 2.10 Symétrie
- 2.11 Forme de révolution
- 2.12 Coupes et hachures (2 slides)
- 2.13 Sections & co.
- 2.14 Graphe de Montage

2.1 Le vocabulaire technique

C'est quoi? Le vocabulaire technique fait partie des outils de communication technique. Il est généralement spécifique à un **corps de métier**.
Exemple: la mécanique, le bâtiment, le textile, la menuiserie, etc. Une même forme peut avoir plusieurs dénomination **en fonction d'un point de vue**.

Il arrive que l'on mélange le vocabulaire provenant de différents points de vue lors d'un échange technique avec une personne. Cependant, **en génie mécanique**, il y a du vocabulaire qui reste fondamental: **épaulement, chanfrein, rainure, perçage, taraudage, filetage, gorge...**

Exemple d'interprétation:



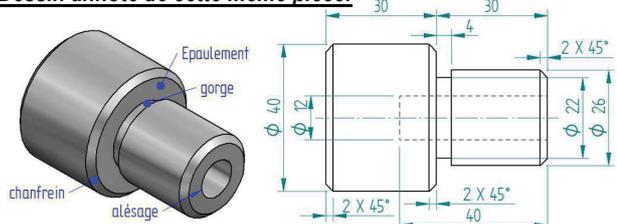
- D'un point de vue **géométrique** la forme A peut s'appeler **cylindre intérieur traversant**
- D'un point de vue **fonction technique** la forme A peut s'appeler **trou débouchant de passage de vis**
- D'un point de vue **fabrication** la forme A peut s'appeler **perçage ou alésage**

Pourquoi il vaut mieux un dessin annoté qu'un « long discours » :

Description littérale d'une pièce (long discours):

Dessiner une pièce de morphologie générale cylindrique ayant un côté épaulé de longueur égale à la moitié de la longueur de la pièce. La pièce a un alésage non débouchant à fond plat de longueur supérieure à celle de l'épaulement. L'alésage débute du même côté que l'épaulement. Toutes les arêtes extérieures sont chanfreinées. L'intersection du cylindre et du plan de l'épaulement reçoit une gorge dont le plan de symétrie est radial à l'axe principal de la pièce.

Dessin annoté de cette même pièce:

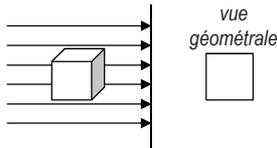


2.2 Du 3D au 2D : les projections

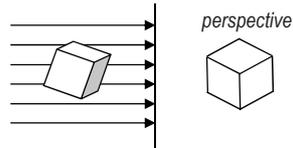
C'est quoi? Une représentation 2D (sur feuille ou mur) de la réalité volumique (3D) s'effectue par **projection de points du volume sur un plan** et se traduira par une « réduction » de la réalité.

Il existe une multitudes de techniques pour réaliser ce passage 3D-2D, donnant un rendu plus ou moins « réaliste ». Les **projections orthogonales** (qui permettent de garder le parallélisme) sont les plus utilisées en dessin technique.

Dans le cas où la pièce est alignée avec la direction de projection, on appelle le résultat de la projection une « **vue géométrale** »



Dans le cas où la pièce n'est **PAS alignée** avec la direction de projection, on appelle le résultat de la projection une « **perspective** »

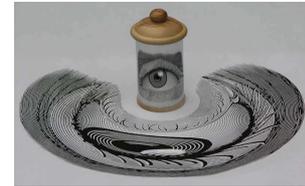


A l'inverse, on peut parfois utiliser le principe de projection afin de donner un illusion réaliste depuis un point de vue donné, c'est le cas des anamorphoses (planes ou cylindriques).

Point historique : le principe de perspective nous paraît évident aujourd'hui, mais ce n'est qu'à la renaissance que les perspectives ont commencé à être utilisées et comprises. Par exemple, les formes circulaires deviennent des ellipses en perspectives : pas si évident !



Anamorphose



Anamorphose cylindrique

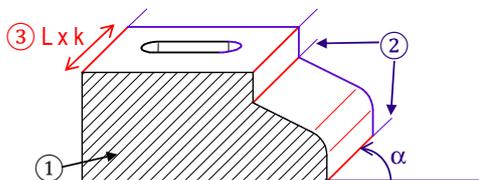


Deux auréoles (Wikipédia)

2.3 Perspectives

C'est quoi? La vue en perspective est un projection permettant de s'imaginer une pièce en volume plus facilement que des vues géométrales (voir fiche 2.4). Il existe plusieurs sortes de perspectives (voir carnet de croquis) :

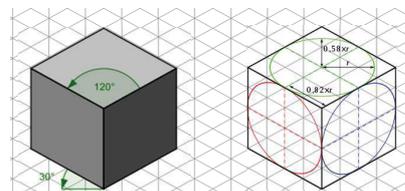
La perspective cavalière : on dessine une vue de face (projection orthogonale, voir 2.4), et l'épaisseur de la pièce par des « lignes de fuites » inclinées d'un angle α . Souvent, on choisit $\alpha=45^\circ$ et $k=0,5$.



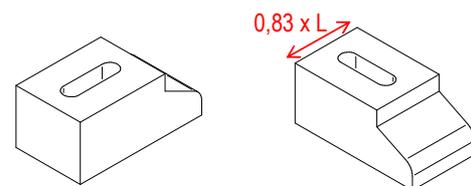
Méthodologie : sur trame cavalière (petits carreaux)

- ① choisir la vue de face de la pièce, puis la dessiner inchangée
- ② tracer les lignes de fuite parallèles orientée d'un angle α
- ③ arrêter les lignes de fuite à la profondeur de la pièce réduite du coefficient k

La perspective isométrique : les 2 faces de la pièces avant sont à 120° symétriquement. Les proportions sont conservées dans toutes les directions mais réduites d'un facteur $\sim 0,82$.



On utilise la trame isométrique pour aider au dessin



Votre attention s'il vous plaît : ces 2 perspectives ressemblent à de la 3D mais ne sont que des approximations de la réalité. Pour s'approcher du réel, il faudrait dessiner des lignes de fuites convergentes vers l'horizon (ce qui est fait en peinture par exemple). Cependant, les lignes convergentes font « perdre le parallélisme », ce qui n'est pas souhaité en dessin technique.

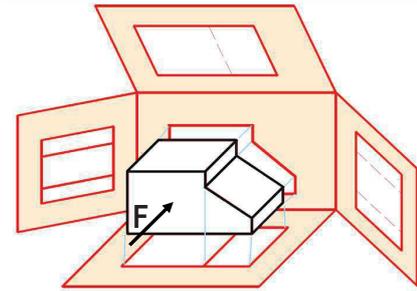
Usages : Dans la vie d'un ingénieur, les **perspectives à main levée** sont souvent utilisées pour décrire rapidement une pièce. Mais elles vous seront bien utiles dans la vie de tous les jours : même en dehors des cours de conception !

2.4 Vues géométrales

C'est quoi? Les représentations normalisées en dessin technique sont les **vues géométrales** obtenues par projection orthogonales de l'objet sur les faces du « **cube de projection** » comme illustrée ci-contre.

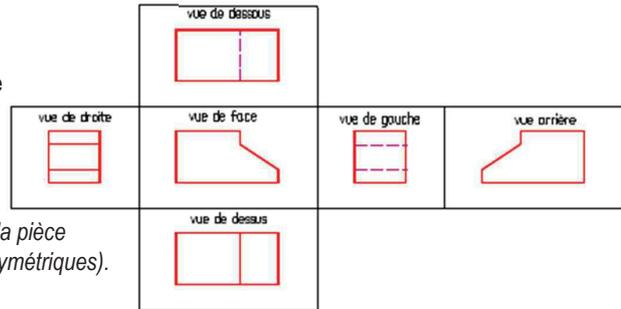
Méthodologie :

- Positionner la pièce dans une **boîte en carton imaginaire**
- Choisir une vue principale (**vue de face**) que l'on projette sur la face du cube arrière
- Projeter ensuite chaque vue sur la face du cube derrière elle
- **Déplier la boîte** et voir les **6 vues** : face, arrière, droite, gauche, dessus et dessous



Votre attention s'il vous plaît :

- la **vue de gauche** se situe à **droite** de la vue de face !
- et inversement la **vue de droite** se situe à **gauche** de la vue de face
- la **vue de dessus** se trouve **en dessous** de la vue de face,
- et ... la **vue de dessous** se trouve **au dessus** de la vue de face



NB : les 6 vues ne sont pas toujours nécessaires, en particulier quand la pièce possède des symétries (dans l'exemple, vue de face et arrière sont symétriques). Souvent, 2 ou 3 vues suffisent à définir totalement une pièce.

Le symbole de la norme utilisée pour l'agencement des vues est un cône tronqué dans 2 vues :

Ca sert à quoi? Les vues projetées permettent de définir entièrement la géométrie d'une pièce, **contrairement à une perspective** qui peut parfois être ambiguë.

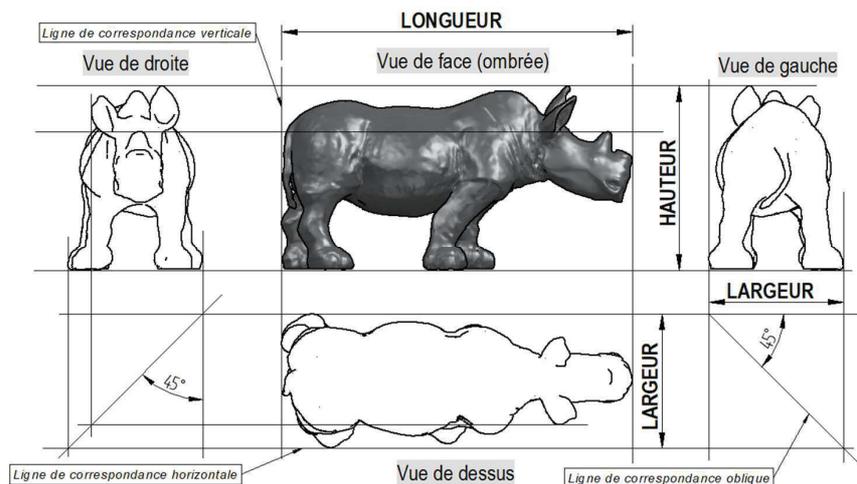
2.5 Correspondance des vues

C'est quoi?

Conséquence du mode de « dépliage » du cube de projection, les différentes projections regroupées dans un même dessin **sont alignées les unes par rapport aux autres**.

On parlera de correspondance verticale, horizontale et oblique (droite à 45°)

*NB : La ligne de correspondance oblique s'appelle aussi **ligne de rappel**.*



Ca sert à quoi?

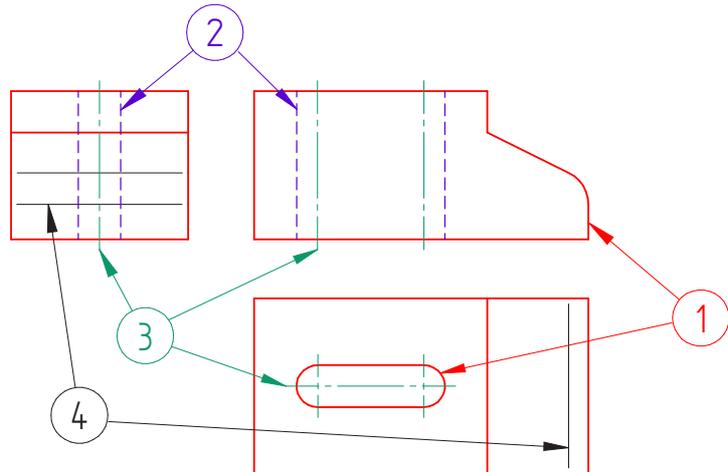
- En mode « **lecture de dessin** », la correspondance des vues facilite la compréhension des formes d'une pièce.
- En mode « **écriture de dessin à la main** », cette correspondance permet de construire des vues les unes par rapport aux autres, on parlera de **lignes de construction**.
- En mode « **réalisation de dessin sur un logiciel de CAO-DAO** » (type SolidEdge), pas besoin de ces lignes !

Un peu d'histoire : A l'époque du dessin industriel papier (pas si loin que ça), les dessinateurs effaçaient ensuite ces lignes pour ne pas surcharger le dessin et sa lecture.

2.6 Types de traits

C'est quoi? Les vues contiennent différents **types de traits** :

1. **Trait continu fort** d'épaisseur e :
 - contours et arêtes visibles d'une pièce
2. **Trait interrompu fin** d'épaisseur $e/2$:
 - arêtes cachées (y compris filetages/tarudages)
3. **Trait mixte fin** d'épaisseur $<e/2$:
 - axes et plans de symétrie
 - plans de coupes
 - primitives d'engrenages
4. **Trait continu fin** d'épaisseur $<e/2$:
 - arêtes tangentes (et fictives)
 - filetages et tarudages
 - hachures dans une coupe/section
 - lignes de cotes
5. **Trait mixte fin à 2 tirets** d'épaisseur $<e/2$ (non représenté ici) :
 - contours de pièces, encombrement



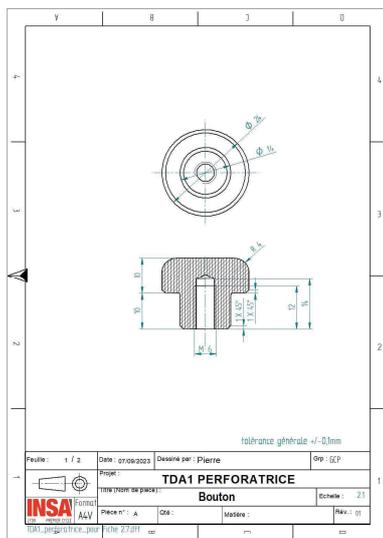
NB : les différences d'épaisseurs de traits peuvent être obtenues en utilisant des mines de crayon de diamètre différents (critérium de 0,5 et 0,7mm), ou en appuyant plus ou moins sur le crayon (si vous n'avez pas 2 sortes de crayon).

Ca sert à quoi? Ce sont des **conventions** qui constituent un langage commun, et qui permettent de limiter les ambiguïtés lors de l'interprétation d'un dessin. Un logiciel de CAO utilisera aussi ces règles de tracé (même si elle restent modifiables par l'utilisateur).

2.7 Types de dessin

Dessin de définition

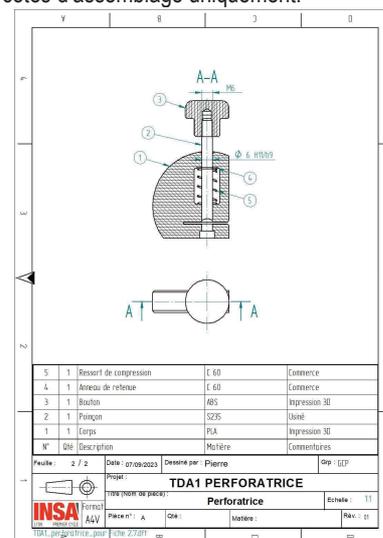
Pour définir **une seule pièce** à l'aide de plusieurs vues et une cotation complète, qui permettra de fabriquer la pièce.



Cartouche : les dessins possèdent un cadre (en bas / à droite) contenant titre du dessin, logo de l'entreprise, échelle du dessin, date, dessinateur ...

Dessin d'ensemble

Représente **plusieurs pièces assemblées** (tout ou partie d'un système) et permet de comprendre le fonctionnement du système. Contient les cotes d'assemblage uniquement.



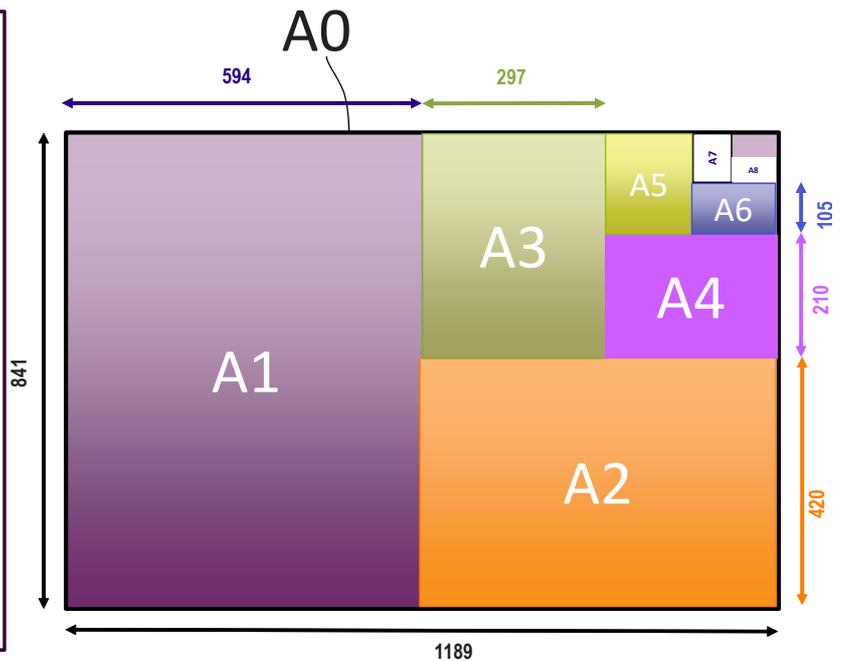
Nomenclature : au dessus du cartouche, un tableau donne la numérotation (et quelques caractéristiques) des pièces de l'assemblage, le n° étant reporté dans des bulles sur le dessin.

2.8 Types de feuilles

Les dessins techniques sont réalisés sur des formats standards :

- le format A4 « 21 x 29,7 » (en cm) que vous utilisez quotidiennement
- les autres formats, A0 à A8 sont tous **reliés entre eux** par l'illustration ci-contre :
 - le ratio entre les 2 cotés d'un format est $\sqrt{2}$ (oui : $29,7/21 = \sqrt{2}$)
 - un format plié en deux donne le format suivant (A3 plié en deux donne A4)
 - le plus grand format A0, fait 1189mm sur 841mm et fait donc 1m^2 de surface

NB : il existe d'autres formats standard, comme les B ou les formats de toiles de peintures, mais nous utiliserons les A



Usages

- l'unité utilisée en conception est le **mm**.
- les dessins de définitions sont souvent en format A4, et les dessins d'ensemble au format A3 (plus grand).

2.9 Choix des vues

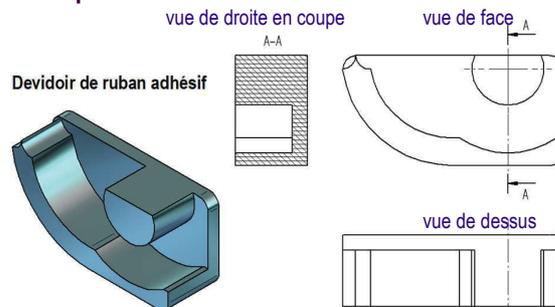
Informations de mise en œuvre:

- La **vue de face** est généralement la vue qui donne le plus d'informations sur la pièce.
- Les vues choisies sont celles qui permettront d'avoir le **moins de parties cachées**.
- Le choix de l'échelle doit permettre de voir un maximum de détail.
- Pour une **pièce de révolution**, 1 à 2 vues peuvent être suffisantes.
- Pour une **pièce de forme générale parallélépipédique (pièce prismatique)**, 2 à 3 vues seront nécessaires.
- Dans le cas d'une pièce avec des formes intérieures, une vue de face en coupe peut être intéressante.
- En DAO (Dessin Assisté par Ordinateur) la vue en perspective est très utile et « facile à faire ».

Pièce de révolution:



Pièce prismatique:

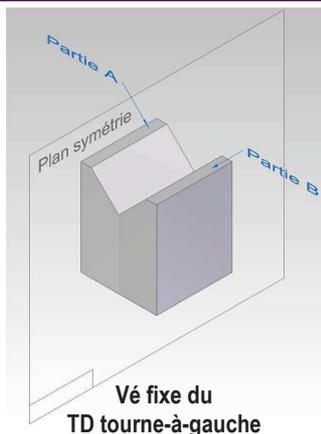


Ca sert à quoi? Il faut plusieurs vues pour **définir complètement** les formes d'une pièce. Mais attention à ne pas surcharger le dessin par trop de vues (inutiles à la compréhension). Il faudra aussi **ajuster l'échelle** du dessin au format de papier utilisé (ou inversement) afin de remplir la feuille au mieux (sans pour autant que les vues ne se touchent !).

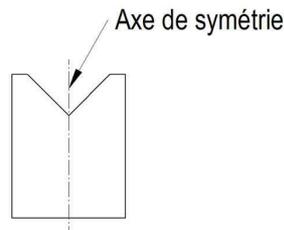
2.10 Symétries

Notion d'axe de symétrie:

Le plan de symétrie partage une pièce en deux parties « identiques ». La pièce ci-contre admet un plan de symétrie.



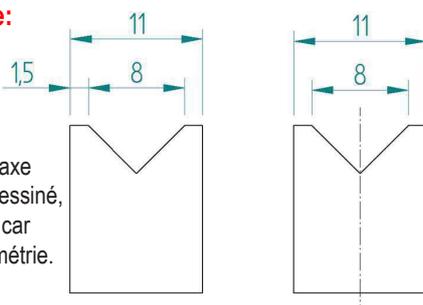
La projection dans la vue de face donne un axe de symétrie tracé en trait mixte fin (voir fiche 1.5) :



NB : Rappelons que le dessin d'un axe de symétrie d'une vue n'est pas obligatoire... mais **fortement recommandé** !

Utilisation de l'axe de symétrie:

L'indication d'un axe de symétrie facilite la compréhension du dessin et peut en simplifier la cotation.



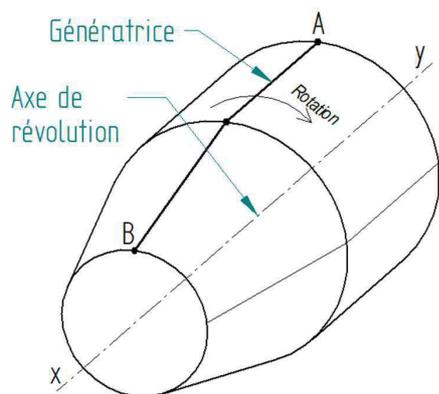
Ici, la cote 1,5mm est nécessaire si l'axe de symétrie est absent. Si l'axe est dessiné, la cote 1,5mm n'est plus nécessaire, car elle est induite directement par la symétrie. Pratique!

Informations:

- Une pièce peut avoir jusqu'à 3 plans de symétrie principaux
- Lors de la création d'une pièce en CAO, il est important de faire correspondre ces **plans de symétrie** avec les **plans de construction** proposés par le logiciel
- En CAO (voir fiche CAO 2.8), la symétrie peut être assurée dans une esquisse ou bien dans l'arbre des fonctions

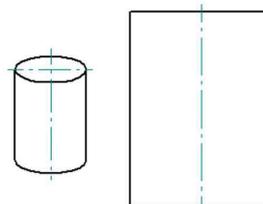
2.11 Forme de révolution

Principe: le contour AB, tournant autour de (xy), génère une **surface de révolution**. AB est appelé la **génératrice** de la surface, et (xy) en est l'**axe de révolution**



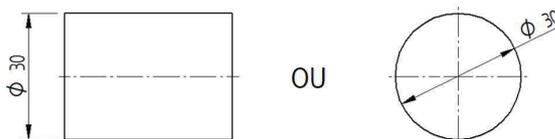
Dessin d'un cylindre de révolution:

quand la génératrice est un segment de droite parallèle à l'axe de révolution, la forme engendrée est un **cylindre de révolution**.



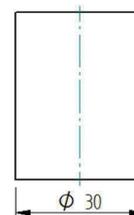
Attention : ici, la **vue de face seule** ne suffit pas à dire que la pièce est cylindrique

Cotation d'une forme cylindrique de révolution: la valeur de la cote est le diamètre du cylindre. On rajoute le **symbole Ø** devant la valeur de ce diamètre.



Dessin d'un cylindre de révolution AVEC cotation:

En utilisant le symbole **Ø** (pour diamètre), on pourra dessiner une forme cylindrique avec une seule vue (contrairement à l'exemple ci-dessus non coté).

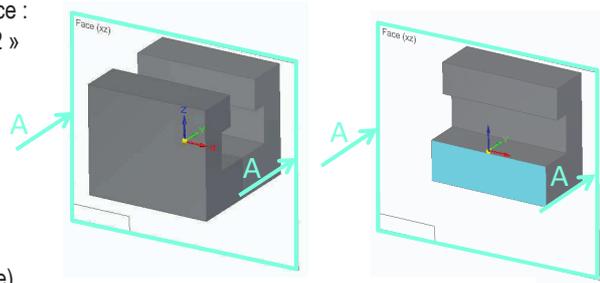


NB : le symbole **Ø** est indispensable, car sans lui, la pièce peut être interprétée comme prismatique!

2.12 Coupes et hachures (1/2)

C'est quoi? Une vue en coupe permet de voir « l'intérieur » d'une pièce :

- On choisi un **plan de coupe** par lequel on va « couper la pièce en 2 »
- Le plan de coupe est représenté par un trait mixte fin renforcé aux extrémités par 2 traits courts.
- Les flèches indiquent le sens dans lequel on regardera la pièce coupée (on retire la partie de la pièce en amont des flèches)
- La vue coupée portera le nom du plan de coupe (A-A ici)
- La zone qui a été **effectivement coupée** (en bleu ici) portera des **hachures** en traits fins inclinés (généralement 45°)
- Le reste de la pièce est non hachuré (comme dans une vue normale)
- La partie de la pièce derrière le plan (avant les flèches) n'est pas représenté!



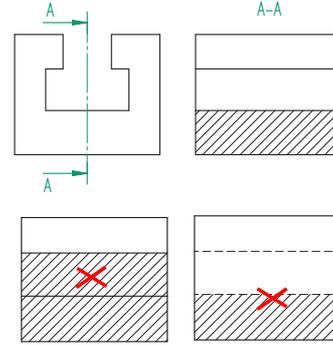
Les hachures :

- Le type de hachure dépend du matériau de la pièce. Quelques exemples :



Votre attention s'il vous plaît !

- Les hachures ne **peuvent pas traverser un trait fort** (qui représente un changement de surface, donc nécessairement une sortie du plan de coupe)
- A l'inverse, les hachures **ne peuvent pas s'arrêter sur une arête cachée** (qui est cachée donc hors du plan de coupe)



Ca sert à quoi? Les coupes permettent de **voir des formes intérieures** d'une pièce sans avoir besoin d'arêtes cachées, qui peuvent alourdir la lecture. L'usage principal est de couper un assemblage pour voir l'agencement des pièces à l'intérieur d'un système.

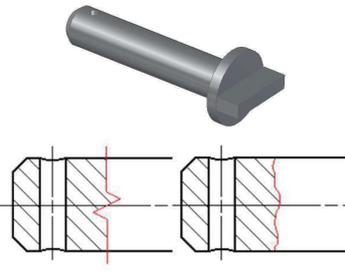
NB : on représente rarement les arêtes cachées dans une coupe (car le but d'une coupe est justement de représenter les zones cachées).

2.12 Coupes et hachures (2/2)

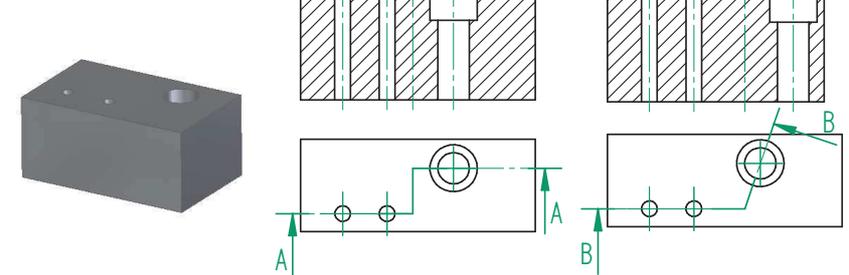
Et les coupes spéciales ?

Il existe des usages plus élaborés des coupes comme par exemple

Coupe locale : quand on souhaite couper uniquement une zone d'intérêt, on la délimite à l'aide d'un trait fin en zigzag.



Coupe brisées à plans parallèles ou séquents : pour « se balader » dans des zones d'intérêt qui ne sont pas situées sur un même plan, on peut opter pour des plans parallèles ou séquents. Chaque changement de plan sera indiqué par un **trait d'axe** dans la vue en coupe obtenue.



Des exceptions ?

Quand un plan de coupe traverse un assemblage, tout est coupé **sauf...**

- Les pièces pleines, c'est-à-dire principalement **les arbres** (pour alléger la lecture du plan) – voir 2.7 dessin d'ensemble, pièce 2 !
- Certains éléments standards (vis, écrou, clavette, goupilles pleines)
- Les nervures dans leur plan (pour ne pas donner une fausse illusion de volume)

Par contre,

- on hachure: les rondelles, les anneaux élastiques, les goupilles creuses (qui sont des pièces creuses !)
- si un arbre plein (non hachuré donc) possède un évidement quelque part, on optera éventuellement pour une coupe locale

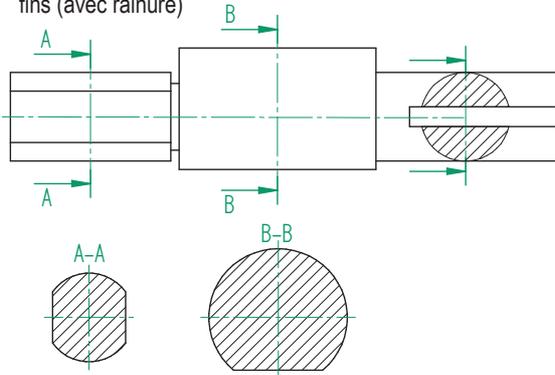
2.13 Sections & co.

C'est quoi? Une vue en section est une coupe dont on ne représente **que la matière dans le plan de coupe** (imaginer une tranche de pain très fine). Par conséquent :

- on ne représente pas l'arrière de la pièce
- toutes les zones d'une section sont hachurées

Les sections peuvent être :

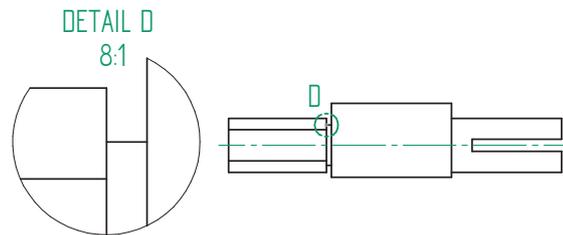
- **Sorties** et nommées (A-A et B-B) : comme les coupes
- **Rabattues** et non nommées, laissées sur le dessin en traits fins (avec rainure)



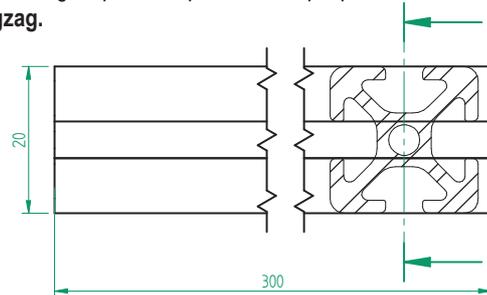
Ca sert à quoi? Contrairement à une coupe où tout l'arrière du plan de coupe est dessiné, la section ne représente **que** ce qui est **dans le plan de coupe**: c'est pratique! Comme par ex. pour les profilés aux formes complexes (cadre de droite →)

Autres types de vues utiles :

- Une **vue de détail** peut être utile pour montrer un détail de pièce qui ne se voit pas car l'échelle est trop petite. On le définit par un cercle, et le grossissement (l'échelle) du détail doit être indiqué.



- Une **vue interrompue** permet de représenter les extrémités d'une pièce longue, par exemple. On l'indique par un **double trait en zigzag**.



En général, les vues particulières ont pour but de **simplifier la lecture d'un plan**.

2.14 Graphe de montage

Ca sert à quoi? Ce type de graphe est utilisé lors des opérations de montage ou de maintenance (démontage et remontage). Il traduit la succession des opérations à effectuer.

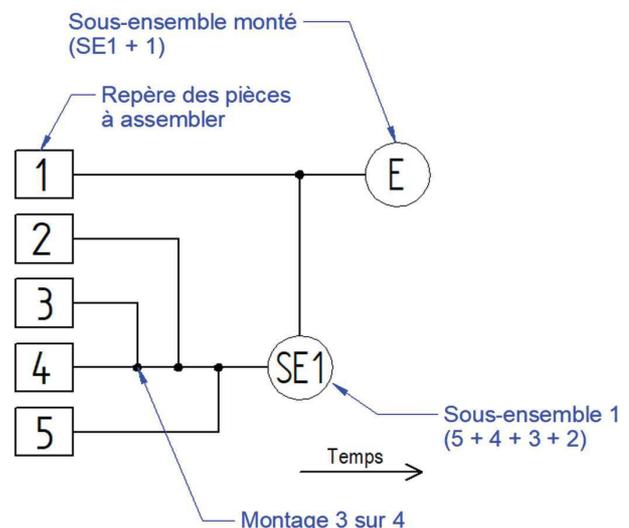
Comment le concevoir ?

La réalisation d'un graphe de montage s'effectue généralement en plusieurs étapes:

- **identification** des différents sous-ensembles indépendants au sein d'un mécanisme;
- **détermination** de l'ordre de montage des pièces dans chacun des sous-ensembles;
- **traduction** sur le graphe des étapes successives de l'assemblage des pièces constitutives de chaque sous-ensembles le long d'une ligne en trait continu;
- **traduction** sur le graphe des étapes successives ou simultanées de l'assemblage des différents sous-ensembles.

Le graphe de montage suit une échelle du temps

Représentation graphique d'un graphe de montage:

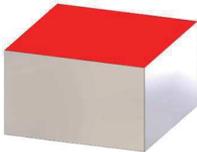
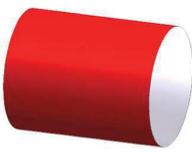
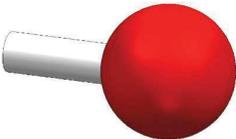
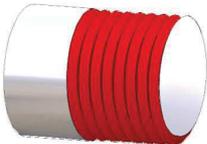


Chapitre 3. Formes et fabrication

- 3.1 Formes : surfaces et volumes élémentaires
- 3.2 Fabrication : enlèvement de matière
- 3.3 Cylindre / épaulement – Arbre / alésage
- 3.4 Congé / chanfrein
- 3.5 Rainure de clavette / gorge
- 3.6 Méplat / rainure prismatique / tenon
- 3.7 Perçage / Lamage / Fraisure
- 3.8 Filetage
- 3.9 Taraudage (2 slides)
- 3.10 Filetage / Taraudage – cotation commune
- 3.11 Pliage
- 3.12 Soudage
- 3.13 Impression 3D
- 3.14 Découpe laser
- 3.15 Brochage
- 3.16 Les formes « impossibles » à fabriquer

3.1 Formes : surfaces et volumes élémentaires

C'est quoi? Une pièce mécanique est un solide pouvant être **décomposé en volumes et surfaces élémentaires**. Un volume élémentaire est délimité par des surfaces enveloppes qui matérialise sa frontière extérieure. Chaque volume élémentaire peut être paramétré dimensionnellement. **C'est les cotes qui permettent de définir le volume pour sa représentation dimensionnelle.**

Les volumes et surfaces élémentaires:	Le parallélépipède délimité par 6 surfaces planes de formes rectangulaires	Le cylindre délimité par une surface cylindre et 2 plans de formes circulaires aux extrémités	Le tronc de cône délimité par une surface conique et 2 plans de formes circulaires aux extrémités
			
	La sphère délimitée par une surface sphérique	L' hélicoïde délimitée par une surface hélicoïdale	Le tore délimité par une surface torique
			

A quoi ça sert ? La décomposition d'une pièce en volumes et surfaces élémentaires permet une meilleure compréhension des formes dans leur représentation 3D et 2D.

3.2 Fabrication : enlèvement de matière

Comment fabriquer une pièce ?

Pour obtenir une pièce, il n'y a pas tant de solutions : soit vous l'achetez dans le commerce directement (composés standards, Chapitre 4) soit vous la fabriquez vous-même (au FIMI). Pour fabriquer une pièce on peut :

- Partir d'une pièce brute plus grande que la pièce souhaitée, et retirer la matière en trop : **enlèvement de matière** (usinage)
- Partir de forme définies (tôles, tubes, profilés) qu'on va déformer, découper, assembler : **la construction métallique** (voir 3.9-10-13)
- Ajouter la matière petit à petit exactement où l'on souhaite : c'est l'impression 3D (voir 3.11) ou du moulage.

NB : il existe évidemment bien d'autres moyens de fabrication de part le monde, la liste présentée ici n'est pas exhaustive...

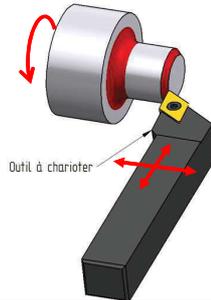
Dans la catégorie de l'**enlèvement de matière**, il y a 2 familles de machines correspondant à 2 types de géométries de pièces :

Tournage

- La pièce cylindrique tourne très rapidement (entraînée par des mors) pour générer le mouvement de coupe.
- L'outil de coupe translate lentement dans le plan et sa trajectoire définit la génératrice de la forme de la pièce

Par tournage, on ne peut donc obtenir **QUE des formes de révolution** !

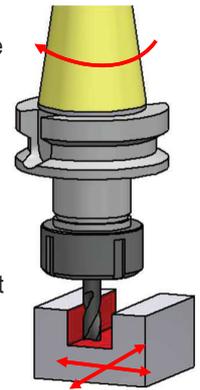
Une exception : les surfaces hélicoïdales (voir 3.8, 3.9)



Fraisage

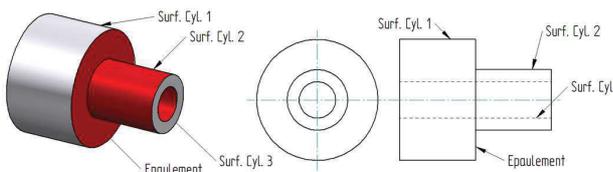
- La pièce, de forme prismatique ou cylindrique, se translate lentement dans le plan généralement maintenue dans un étau.
- L'outil de coupe (fraise) tourne très rapidement pour générer le mouvement de coupe.

On peut sur certains types de pièces suivant les formes à obtenir, combiner des opérations de tournage et fraisage (en changeant de machine).



3.3 Cylindre / Epaulement - Arbre / Alésage

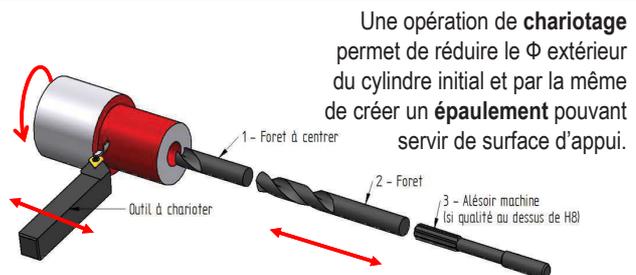
Représentation dessin technique



Un **arbre** est le terme utilisé pour définir une pièce de **forme extérieure cylindrique**. Il sert à transmettre la puissance mécanique (couple et rotation), et généralement utilisé pour connecter des composants d'une transmission qui ne peuvent pas être connectés directement (en raison de la distance ou de la nécessité de permettre un mouvement relatif entre eux).

Un **alésage** est le terme utilisé pour définir une **forme intérieure cylindrique** d'une pièce. On le distingue du perçage, car il est plus précis.

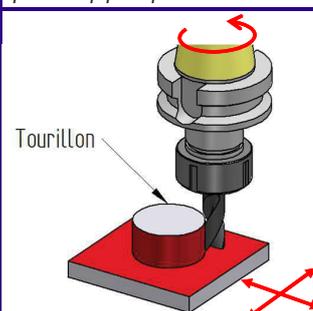
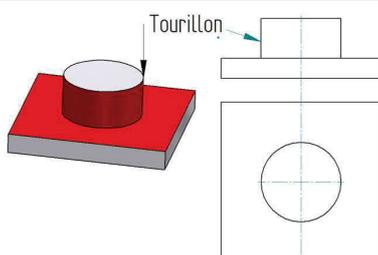
Exemple de fabrication des surfaces



Une opération de **chariotage** permet de réduire le Φ extérieur du cylindre initial et par la même de créer un **épaulement** pouvant servir de surface d'appui.

L'**alésage** est l'opération qui consiste à usiner avec soin la surface intérieure d'un cylindre ou de toute autre pièce creuse. Sur la figure ci-dessus, les opérations successives (centrage, perçage et alésage) permettent de réaliser un alésage avec une précision de type H8 (contre H13 sans opération d'alésage).

NB : un alésage peut aussi être créé par fraisage sur un brut parallélépipédique



L'utilisation ici d'une fraise 2 tailles en fraisage permet la réalisation d'une surface cylindrique appelée **Tourillon**.

Un plan perpendiculaire à l'axe du tourillon est alors créé pouvant servir de surface d'appui.

3.4 Congés / Chanfreins

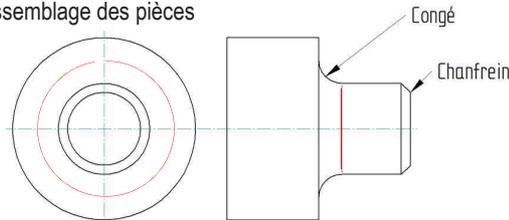
Représentation dessin technique

Les **congés** (ou **arrondis**) sont là pour deux raisons :

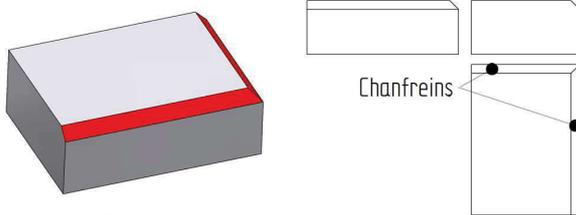
- L'outil qui usine l'épaulement est arrondi (sinon il serait trop fragile). On retrouve au minimum le rayon d'outil dans l'angle
- L'angle est un lieu de concentration de contraintes qui fragilise la pièce. Le congé permet de limiter ce phénomène

Le **chanfrein** a deux fonctions :

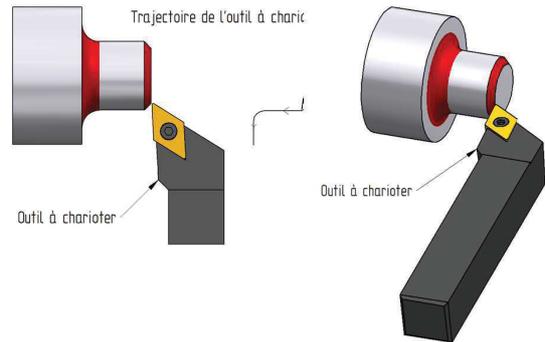
- que l'arête ne soit pas coupante pour l'utilisateur
- que l'arête soit moins fragile
- pour faciliter l'assemblage des pièces



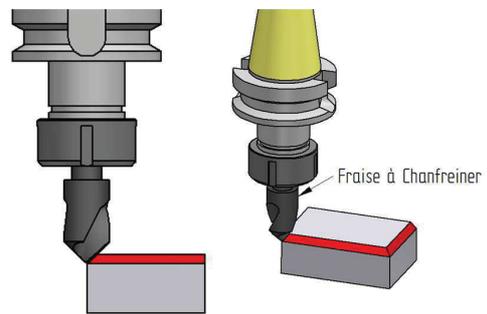
NB : arêtes tangentes (en traits fins rouge) sur les 2 vues à cause du congé.



Exemple de fabrication des surfaces

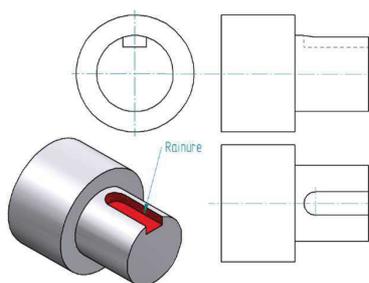


Lors d'une opération de chariotage, nous pouvons commander précisément le mouvement de l'outil et lui faire suivre une trajectoire permettant la réalisation de **congés** et **chanfreins**.



3.5 Rainure (de clavette) / Gorge

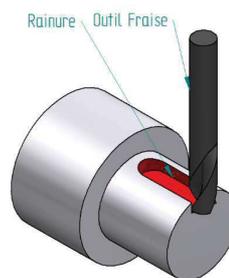
Représentation dessin technique



Dans une **rainure**, on pourra insérer, par exemple, une **clavette**.

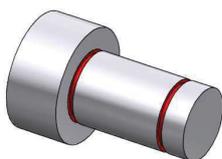


Exemple de fabrication des surfaces



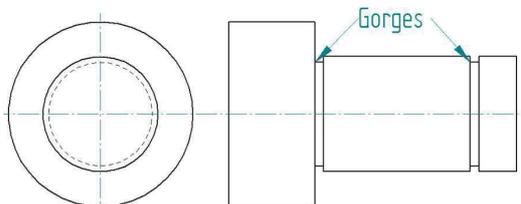
Il est possible de réaliser une rainure en fraisage avec un outil fraise 2 tailles (le porte outil n'est pas représenté ici)

NB : la rainure n'est pas forcément débouchant comme dessiné ici.

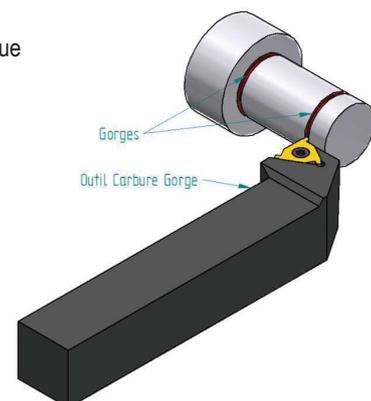


Les **gorges** sont réalisées pour :

- monter un circlips ou anneau élastique.
- enlever de la matière « gênante » (congé rayon d'outil, ...)

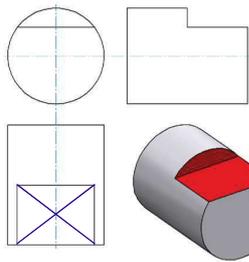


Circlips ou anneau élastique pour arbre



3.6 Méplat / Rainure prismatique / Tenon

Représentation dessin technique



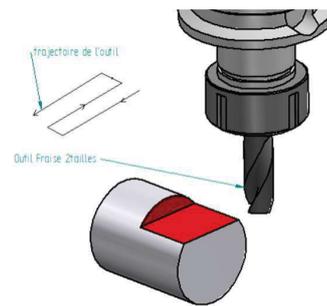
Le **méplat** est une surface plane réalisée par enlèvement de matière sur un cylindre. On fait apparaître la particularité du méplat en traçant leurs diagonales en traits continu fin.

Un méplat est souvent utilisé pour supprimer la rotation de l'arbre / l'alésage en utilisant par exemple une vis de pression.

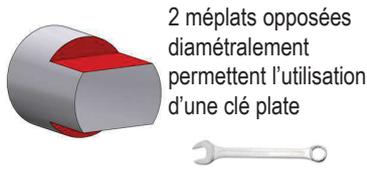
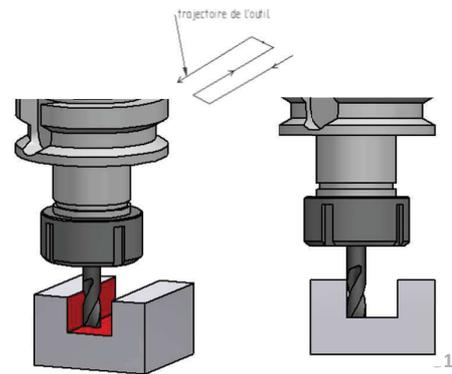


Exemple de fabrication des surfaces

Méplat



Rainure prismatique

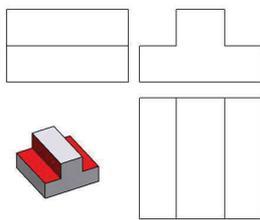


2 méplats opposés diamétralement permettent l'utilisation d'une clé plate

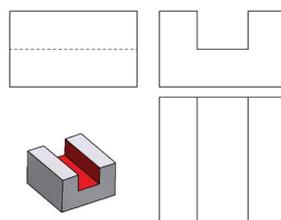


4 méplats à 90° forment un carré de manœuvre utilisé, par exemple, sur un taraud

Tenon

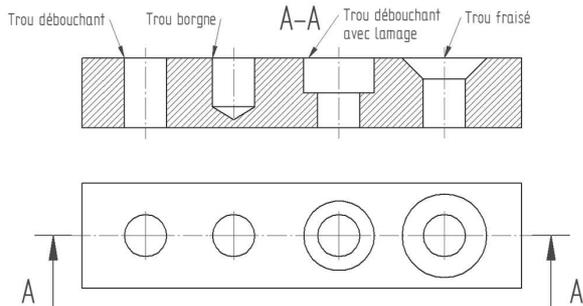


Rainure prismatique



3.7 Perçage / Lamage / Fraisure

Représentation dessin technique



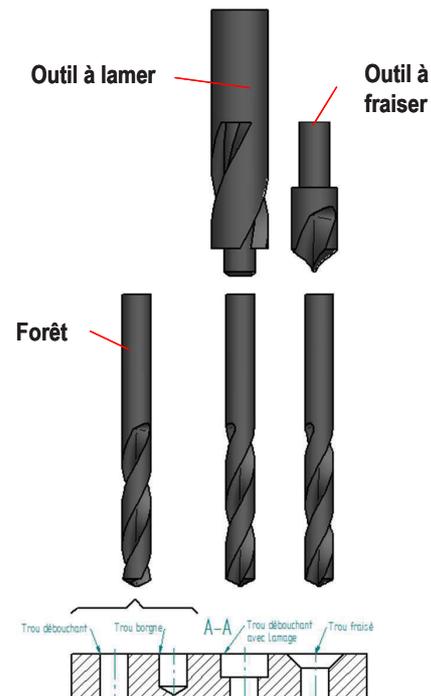
Un **perçage** est une surface cylindrique intérieure réalisée à l'aide d'un foret. Il peut être débouchant (on voit à travers) ou borgne (on ne voit pas à travers).

Note : comme la pointe d'un foret fait **un angle de 118°**, elle laisse en bout de perçage un cône de 118°. Ceci se traduit par un « triangle fermé obtus (>90°) » sur le dessin du perçage.

Le **lamage** (trou lamé) est un évidement cylindrique plus large que le perçage, en surface de la pièce, qui permet de noyer, par exemple, une tête de vis CHC.

La **fraisure** (trou fraisé), quant à elle, permet de noyer une tête de vis de type F.

Exemple de fabrication des surfaces

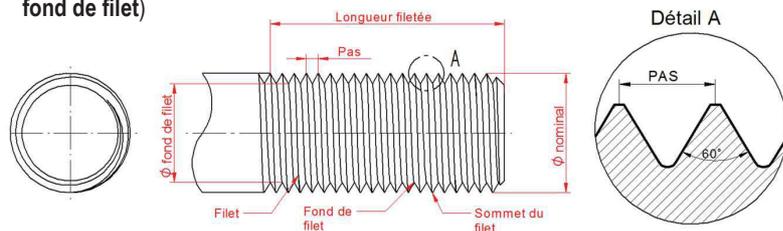


3.8 Filetage (extérieur)

Description technique d'un filetage

Le filetage est une rainure hélicoïdale, usinée sur la surface extérieure d'un cylindre de révolution, ce qui donne la **longueur filetée**.

- la forme en saillie s'appelle le **filet** du filetage. On peut identifier aussi un **sommet de filet** et un **fond de filet**.
- le filet est caractérisé, en plus de sa forme, par son cylindre extérieur (**diamètre nominal**) et son cylindre de fond de filet (**diamètre de fond de filet**)

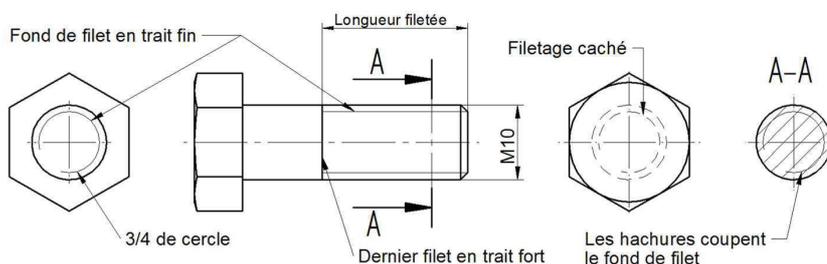


Le pas est la distance entre deux sommets consécutifs du filet. Le pas correspond aussi à la distance relative parcourue en translation par une vis par rapport à son écrou lors d'un tour complet. Par exemple, une vis avec un pas de 1mm avancera de 1mm lors de la rotation d'un tour.

Représentation symbolique d'un filetage et sa cotation:

Comme la représentation exacte est trop lourde, on dessine la représentation simplifiée ci-dessous.

NB : le diamètre nominal de la vis (10mm ici) est précédé de la **lettre M**, qui le distingue d'un cylindre classique.



Élément standard fileté:

la vis



Pour réaliser un filetage on peut utiliser une filière :

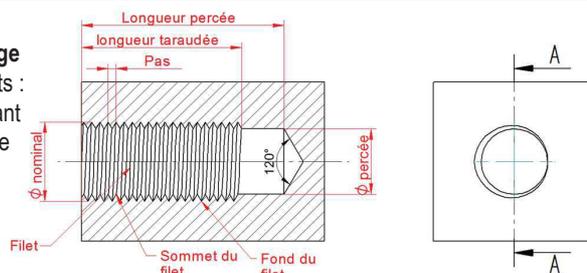


3.9 Taraudage (filetage intérieur) : forme et représentation (1/2)

Description technique d'un taraudage

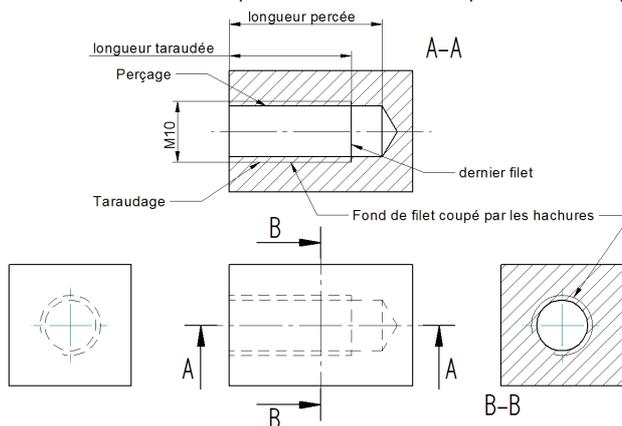
Un taraudage est une rainure hélicoïdale usinée à l'intérieur d'un perçage (trou cylindrique). Il est caractérisé par les éléments de fabrication suivants :

- sa rainure hélicoïdale intérieure, exécutée à l'aide d'un taraud permettant la formation du filet sur un trou préalablement percé par un foret qui donne une **longueur taraudée**.
- son cylindre de perçage (défini par le **diamètre de perçage** et la **longueur percée**) qui est plus petit que le diamètre nominal
- son cylindre de fond de filet (**diamètre nominal**)



Représentation symbolique d'un taraudage et sa cotation:

Comme la représentation exacte est trop lourde, on dessine la représentation simplifiée :



Ca sert à quoi?

Un taraudage sert à recevoir un élément fileté pour réaliser un assemblage vissé (liaison complète) la plupart du temps. Parfois, il s'agira plutôt de transformer un mouvement de rotation en translation (ou inversement) dans un mécanisme.

Élément standard taraudé:

l'écrou



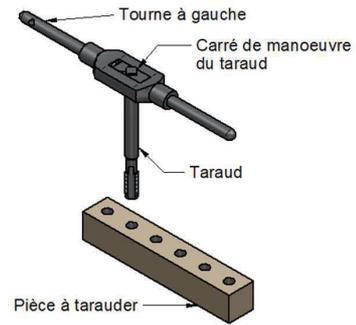
3.9 Taraudage (filetage intérieur) : fabrication (2/2)

Opérations nécessaires à la réalisation d'un trou taraudé:



- **Opération 1:** centrage au foret à pointer sur une profondeur de 1 à 2mm
- **Opération 2:** perçage au foret hélicoïdal pour obtenir la profondeur percée (trou débouchant ou borgne)
- **Opération 3:** Taraudage au taraud pour obtenir la profondeur taraudée

Mise en situation:



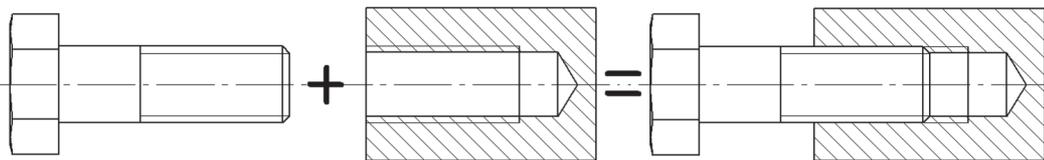
Informations techniques

- Pour réaliser un trou taraudé, désigné sur un dessin par la lettre **M** suivi de la valeur nominale en mm (exemple: M8) il faudra utiliser un foret dont le **diamètre \varnothing = diamètre nominal – le pas**
- Généralement l'hélice réalisée est « à droite ». Mais dans le cas de certaines contraintes techniques, il est possible de réaliser une hélice « à gauche ».
- Les deux caractéristiques importantes d'un taraud sont **sa valeur nominale** et **le pas**.
- On retrouve toujours **le cône à 120°** en fond de perçage (voir 3.5).

Valeur ISO	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12
PAS	0.5	0.7	0.8	1	1.25	1.5	1.75
\varnothingforet	2.5	3.3	4.2	5	6.8	8.5	10.25

3.10 Filetage / Taraudage : cotation commune

Représentation: une tige filetée pourra se combiner avec un taraudage sous certaines conditions. En dessin on applique la règle suivante : les **filetages extérieurs cachent toujours les filetages intérieurs**.

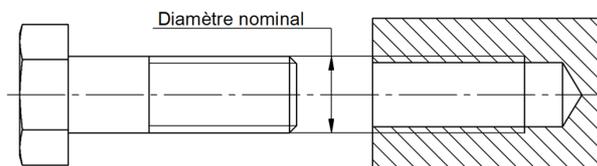


Condition essentielle pour un bon fonctionnement:

Les deux formes associées doivent avoir la même **cote nominale**

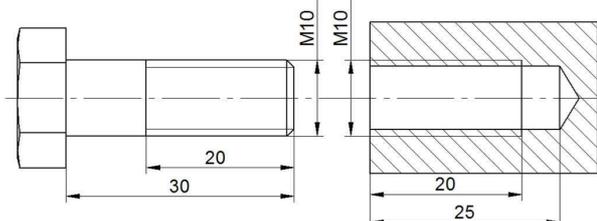
Votre attention s'il vous plaît !

Le **trait fort** du filetage (vis) est donc aligné avec le **trait fin** du trou taraudé. Et inversement!



Cotation commune:

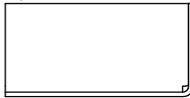
La cotation commune au filetage et au taraudage contient un **diamètre nominal** accompagné d'une indication propre à la forme du filet. La **lettre M** signifie une forme triangulaire du filet (**M** : filet métrique ISO).



3.11 Pièce obtenue par Pliage

Représentation dessin technique

Epaisseur tôle 1mm



Epaisseur tôle 3mm



Le rayon intérieur **Ri** de pliage dépend de :

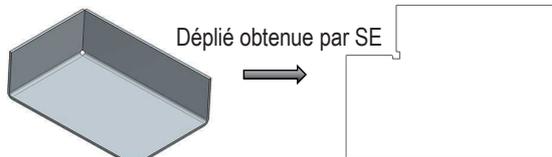
- l'épaisseur de la tôle,
- la matière de la tôle,
- l'outillage utilisé (poinçon, Vé)

Une pièce pliée sera **obligatoirement** dessinée et conçue en utilisant le **module CAO Tôlerie** de SolidEdge.



Ceci permettra entre autre:

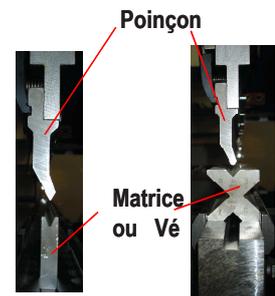
- d'utiliser **les outils spécifiques** tôlerie de SolidEdge pour la CAO
- de générer automatiquement **les rayons de pliage** en fonction de l'épaisseur, du matériaux et de l'outillage utilisé en fabrication
- de générer automatiquement **le développé** afin de le découper (découpe laser ou plasma par exemple)



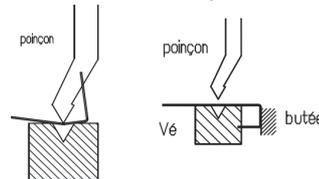
INSA INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES LYON

Exemple de fabrication des surfaces

Le **pliage** est un procédé de déformation à froid de tôle métallique. On utilise pour cette opération une **presse plieuse**.



Attention : dessiner une pièce tôlerie sur SolidEdge ne présume pas de sa faisabilité. En effet, lors de la fabrication on peut être confronté à des problèmes de **collision** avec l'outillage.

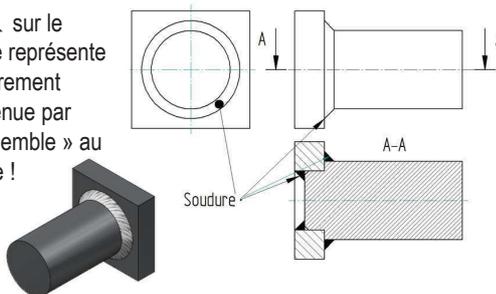


37

3.12 Pièce obtenue par Soudage

Représentation dessin technique

Un triangle noir ▲ sur le dessin d'une pièce représente une liaison encastrement indémontable obtenue par **soudage**. Il « ressemble » au cordon de soudure !

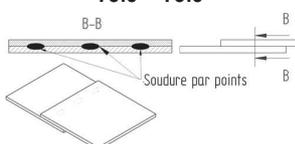


Pour faire apparaître les **cordons de soudure** sur un dessin SE, il faut :

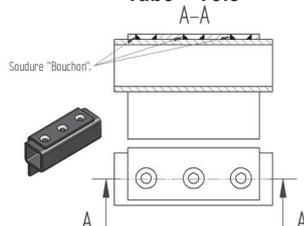
- créer un assemblage des pièces qui composent votre système ou sous-système,
- transformer cet assemblage en assemblage soudé
- utiliser, dans l'onglet « Fonctions technologiques » de l'assemblage soudée, les outils **Assemblage soudé** et **Soudure d'angle** afin de réaliser les cordon de soudure où vous le souhaitez.

Bien d'autres solutions existent pour réaliser un assemblage soudé. Par exemple :

Tôle + Tôle



Tube + Tôle



INSA INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES LYON

Exemple de fabrication des surfaces

• Soudage MAG



Remarque : le soudage est un moyen de **MAP** (maintien en position). Chaque fois que cela est possible, prévoir des surfaces fonctionnelles pour assurer une **MIP** (Mise en position) correcte.

• Soudage par Résistance par Points :

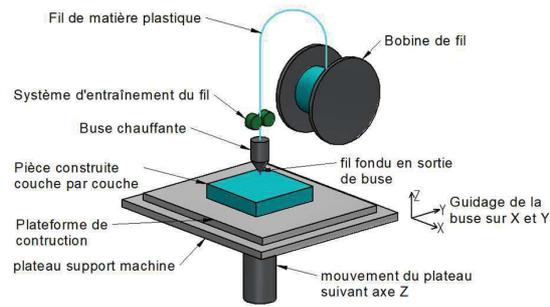
- utilisable pour des pièces de type « Tôlerie »,
- prévoir une longueur de **recouvrement**,
- prévoir un **dégagement** suffisant pour les électrodes.



38

3.13 Impression 3D : dépose d'un fil fondu d'une matière plastique

Principe de fonctionnement d'une imprimante 3D:

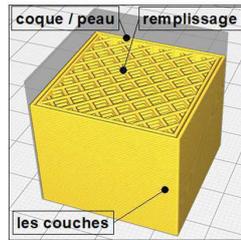


Pour obtenir une pièce imprimée:

Etape 1	Conception de la pièce sur SolidEdge
Etape 2	Enregistrement au format STL
Etape 3	Préparation de l'impression sur un « Trancheur » à partir du STL
Etape 4	Lancement de l'impression
Etape 5	Post-traitement: suppression supports si nécessaire

Structure d'une pièce imprimée:

- La pièce est constituée d'une **coque** ou **peau** extérieure et d'un **remplissage** plus ou moins dense.
- Le choix d'une **épaisseur de coque** et/ou d'un **remplissage** important augmentera considérablement le **temps d'impression**.

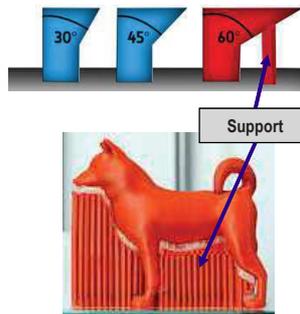
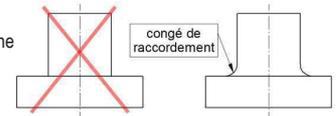


Principaux matériaux utilisés:

- Le **PLA**: facile à imprimer, biodégradable, non recyclable, bel aspect.
- L'**ABS**: bonne tenue mécanique, recyclable, produit pétrolier. C'est la matière des Lego
- Le **PETG**: pour contact alimentaire, bonne résistance mécanique. La matière utilisée pour faire les bouteilles plastiques.
- Le **TPU**: c'est un élastomère, obtention de pièce flexible.

Formes en conception:

Afin d'augmenter la résistance mécanique d'une pièce, prévoir des congés de raccordements à l'intersection des volumes de la pièce.



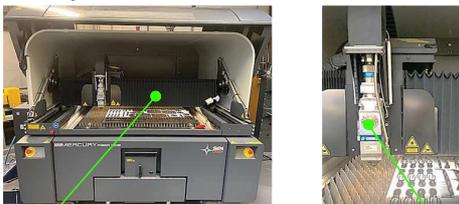
Le Support : Si possible faire sans !
 « Il faut avant toute chose **étudier votre objet à imprimer en 3D**: le but est d'imprimer sans support. Comment faire pour imprimer sans support? Deux approches sont à considérer. La première consiste à orienter différemment votre objet numérique, la seconde est de le retoucher. En effet, un support devient nécessaire en fonction de l'angle que forme votre objet ou une partie de celui-ci avec le sol, en l'occurrence le lit d'impression. Par conséquent, votre but consiste à réduire ces angles au maximum. »

Dimensions des formes: Le plastique est une matière qui se contracte en refroidissant. Si on veut imprimer une pièce fonctionnelle il sera certainement nécessaire de faire plusieurs essais d'impression avec ajustement des dimensions du modèle volumique de la pièce.
Donc patience pendant cette phase de mise au point qui demande de la rigueur.

3.14 Pièces obtenues par Découpe laser

Machines de découpe Laser utilisable en FIMI :

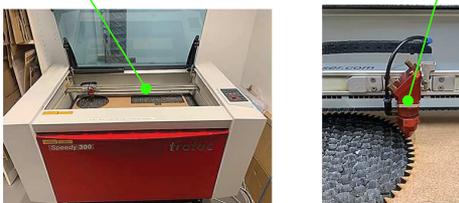
- Découpe laser métal SEI



Rails de déplacements X-Y de la torche

Tête Laser

- Découpe laser autres matériaux TROTEC



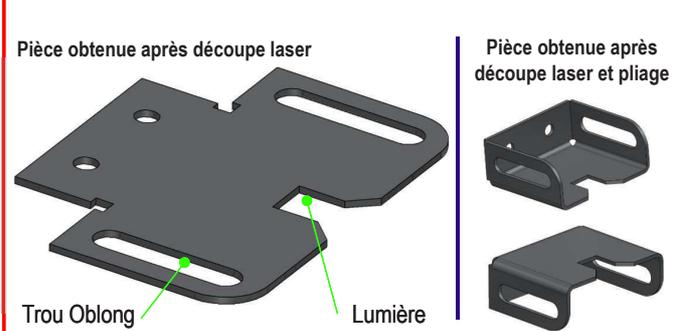
Principaux matériaux utilisés:

- **Découpe laser Métal SEI**: Acier Standard (S235,...), Alliage aluminium (AG3,...), Acier INOX. Epaisseurs généralement utilisées à l'atelier : 1, 1,5, 2, 3, 4 mm
- **Découpe laser TROTEC**: MDF, PMMA, Contreplaqué, Carton, Papier, etc... (matériaux non métallique)

Pour obtenir une pièce en découpe Laser:

Etape 1	Concevez la pièce sur SolidEdge en mode tôlerie (.psm)
Etape 2	Réalisez et enregistrez le déplié de la pièce si cette dernière comporte des plis
Etape 3	Réaliser et Enregistrer une mise en plan de la pièce dépliée (1 vue à l'échelle 1 sans cadre et cartouche) (.dft)
Etape 4	Si besoin, retoucher le dessin en mode Vue 2D afin de : - rajouter par exemple des « queues d'accroches » (voir avec votre enseignant) - supprimer les lignes de pliages
Etape 5	Enregistrer le fichier en .dxf sur clé USB
Etape 6	Utiliser le Logiciel ICARO de SEI pour effectuer la découpe

Exemple de formes en conception:



Lors de la découpe, on veillera à bien positionner les découpes les unes par rapport aux autres sur la tôle ou plaque (écartement d'environ 5mm) afin de limiter au maximum « les pertes matières »,

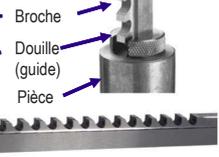
3.15 Fabrication : Rainure de clavette intérieure

Comment fabriquer une rainure dans un alésage ?

Plusieurs techniques sont possibles. La plus répandue et la moins onéreuse est de réaliser une opération de **BROCHAGE**.

Matériels nécessaires :

- Un kit de brochage
- Une presse mécanique ou hydraulique (non représentée)

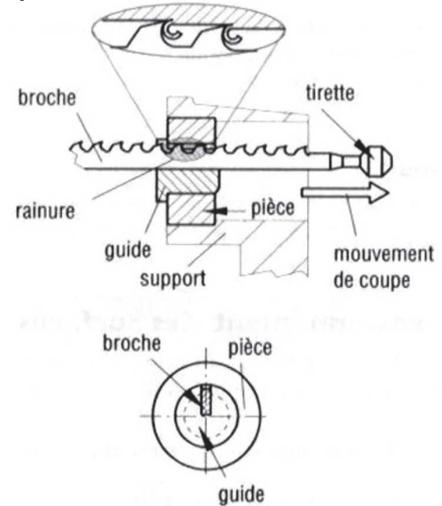


Mise en Œuvre :

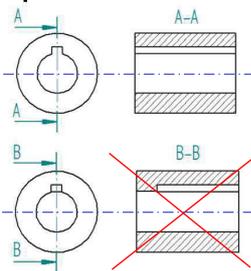
- 1) Réaliser l'alésage à la dimension finale demandée en respectant l'ajustement indiqué sur le dessin de définition,
- 2) Réaliser la rainure de clavette par Brochage en utilisant la broche et la douille adaptées

De part le principe de fabrication (voir schéma ci-contre) la rainure de clavette intérieure sera **obligatoirement traversante**.

Principe de fabrication :



Représentation :



Rainure de clavette traversante :
Réalisation POSSIBLE par brochage.

Rainure de clavette non-traversante :
Réalisation IMPOSSIBLE par brochage.

3.16 Fabrication : formes difficiles ou impossibles à fabriquer...

Contraintes	Choisir...	Plutôt que...	Contraintes	Choisir...	Plutôt que...
Penser à une solution en Construction Métallique (CM)			Minimiser le nombre de positionnement lors de l'usinage		
Choisir un profil standard existants ou ensemble issu de CM	Brut 50x50		Choisir les tolérances les plus larges compatible avec le fonctionnement et le moyen d'obtention à l'atelier.	120±1	Tolérance générale 0,1
Garder le maximum de côtes du profil standard ou le l'ensemble issu de CM			Choisir des formes réalisable avec les moyens utilisable de l'atelier FIMI. Usinage : Impossible Imp. 3D : Possible		
Respecter les longueurs et diamètres des outils existants			Bien vérifier la faisabilité pour les pièces obtenues par Pliage	Retoucher l'ordre des plis de la gamme de la pièce ou, si toujours problème, concevez la pièce en plusieurs parties	
Maximiser les dimensions d'appuis			Rainure de clavette dans alésage (voir fiche rainure clavette intérieure)		

Chapitre 4. Éléments standards & composants mécaniques

- 4.1 Éléments standards & composants mécaniques
- 4.2 Vis
- 4.3 Erou / boulon
- 4.4 Clavette
- 4.5 Goupille
- 4.6 Anneau élastique
- 4.7 Rondelle
- 4.8 Coussinet
- 4.9 Ressorts
- 4.10 Joints d'étanchéité
- 4.11 Chaîne d'action d'un système : perte de puissance en cascade
- 4.12 Moteurs
- 4.13 Vérins linéaires (hors vérins électriques)
- 4.14 Transmission de puissance par rotation (4 slides)
- 4.15 Transmission de puissance par modification de mouvement (2 slides)

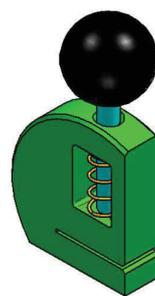
4.1 Les éléments standards & composants mécaniques

C'est quoi? Les éléments standards et composants mécaniques sont des produits couramment utilisés dans un système mécanique. Il est possible de se les procurer dans « le commerce ». Beaucoup d'éléments standards sont **normalisés** (norme ISO). A l'inverse, les composants mécaniques ne suivent pas nécessairement de norme. La conception de **prototype doit privilégier** l'utilisation de ces éléments pour des raisons pratiques et technico-économique.

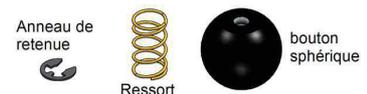
Comment choisir un élément standard?

Le choix d'un élément standard se fait en fonction des contraintes de conception induite par le cahier des charges : contraintes dimensionnelles, mécaniques, environnement (température, humidité, ...).

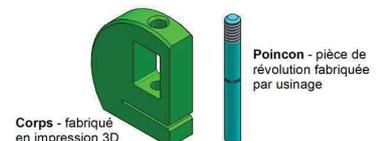
Exemple: la perforatrice



Éléments standards du commerce:



Pièces spécifiques fabriquées dans les ateliers FIMI:



Comment obtenir un éléments standards? Un élément standard ou composant mécanique se caractérisera au moins par : sa **désignation**, une **référence**, une **quantité**. Par ex. : vis CHC M10-50-32, Ref. HPC : CHC10-50/B, Lot de 100, prix unitaire : 43,58€

A - Identification des caractéristiques mécaniques à respecter pour la conception

B - Recherche du composant pouvant convenir sur un catalogue interne INSA ou site internet.

Remarque: il est parfois possible de télécharger la 3D du composant sur des site internet constructeurs ou dans des bibliothèques internes INSA

C - Demande de prix pour obtenir un **devis**

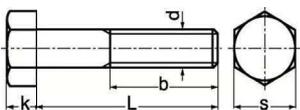
D - Réalisation et envoi du **bon de commande**

E - Suivi et réception de la commande

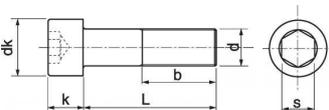
4.2 Vis

C'est quoi? Une vis est une tige de forme hélicoïdale dite « filetée » (Voir fiches 3.6, 3.7, 3.8)

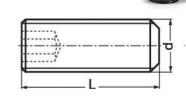
Vis H
Tête hexagonale



Vis CHc
Tête cylindrique



Vis Hc
Sans tête



Désignation normalisée

Vis H M10 - 50 - 40

forme tête
diamètre nominal
long. sous tête
long. filetée

Ca sert à quoi? A réaliser le maintien en position (MAP) de plusieurs pièces entre elles (entre autre)

Vis de fixation : MAP

Permet le serrage d'une pièce sur l'autre, ou de plusieurs pièces entre elles

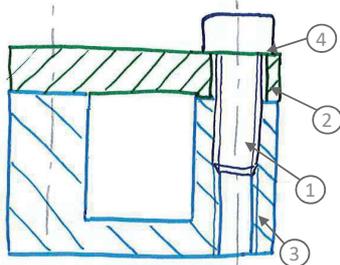
Vis sans tête?

Pour que l'arrêt de la vis ne se fasse pas sous sa tête
→ vis de pression

Vis sans fin?

La vis est utilisée pour transformer une rotation en translation dans un système

Vos notes



Dessin

- ① La vis est dessinée non coupée (élément standard)
- ② La pièce supérieure est traversante (non taraudée) et le trou de passage est de diamètre supérieur au diamètre nominal de la vis
- ③ Le taraudage de la pièce inférieure se poursuit au-delà de la vis serrée.
- ④ La tête de vis est en contact avec la pièce assemblée

La devise de la Vis? « Je ne visse qu'1 pièce, mais je peux rassembler beaucoup de monde! »



4.3 Ecrou

C'est quoi? composant élémentaire d'un système vis/écrou

Ecrou H
(standard)



Nylstop (à frein)



borgne



Ecrou « exotiques »

à créneaux



à embase crantée



papillon



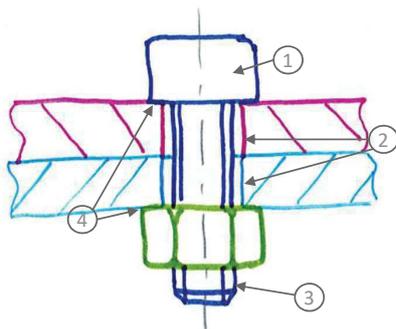
Désignation normalisée
Ecrou H M10

forme tête
diamètre nominal

Ca sert à quoi? Un écrou, assemblé à une vis, permettra de former un boulon

Vis + écrou = boulon

Permet le serrage de plusieurs pièces entre la tête de vis et l'écrou



Dessin

- ① La vis est dessinée non coupée (élément standard)
- ② Les pièces assemblées sont traversantes (non taraudée) et le trou de passage est de diamètre supérieur au diamètre nominal de la vis → **seul l'écrou est vissé**
- ③ La vis dépasse de l'écrou pour être correctement vissée.
- ④ La tête de vis et l'écrou sont en contact avec les pièces assemblées. *NB : des rondelles peuvent être insérées à ces endroits.*

Ecrou contre écrou?

Pour bloquer un écrou (sécurité), on peut lui ajouter un autre écrou appelé « contre écrou », qui empêchera tout déboulonnage. *Essayez par vous-même!*

La devise de l'écrou?

« Seul je ne sers à rien,



mais avec une vis, je peux réaliser des boulonnages de toute beauté!



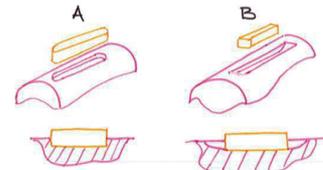
4.4 Clavette

C'est quoi? Une clavette est une « petite clef », une pièce pleine qui sera installée dans un arbre

Forme
A, B, C,
disque etc.



Rainure de l'arbre
Adaptée à la forme de la clavette



Ca sert à quoi? La clavette permet de bloquer/entraîner en rotation un arbre par rapport à un alésage

Arrêt en rotation

Réalisé par les flans de la clavette sur les flans des rainures de l'arbre ET de l'alésage (surfaces de MIP bilatérales).

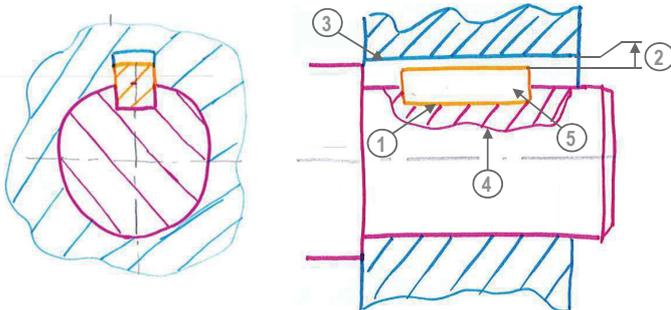
NB : la MIP axiale est souvent réalisée par un épaulement

Montage

- ① La clavette repose au fond de la rainure de l'arbre
- ② La face supérieure de la clavette ne touche pas le fond de rainure de l'alésage (jeu visible)
- ③ La rainure d'alésage est traversante

Dessin

- ④ Coupe locale de l'arbre pour montrer la clavette
- ⑤ Clavette non coupée (élément standard)



Vos notes

La devise de Clavette?

« Je fais tourner la terre entière avec moi »



4.5 Goupille

C'est quoi? Les goupilles sont une famille de « cylindres métalliques » destinés à être sollicités en cisaillement (efforts faibles)

Goupille élastique

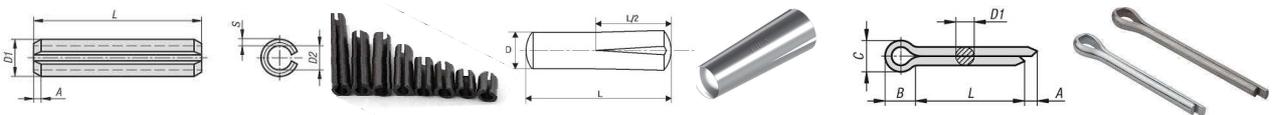
Tube fendu, qui peut se déformer élastiquement pour être monté serré dans un perçage

Goupille cannelée

Cylindre légèrement conique possédant qq cannelures

Goupille fendue

Pièce type « Attache parisienne » bloquée par déformation plastique de ses extrémités



Ca sert à quoi? Une goupille traverse un ou plusieurs perçage, et peut jouer différents rôles:

Arrêt axial seulement

Inserée dans le perçage d'un arbre et dépassant de part et d'autre, la goupille servira d'arrêt axial.

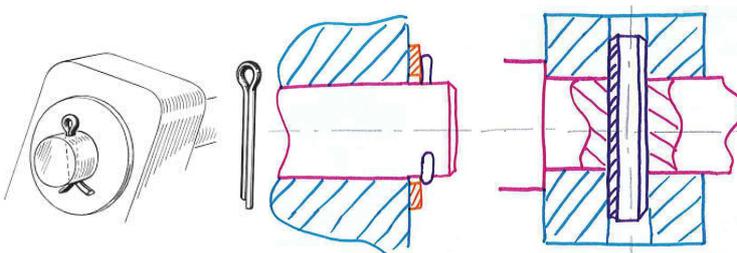
Au montage, on ajoutera une rondelle pour protéger la surface de contact !

Liaison complète !

La goupille peut traverser 2 pièces différentes emmanchées, percées du même diamètre. Une fois la goupille insérée, plus rien ne bouge!!

NB : goupille fendue moins adaptée ici

Vos notes



NBis : ici, l'épaulement sur l'arbre facilite la fabrication mais n'est pas indispensable

La devise de famille Goupille?

« On se fend, se comprime et se tord pour bloquer la situation.

Mais attention au dégoupillage ! »

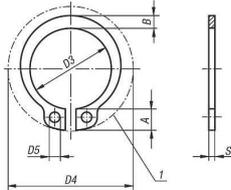


4.6 Anneau élastique (circlips)

C'est quoi? C'est un anneau élastique déformable

Forme

Anneau **extérieur** ouvert, avec 2 petits perçages pour insérer une pince



Anneau intérieur

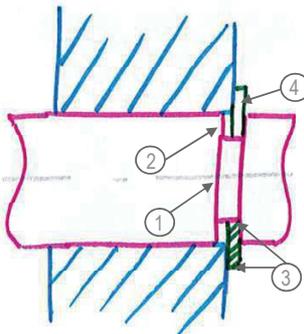
Anneau à insérer dans une gorge d'alésage



Ca sert à quoi? Le circlips sert d'arrêt axial démontable inséré dans la gorge d'un arbre

Arrêt axial

Comme le diamètre extérieur du circlips est supérieur au diamètre de l'arbre sur lequel il est monté, il dépasse et réalise un arrêt axial



Montage

- ① Une gorge dans l'arbre accueille le circlips (qui y est inséré par déformation avec une pince). Une fois monté, le circlips ne pourra plus translater sur l'arbre
- ② La gorge est légèrement plus large que l'épaisseur du circlips

NB : une rondelle est souvent montée entre le circlips et l'alésage pour protéger l'alésage (voir fiches 4.7 et 7.3)

Dessin

Le circlips coupé est hachuré du côté ③ mais pas de l'autre côté ④, car le plan de coupe traverse son ouverture ④!

- ③ Le diamètre intérieur du circlips repose au fond de la gorge, et son diamètre extérieur est supérieur à celui l'arbre (pour réaliser l'arrêt axial!)

Vos notes

La devise de Circlips?

« C'était mieux avant : arrêtez d'avancer! »

NB : cousin de la Goupille élastique → hachuré sur une seule moitié



4.7 Rondelle

C'est quoi? Un petit disque plat percé

Rondelle plate

(standard)



Rondelle « exotiques »

Grower à denture ressort (Belleville) autobloquantes ... et même carrée



Ca sert à quoi? Triple action !

1) Durabilité

Protège les pièces en répartissant la pression de contact sur une + grande surface

2) Transmission

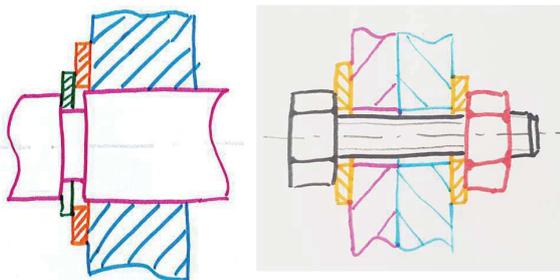
(de l'effort de serrage)
Plus grand Ø que tête de vis/écrou

3) Safety first!

Participe au blocage de vis/écrou

Montage?

Glissant sur l'arbre (jeu radial visible) : elle peut être installée sous une tête de vis, sous un écrou ou sous un circlips

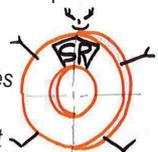


Attention la rondelle n'est PAS...

- dans une gorge comme le circlips
- être vissée quand elle est mise sous une tête de vis

La devise de Rondelle?

« Durabilité, Transmission, Sécurité : sauvons la planète »
NB : Rondelle est très sociable, elle a de fortes affinités avec Circlips, la famille Goupille et le couple vis/écrou



4.8 Coussinet

C'est quoi? Un coussinet (ou bague), avec ou sans collerette, est une pièce qui permet de **réduire les frottements** entre deux pièces qui tournent l'une par rapport à l'autre.

Coussinet simple



Coussinet à collerette



PTFE « téflon »



Bronze (autolubrifié)

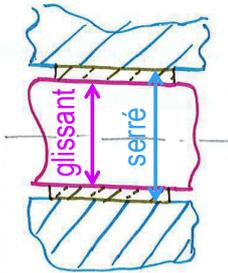


Note : le **matériau** du coussinet fait tout son intérêt! Polymère et PTFE ont des coefficients de friction bas. Pour le bronze, obtenu par frottage de poudre, le matériau poreux est préalablement imprégné d'un lubrifiant qui se libère lors de l'usage, d'où l'appellation « autolubrifié »

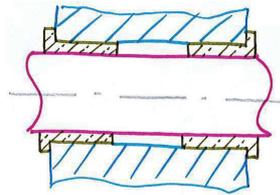
Ca se monte comment ?

Le coussinet est généralement monté :

- **fixe (serré)** par rapport au bâti (pièce extérieure),
- **glissant (avec jeu)** avec l'arbre intérieur.



Si la liaison pivot est longue, on préfère monter 2 coussinets en opposition



Note : on choisit de mettre une collerette quand le coussinet subit une charge axiale.

Vos notes

La devise de Coussinet?

« Doux et moelleux, insérez-moi pour un sommeil qui roulera longtemps ! »



4.9 Ressorts

C'est quoi? Des composants qui se **déforment** de façon **élastique** (et retrouvent leur forme initiale au repos lorsque l'on arrête de les solliciter). Il existe pour chaque type, une loi de comportement qui lie **action mécanique** et **déformation**.

Ressort de traction



Ressort de compression

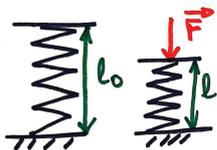


Ressort de torsion



Ca sert à quoi? L'énergie accumulée lors de la déformation est utilisée pour **générer un mouvement**, **exercer un effort** ou un couple.

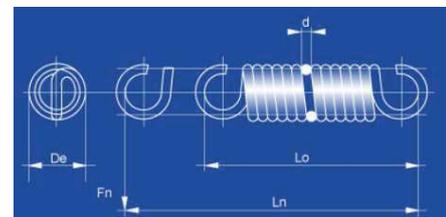
Certains d'entre eux ont un comportement linéaire



$$\|\vec{F}\| = k \cdot |l_0 - l|$$

k : raideur en $N \cdot m^{-1}$

Les catalogues permettent de les choisir en reliant géométrie et gamme d'effort (ex. ci-joint)



d	De	L0	Ln	F0	C	Fn
1.00	7.00	19.00	27.17	6.78	4.71	45.30
1.00	5.00	30.80	38.92	9.17	6.37	60.80

La devise de Ressort?

« En cas de fatigue, le spire arrive : la déformation plastique! »



d: diamètre du fil en mm
 De: diamètre extérieur en mm
 L0: longueur libre sous boucles en mm
 Ln: longueur maximale sous charge F_n en mm
 F0: tension initiale en Newton (N)
 C: constante/raideur en N/mm
 Fn: charge maximale en Newton sous L_n en Newton (N)

4.10 Joints d'étanchéité

C'est quoi? Composants que l'on interpose entre deux pièces afin d'éviter le passage d'un fluide entre deux zones.

Joints plats



Joint torique



Joint à lèvres

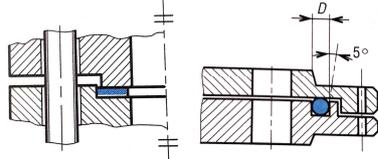


Joint à 4 lobes

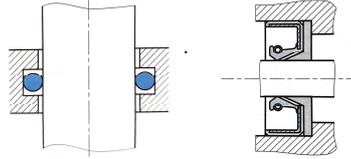


Ca sert à quoi? Ils en existent plusieurs types afin d'assurer **étanchéité statique** (sans mouvement relatif entre les deux pièces), ou **dynamique** (avec mouvement relatif de rotation ou translation entre les deux pièces)!

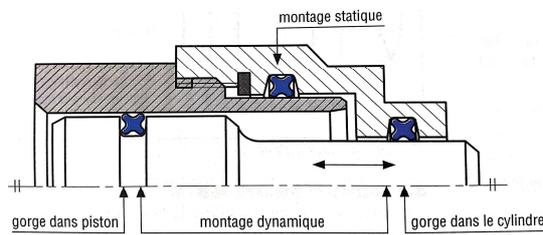
1) Etanchéité statique - exemples



2) Etanchéité dynamique - exemples



Vos notes



Source : Précis Afnor

La devise de Joint?

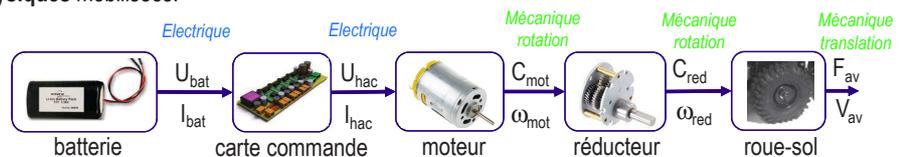
« Je me sacrifie pour ne rien laisser passer! »



4.11 Chaîne d'action d'un système : pertes en cascade

C'est quoi? La chaîne d'action est la sous partie du système qui constitue ses « muscles » : qui a la capacité d'agir physiquement. On la représente par un schéma simple, le **schéma bloc**, et on peut mettre en évidence la **transmission de puissance** qu'elle met en œuvre, ainsi que les **grandeurs physiques** mobilisées.

Robot explorateur

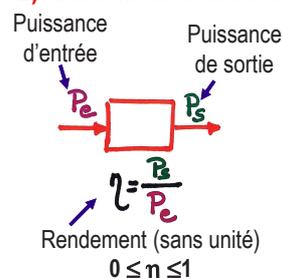


Ca sert à quoi? A choisir et dimensionner les composants des systèmes et prévoir leur comportement.

1) Puissance = effort · flux

Domaine	Effort	Flux	Puissance (Watt)
Mécanique de translation	Force F (N)	Vitesse V ($m \cdot s^{-1}$)	$F \cdot V$
Mécanique de rotation	Couple C ($N \cdot m$)	Vitesse angulaire ω ($rad \cdot s^{-1}$)	$C \cdot \omega$
Electrique	Tension U (V)	Intensité I (A)	$U \cdot I$
Hydraulique	Pression p (Pa)	Débit volumique Q ($m^3 \cdot s^{-3}$)	$p \cdot Q$

2) Rendement d'un bloc



La devise de Bloc?

« Que de puissance perdue pour fournir de quoi travailler à mon voisin! »



3) Rendement global

$$\eta_g = \frac{P_s}{P_e} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3$$

Vos notes

4.12 Moteurs

C'est quoi? Un composant actionneur qui convertit l'énergie électrique en énergie mécanique de rotation

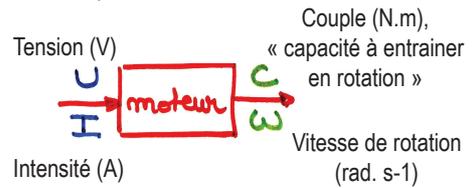
Moteur à courant continu (MCC)



Moteur brushless

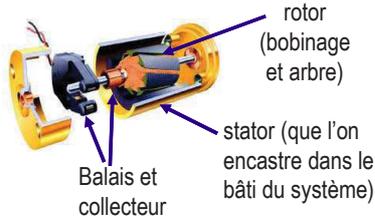


Moteur pas à pas



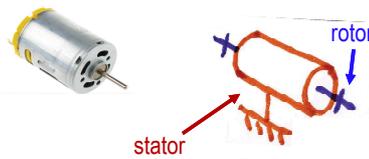
Ca sert à quoi? Exploiter l'énergie électrique disponible d'une batterie pour mettre nos systèmes mécaniques en action!

1) Anatomie de MCC



2) Modèle cinématique

1 composant **MAIS** 2 classes d'équivalence!
Et une liaison pivot entre les 2.



Vos notes

3) Les lois de conversion électromécanique de MCC

Vitesse et tension - une évolution linéaire : $U = k \cdot \omega + R \cdot I$
Proportionnalité entre courant consommé et couple à combattre : $C = k \cdot I$
 k est une constante propre à chaque moteur, R la résistance du bobinage du rotor

La devise de MCC?

« Eléc - Méca et vice-versa! »



4.13 Vérins linéaires (hors vérins électriques)

C'est quoi? Un composant actionneur qui convertit une énergie fluïdique en énergie mécanique de translation

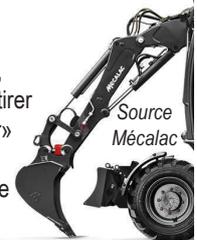
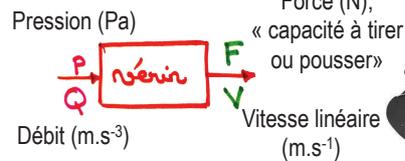
Vérin simple effet



Vérin double effet

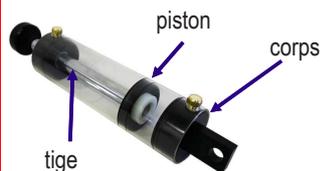


Vérin à gaz



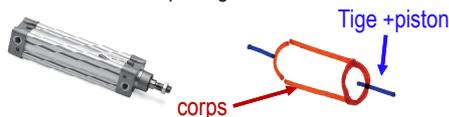
Ca sert à quoi? Mettre nos systèmes mécaniques en action à partir d'un mouvement de translation!

1) Anatomie de Vérin



2) Modèle cinématique

1 composant **MAIS** 2 classes d'équivalence!
Une liaison pivot glissant entre les 2.

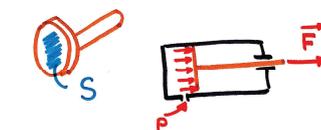


Vos notes

3) Les lois de comportement

Pression, effort, surface : $p = \frac{\|F\|}{S}$
Débit, surface, vitesse : $Q = S \cdot V$

Unités : $1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ $1 \text{ MPa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$



$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$

La devise de Vérin?

« Avec mon corps d'athlète au régime à l'huile : la course, c'est fort! »



4.14 Transmission de puissance par rotation (1/4) : généralités

C'est quoi? Les systèmes mécaniques dont les mouvements d'entrée et de sortie sont de rotation.

Transmission par engrenages



Roues de friction



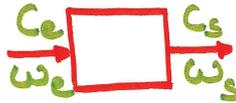
Pignon-chaîne



Poulie-courroie



Ca sert à quoi? Adapter la puissance mécanique de rotation pour être exploitable en terme de couple et de vitesse, de direction!



Vos notes

1) Les différents systèmes de transmission

	Par contact direct	Par lien souple
Par adhérence	Roues de friction	Poulie-courroie lisses
Par obstacle	engrenages	Poulie-courroie crantée pignons-chaîne

4.14 Transmission de puissance par rotation (2/4) : généralités

Ca sert à quoi? Adapter la puissance mécanique de rotation pour être exploitable en terme de couple et de vitesse, de direction!

2) Le rapport des vitesses

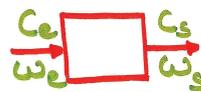


Soit :

- D_e et D_s les diamètres des éléments
- Z_e et Z_s le nombre de dents de chacun des éléments

$$k = \frac{\omega_s}{\omega_e} = \frac{D_e}{D_s} = \frac{Z_e}{Z_s} \text{ (si les éléments sont dentés)}$$

3) Le rapport des couples



$$P_s = \eta \cdot P_e$$

$$C_s \cdot \omega_s = \eta \cdot C_e \cdot \omega_e$$

$$C_s = \eta \cdot C_e \cdot \frac{\omega_e}{\omega_s}$$

$$\frac{C_s}{C_e} = \frac{\eta}{k}$$

Vos notes

4) Le comportement

$$k = \frac{\omega_s}{\omega_e} = \frac{D_e}{D_s}$$

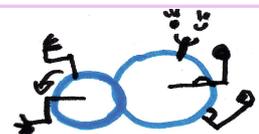
$$\frac{C_s}{C_e} = \frac{\eta}{k}$$

Si $D_e < D_s$ $k < 1$ le système est dit **réducteur** : $\omega_s < \omega_e$ et $C_s > C_e$

Si $D_e > D_s$ $k > 1$ le système est dit **multiplicateur** : $\omega_s > \omega_e$ et $C_s < C_e$

La devise des TMR ?

« Vite ou fort il faut savoir répartir ! »



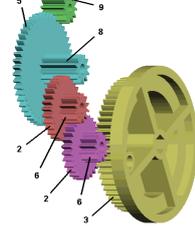
4.14 Transmission de puissance par rotation (3/4) : les engrenages

C'est quoi? Un ensemble de roues dentées qui engrènent ensemble pour transmettre un mouvement de rotation.

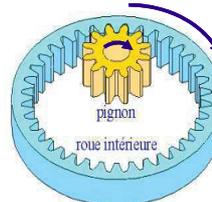
Un ensemble de 2 roues dentées s'appelle un engrenage



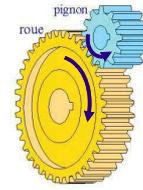
Un ensemble de plusieurs engrenages s'appelle un train d'engrenages.



Dans un engrenage, le petit élément s'appelle pignon, le grand, roue.



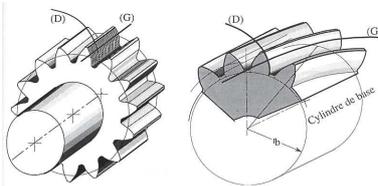
Contact intérieur : les deux éléments tournent dans le même sens.



Contact extérieur : les deux éléments tournent en sens inverse

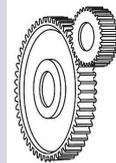
Ca sert à quoi? Adapter la puissance mécanique de rotation, comme vu dans les fiches 4.14 !

Il existe des dentures droites et des dentures hélicoïdales



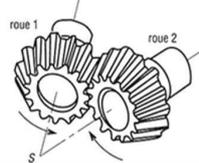
Axes parallèles

Engrenage cylindrique



Axes concourants

Engrenage conique



Axes perpendiculaires non concourants

Roue et vis sans fin



4.14 Transmission de puissance par rotation (4/4) : les engrenages

Comment les représente-t-on en 2D?

Dessin technique

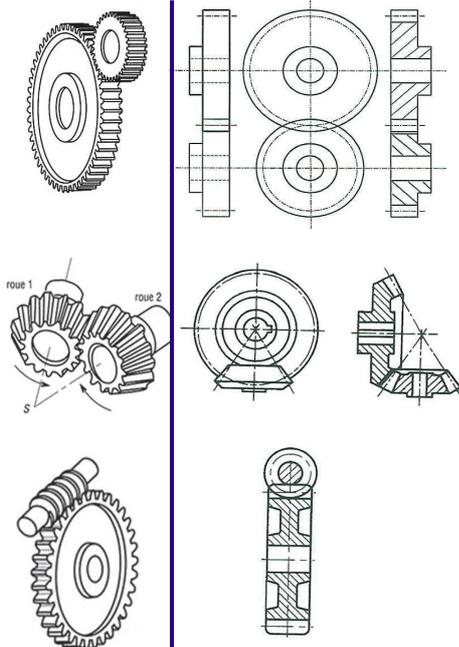
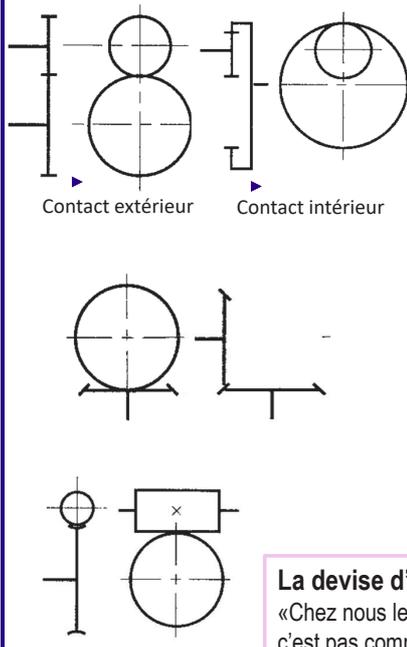
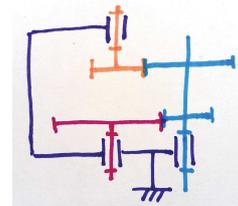
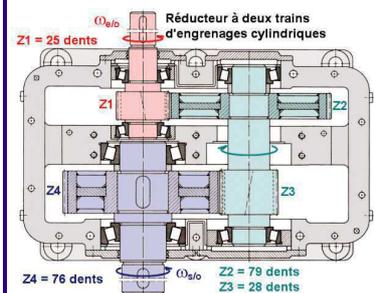


Schéma cinématique



Exemple



La devise d'Engrenage ?

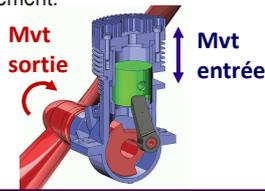
« Chez nous les dentées, c'est pas comme chez les frictions, ça roule sans risque de glisser! »



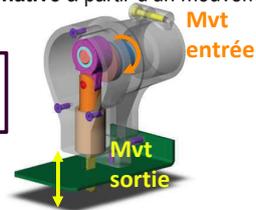
4.15 Transmission de puissance avec modification de mouvement (1/2) : bielle-manivelle

C'est quoi? Un type de mécanisme qui permet d'obtenir un mouvement de **translation alternative** à partir d'un mouvement de **rotation continue** ou inversement.

Moteur d'aéromodélisme

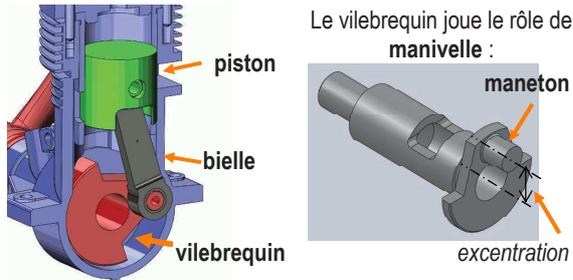


Principe de scie sauteuse



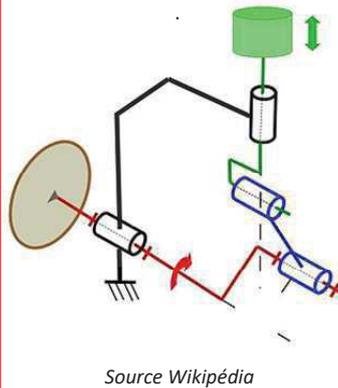
Ca sert à quoi? Ce système est utilisé dans les moteurs à combustion, les compresseurs, certaines pompes, scies...

1) Un peu de vocabulaire



Manivelle : composant présentant un élément excentré (maneton) par lequel est imprimé un mouvement de rotation

2) Schéma cinématique



Vos notes

La devise de Bielle?

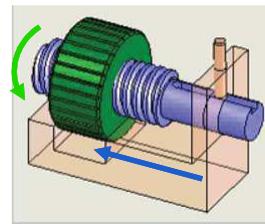
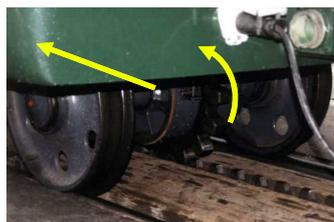
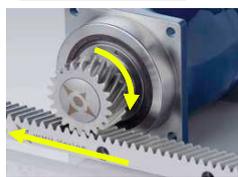
« Je ne suis que cohésion matérielle entre deux cylindres creux... »



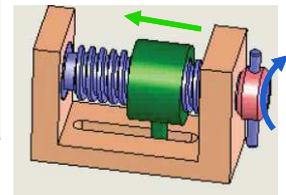
4.15 Transmission de puissance avec modification de mouvement (2/2) : rotation-translation

C'est quoi? Pignon-crémaillère et vis-écrou sont deux systèmes composés de seulement 2 classes d'équivalence permettant de passer de mouvement de rotation à translation et vice-versa.

Pignon-crémaillère

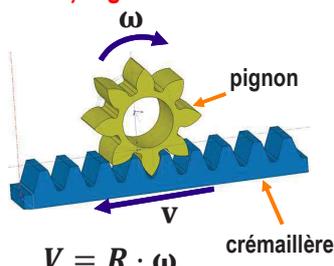


Vis-écrou

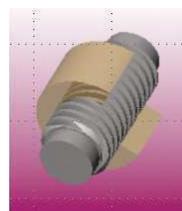


Ca sert à quoi? À adapter le mouvement avec peu d'encombrement

1) Pignon-crémaillère



2) Vis-écrou



La rotation de 1 tour entre vis et écrou est combinée à une **avance de la valeur du pas p** entre vis et écrou.

Vos notes

La devise de Crémaillère?

« Les pignons peuvent me rouler dessus tranquille! »



Chapitre 5. Liaisons normalisées

- 5.1 Liaison : degrés de liberté
- 5.2 Surfaces de contact et degrés de liberté
- 5.3 Classes d'équivalence
- 5.4 Graphe des liaisons
- 5.5 Schéma cinématique
 - 5.5.1 Pivot glissant / pivot
 - 5.5.2 Glissière / hélicoïdale
 - 5.5.3 Appui plan / ponctuelle
 - 5.5.4 Rotule / rotule à doigt
 - 5.5.5 Linéaire annulaire / linéaire rectiligne
- 5.6 Méthodologie

5.1 Liaison : degrés de liberté

C'est quoi ? Dans un mécanisme, certains groupes de pièces sont **en contact ET en mouvement**. Ce mouvement se caractérise par ce qu'on nomme des **degrés de liberté**.

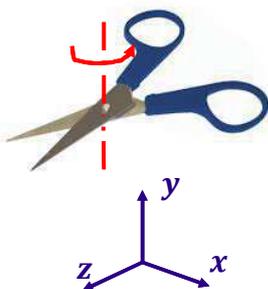
Mouvement 3D

6 degrés de libertés :
3 translations T_x, T_y, T_z
3 rotations R_x, R_y, R_z

Liaison

En fonction des degrés de liberté identifiés entre deux pièces (ou groupe de pièces), on peut établir un **modèle de liaison normalisée** entre ces pièces.
Les modèles de liaisons à connaître seront présentées dans les pages suivantes.

Exemples :



Degrés de liberté

R_x		T_x	
R_y	X	T_y	
R_z		T_z	

Liaison équivalente
Liaison pivot d'axe y



Degrés de liberté

R_x		T_x	
R_y		T_y	X
R_z		T_z	

Liaison équivalente
Liaison glissière d'axe y

5.2 Surfaces de contact et degrés de liberté

C'est quoi ? Lorsqu'on regarde un plan d'ensemble, il n'est pas toujours facile de visualiser les degrés de liberté. On peut donc commencer par identifier **la forme des surfaces de contact** entre pièces. Ces surfaces permettent certains degrés de liberté (mouvements) mais en empêchent certains autres. Comme ces surfaces jouent un rôle dans le mouvement on les qualifie de **surfaces fonctionnelles**. Les surfaces élémentaires les plus courantes sont plan, cylindre et sphère.

NB : il peut y avoir plusieurs surfaces de contact entre 2 même pièces et parfois de formes différentes (par exemple : cylindre + plan)

Pas de contact, pas de contrainte → **tous les mouvements possibles**

Degrés de liberté

R_x	X	T_x	X
R_y	X	T_y	X
R_z	X	T_z	X

Contact **cylindrique** : deux degrés de liberté restants

Degrés de liberté

R_x		T_x	
R_y	X	T_y	X
R_z		T_z	

Contact **prismatique** suivant deux plan perpendiculaires : un seul degré de liberté restant

Degrés de liberté

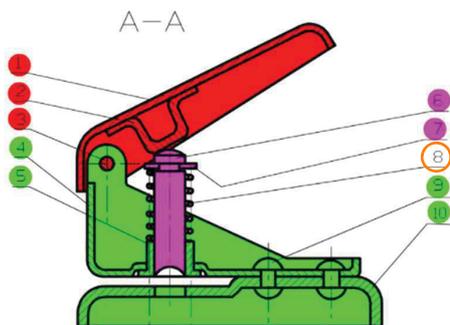
R_x		T_x	
R_y		T_y	X
R_z		T_z	

5.3 Classe d'équivalence

C'est quoi ? Dans un mécanisme, et pour une certaine phase de fonctionnement, on commence par identifier les groupes de pièces qui n'ont **pas de mouvement relatif**. On dit que les pièces d'un même groupe appartiennent à la même **classe d'équivalence**.

Exemple : perforatrice de bureau

https://sti2d.ecolelamache.org/exercice_n2_schma_cinematique.html



!! Les pièces déformables ne sont pas dans les classes d'équivalence



Classe d'équivalence

Repère des pièces

A - levier :

{1,2,3}

B - corps :

{4,5,9,10}

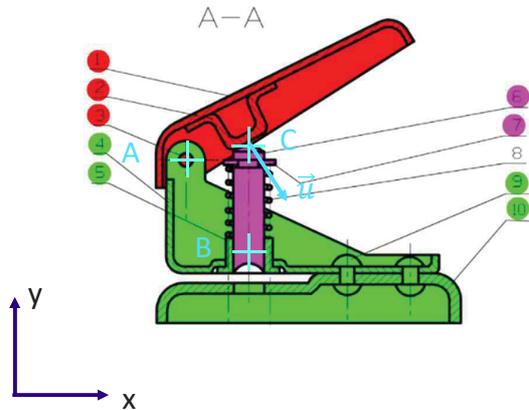
C - poinçon :

{6,7}

5.4 Graphe des liaisons

C'est quoi ? Une fois les degrés de liberté entre classes d'équivalence identifiés, on détermine la liaison normalisée correspondante. Les liaisons normalisées sont représentées en [fiche 5.5.x](#). Pour chaque liaison, il faut bien préciser la géométrie. Le **graphe des liaisons** résume l'ensemble des classes d'équivalences et des liaisons.

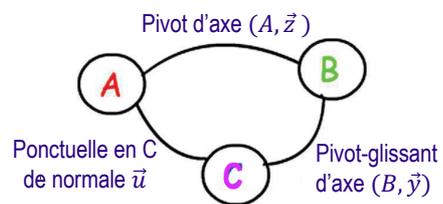
Exemple : perforatrice de bureau



Identifier les liaisons normalisées

Liaison	Nom, géométrie
A-levier/B-corps	Pivot d'axe (A, \vec{z})
B-corps/C-poinçon	Pivot-glissant d'axe (B, \vec{y})
A-levier/C-poinçon	Ponctuelle point C, normale \vec{u}

Graphe des liaisons



5.5 Schéma cinématique

C'est quoi ? Il s'agit d'un schéma 'filaire' permettant de représenter les mouvements (i.e. la cinématique) d'un mécanisme. A chaque **liaison** normalisée on peut associer un **symbole**. Ce symbole permettra de connecter les classes d'équivalence. Un schéma cinématique peut être réalisé en 3D ou en 2D.

Exemple : perforatrice de bureau

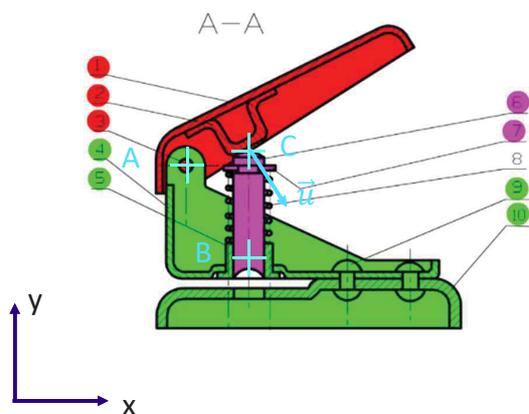


Schéma cinématique 2D

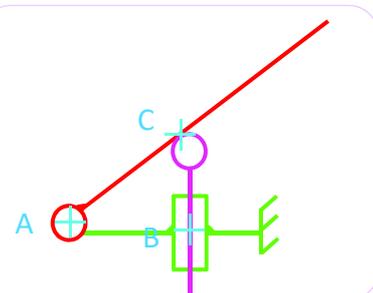
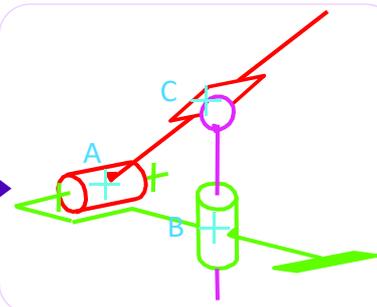


Schéma cinématique 3D



Remarque :

Les liaisons respectent la géométrie (point, orientation) du système réel

5.5.1 Pivot glissant / pivot

Liaison pivot-glissant

Guidage : en rotation et en translation autour d'un même axe

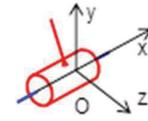
Solution technologique classique :

- contact cylindre/cylindre (ex. tiges du babyfoot)
- coussinets pour réduire les frottements (voir fiche 7.3)



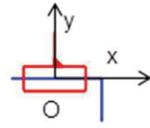
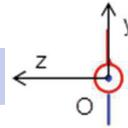
Schéma normalisé

3D



Rx	1	Tx	1
Ry	0	Ty	0
Rz	0	Tz	0

2D



Liaison pivot

Guidage : en rotation (un seul degré de liberté) et appui plan (arrêt axial)

Solutions technologiques classiques :

- contact cylindre/cylindre + plan/plan (ex. paumelle / charnière)
- montage de roulements (voir fiche 7.3)

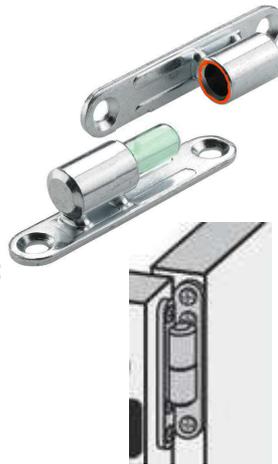
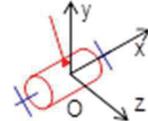


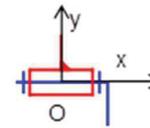
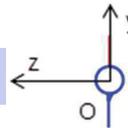
Schéma normalisé

3D



Rx	1	Tx	0
Ry	0	Ty	0
Rz	0	Tz	0

2D



NB : on obtient généralement une liaison pivot à partir d'une liaison pivot glissant + 2 arrêt axiaux (1 dans chaque sens). Ceci se reflète dans le symbole de liaison !

5.5.2 Glissière / hélicoïdale

Liaison glissière

Guidage : en translation rectiligne

Solution technologique classiques :

- contact prismatique : suivant 2 plans perpendiculaires
- 2 contacts cylindre/cylindre déportés (ex. coulisse de trombone)

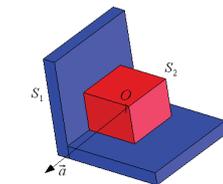
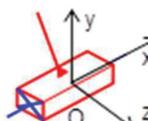


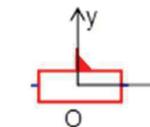
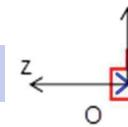
Schéma normalisé

3D



Rx	0	Tx	1
Ry	0	Ty	0
Rz	0	Tz	0

2D



Liaison hélicoïdale

Guidage : déplacement synchronisé de rotation et translation autour du même axe

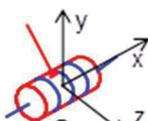
Solutions technologiques classiques :

- contact suivant des hélicoïdes (ex. vis-écrou)



Schéma normalisé

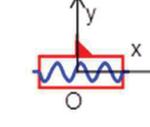
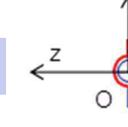
3D



Rx	1	Tx	1
Ry	0	Ty	0
Rz	0	Tz	0

Rx et Tx sont liés

2D



5.5.3 Appui plan / ponctuelle

Liaison appui-plan

Solutions technologiques classiques :

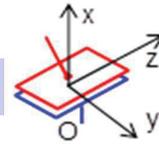
- un contact plan/plan (ex. souris/bureau)
- en associant trois contacts ponctuels (ex. tabouret à 3 pieds)

*NB : les chaises ont souvent 4 pieds pour éviter de perdre un des 3 appuis (et risquer une chute!) mais 3 appuis **suffisent** à réaliser un appui plan.*



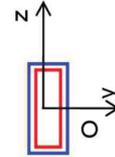
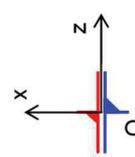
Schéma normalisé

3D



Rx	1	Tx	0
Ry	0	Ty	1
Rz	0	Tz	1

2D



Liaison ponctuelle

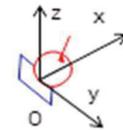
Solutions technologiques classiques :

- un contact sphère/plan (ex. boule de billard sur tapis)
- un contact plan/plan où la surface de contact est de petite taille si bien qu'on l'assimile à un point (ex. un des 3 pieds du tabouret contre le sol)



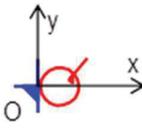
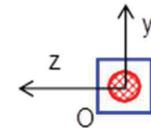
Schéma normalisé

3D



Rx	1	Tx	0
Ry	1	Ty	1
Rz	1	Tz	1

2D



5.5.4 Rotule / rotule à doigt

Liaison rotule (ou sphérique)

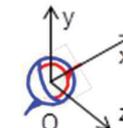
Solutions technologiques classiques :

- contact suivant des portions de sphères (ex. joystick)
- articulation de la hanche et de l'épaule



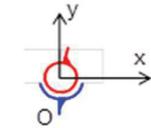
Schéma normalisé

3D



Rx	1	Tx	0
Ry	1	Ty	0
Rz	1	Tz	0

2D



Liaison rotule (ou sphérique) à doigt

Solutions technologiques classiques :

- un contact sphérique + ergot dans rainure
- le joint de cardan : il permet 2 rotations libres, mais en « bloque » une, celle qui permet l'entraînement (ex. présent en double dans les manivelles de volet roulant)
- plusieurs articulations : coude, poignet, genou, cheville

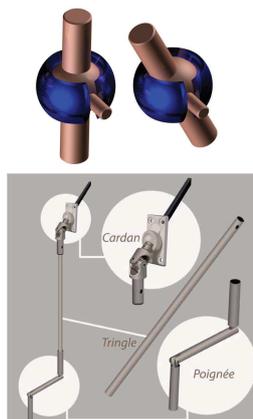
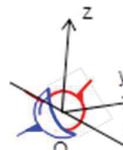


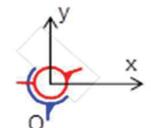
Schéma normalisé

3D



Rx	1	Tx	0
Ry	0	Ty	0
Rz	1	Tz	0

2D



5.5.5 Linéaire annulaire / linéaire rectiligne

Liaison linéaire annulaire

Solutions technologiques classiques :

- une sphère dans une portion de cylindre (ex. de la boule de bowling dans la rigole)

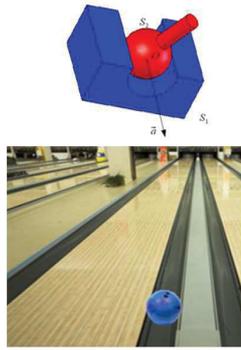
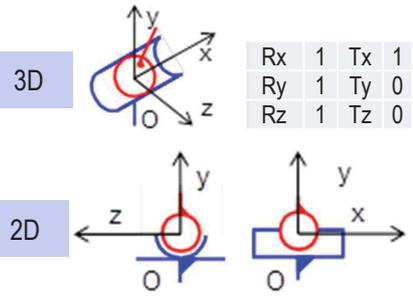


Schéma normalisé



Liaison linéaire rectiligne

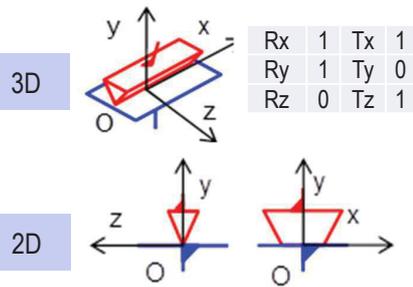
Solutions technologiques classiques :

- contact d'un cylindre sur un plan, ou d'une arête d'un prisme sur un plan
- contact suivant deux points sur un plan

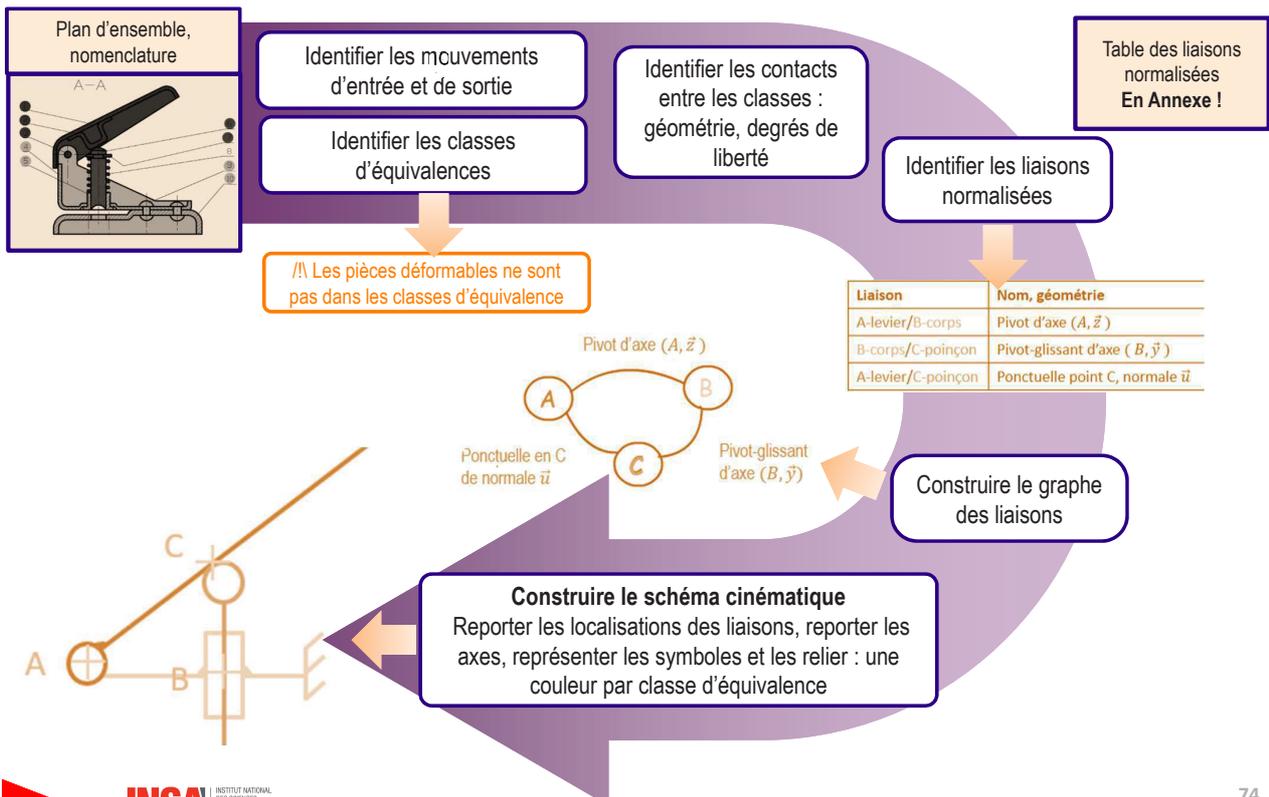
Du point de vue des degrés de liberté on peut considérer que le Segway est en liaison linéaire-rectiligne avec le sol.



Schéma normalisé



5.6 Méthodologie



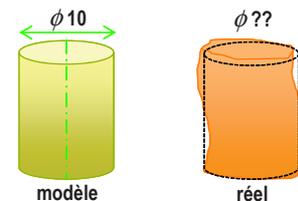
Chapitre 6. Dimensionnement

- 6.1 Dimensions : du modèle au réel
- 6.2 Le pied à coulisse
- 6.3 Mise en place de la cotation
- 6.4 Intervalle de tolérance
- 6.5 Tolérancement normalisé ISO
- 6.6 Ajustements normalisés ISO
- 6.7 Types d'ajustements
- 6.8 Chaînes de cotes

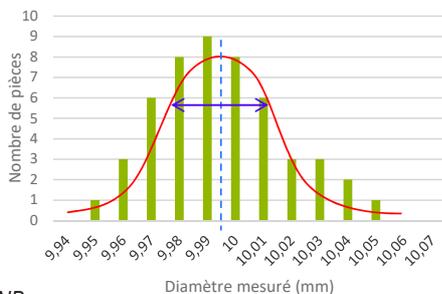
6.1 Du modèle au réel

Modèle versus réel ?

- Le **modèle** d'une pièce est sa représentation « idéale », qui peut être sur papier ou sous forme numérique (modèle SolidEdge par ex.). Ce modèle possède une géométrie « parfaite ».
- Mais dans la vraie vie, les pièces fabriquées ne seront **jamais parfaites**.
Les sources d'écart entre modèle et réel peuvent être par exemple :
 - les traces de l'outil qui a servi à fabriquer la pièces (rugosité de surface);
 - les défauts de formes liés aux déformations des machines (vibrations, usure de l'outil...)
 - des approximations de réglage des machines par l'opérateur



- Bref, si vous fabriquez une série de pièces (50 cylindres de diamètre 10mm ici) et que vous les mesurez toutes, voici la répartition des dimensions mesurées (barres vertes) :



- Cette répartition s'approche d'une gaussienne (courbe rouge)
 - La **moyenne** des mesures (barre pointillée bleue) est : **9,995mm**. On remarque donc un écart à la valeur « cible » qui était 10mm
 - L'**écart type** (flèche violette) représente la dispersion autour de la moyenne : **0,023mm**. Au plus la fabrication est « précise », au plus l'écart type est petit.
- Plutôt que spécifier **une dimension cible unique** (diamètre 10mm), il va donc falloir spécifier **un intervalle** dans lequel une pièce est considérée acceptable ou non (par exemple de 9,95 à 10,03mm).

NB :

- Aux sources d'erreurs mentionnées ci-dessous s'ajoute toujours une contribution **de l'erreur de mesure**. Au + l'outil de mesure est précis, au + cette contribution est faible (voir fiche 6.2).
- Un cylindre peut-être mesuré à plusieurs endroits qui n'ont pas toujours la même dimension. Ici on fait l'approximation d'une seule mesure « représentative » du cylindre complet.

6.2 Le pied à coulisse

C'est quoi ? Le pied à coulisse est un appareil de mesure de longueur dont la précision de mesure est de l'ordre du 10^{ème} de mm

Principe de fonctionnement : un coulisseau (portant un vernier au 1/50°) et un bec mobile se déplacent sur une règle (liaison glissière) en fonction de la grandeur de la pièce à mesurer. La position de mesurage peut être stabilisée par la vis de blocage.

Différents types de mesures au pied à coulisse :

- Mesure d'une dimension extérieure
- Mesure d'une dimension intérieure
- Mesure d'une profondeur

Méthode de mesure:

Etape (1): lecture de la valeur entière de millimètre sur la règle se trouvant à gauche du zéro du vernier

Etape (2): lecture de la partie décimale sur le trait en correspondance entre le vernier et la règle

(1) 11 mm + (2) 0.44 mm = 11.44 mm

Conditions normales d'utilisation:

- Se placer en face des graduations pour éviter les erreurs de parallaxes
- Exercer une pression limitée sur les becs à l'aide du pousoir
- Positionner correctement le pied à coulisse sur les faces de la pièce
- Nettoyer les becs avant utilisation
- Vérifier le jeu fonctionnel de la liaison glissière du pied à coulisse

6.3 Mise en place de la cotation

C'est quoi la cotation fonctionnelle ? La cotation fonctionnelle sert à définir la géométrie des pièces pour que ces pièces respectent les conditions fonctionnelles.

- Sur le **dessin d'ensemble** d'un mécanisme, ces indications définissent des conditions de fonctionnement (par ex. jeu ou serrage).
- Sur le **dessin de définition** d'une pièce, ces indications permettant de définir les dimensions et les formes de la pièce.

Cotation fonctionnelle d'une pièce :

Sur un dessin de définition, la géométrie d'une pièce est définie par :

- Des cotes dimensionnelles (linéaires ou angulaires)
- Des tolérances de forme ou de position relative des surfaces
- Des indications d'états de surface

Exemple :

Ecriture de la cotation dimensionnelle :

La cotation dimensionnelle (linéaire ou angulaire) consiste en :

- La **cote nominale** de la dimension
- La **tolérance** associée à cette cote nominale (écart admissible)

Vos notes

6.4 Intervalle de Tolérance (IT)

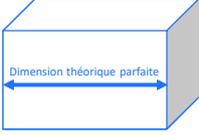
C'est quoi un Intervalle de Tolérance (IT) ? C'est la différence entre la valeur maximale admissible et la valeur minimale admissible de la dimension.

Ca sert à quoi ? A définir la variation permise (tolérée) pour la dimension d'une pièce, pour que le mécanisme assemblé fonctionne comme souhaité par le cahier des charges.

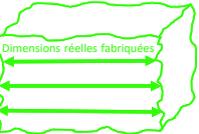
Pièce réelle

La pièce fabriquée n'est jamais parfaite !

Pièce théorique parfaite :

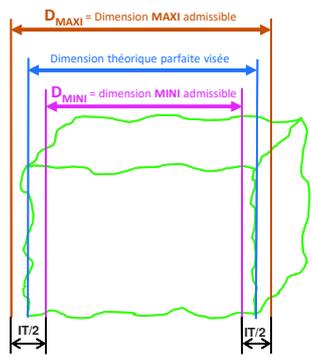


Pièce réelle fabriquée :
(défauts exagérés)



Visualisation de l'IT

$$IT = D_{MAXI} - D_{MINI}$$



NB : ici, les dimensions fabriquées rentrent dans l'IT

Applications numériques

Exemples de cotes tolérancées et IT correspondants :

$25 \pm 0,2$: $D_{MAXI} = 25,2$ et $D_{MINI} = 24,8$
=> $IT = 0,4$ mm

$38^{+0,3}_{-0,2}$: $D_{MAXI} = 38,3$ et $D_{MINI} = 37,8$
=> $IT = 0,5$ mm

Vos notes

6.5 Tolérance normalisée ISO

C'est quoi une tolérance normalisée ISO ? C'est la variation permise de la dimension réelle de la pièce écrite de façon normalisée. Par exemple : **18H8** (alésage) ou **18f7** (arbre)

Ca sert à quoi ? Ce système international normalisé permet d'abaisser les coûts de fabrication par la diminution du nombre d'outillages et de moyens de contrôle. Il permet aussi d'améliorer l'interchangeabilité des pièces pour la maintenance.

Tolérance normalisée

1 Cote nominale

2 Position de l'IT (lettre)

3 Précision de réalisation (chiffre)

4 Qualité de la réalisation (largeur de l'IT)

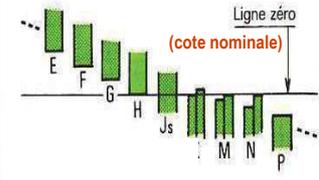
Qualité	Cote nominale (en mm)										
	Jusqu'à 3 inclus	3 à 6 inclus	6	10	18	30	50	80			
5	4	5	6	8	9	11	13				
6	6	8	9	11	13	16	19				
7	10	12	15	18	21	25	30				
8	14	18	22	27	33	39	46				
9	25	30	36	43	52	62	74				
10	40	48	58	70	84	100	120				
11	60	75	90	110	130	160	190				
12	100	120	150	180	210	250	300				

Valeur en μm

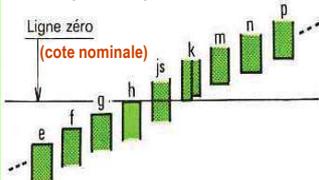
La largeur de l'IT dépend de la cote nominale : dimension de la cote et largeur de l'intervalle évoluent de la même manière

2 Position de l'IT (/ à la cote nominale) ... positionné avec l'écart le + proche :

ALESAGE (contenant) : lettre MAJUSCULE



Arbre (contenu) : lettre minuscule



Applications numériques

$20H8 = 20^{+0,033}_{+0}$

$IT = 33\mu m = 0,033mm$

$= D_{MAXI} - D_{MINI}$

$\Rightarrow D_{MAXI} = 20 + 0,033 = 20,033$

$\Rightarrow 20H8 = 20^{+0,033}_{+0}$

$20f7 = 20^{-0,021}_{-0}$

$IT = 21\mu m = 0,021mm$

$\Rightarrow D_{MINI} = 19,980 - 0,021 = 19,959$

$\Rightarrow 20f7 = 20^{-0,020}_{-0,041}$

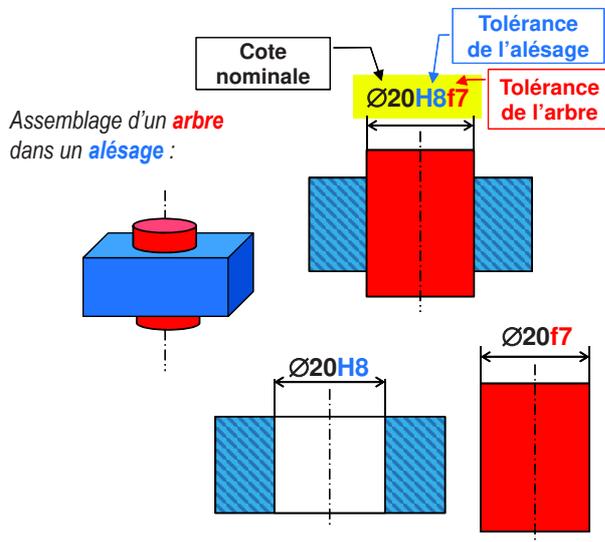
Vos notes

6.6 Ajustements normalisés

C'est quoi un **ajustement normalisé ISO** ? C'est un système de cotation normalisé (présenté en 6.5) appliqué à l'assemblage de 2 pièces. Par exemple : **20H8f7**.

Ca sert à quoi ? Ce système d'ajustement permet au concepteur d'indiquer d'une façon **pratique** le type d'assemblage souhaité.

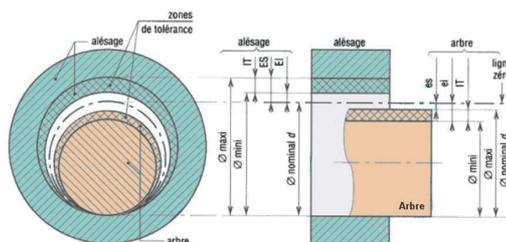
Ecriture d'un ajustement normalisé :



Calcul des valeurs limites du jeu :

$$\text{Jeu MAXI} = ES - ei$$

$$\text{Jeu mini} = EI - es$$



Jeu MAXI « quand l'alésage est au + grand et l'arbre au + petit »
 Jeu mini « quand l'alésage est au + petit et l'arbre au + grand »

Application numérique :

20H8f7 :

$$20H8 = 20 \begin{matrix} +0,033 \\ +0 \end{matrix}$$

$$20f7 = 20 \begin{matrix} -0,020 \\ -0,041 \end{matrix}$$

$$\text{Jeu MAXI} = 20,033 - 19,959 = 0,074 \text{ mm}$$

$$\text{Jeu mini} = 20 - 19,980 = 0,020 \text{ mm}$$

6.7 Types d'ajustement

C'est quoi un **type d'ajustement** ? C'est une notion qui permet de savoir si l'assemblage réalisé sera **avec jeu**, **incertain** ou **serré**.

Ca sert à quoi ? Ca sert à garantir les conditions fonctionnelles de l'assemblage.

- Avec **Jeu** => mouvement possible et montage facile;
- Incertain** => Assemblage précis;
- Serrage** => Pas de mouvement possible, transmission d'efforts

Les 3 types d'ajustement + Exemple pour chaque type :

Avec Jeu : (Jeu > 0)

Exemple : $\varnothing 80 H8f7$

Jeu mini = 0.030 mm

Jeu Maxi = 0.106 mm

Incertain :

($J_{\text{mini}} < 0$ et $J_{\text{Maxi}} > 0$)

Exemple : $\varnothing 80 H7k6$

Jeu mini = - 0.021 mm

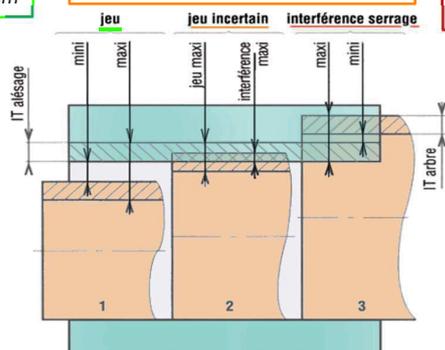
Jeu Maxi = 0.028 mm

Serrage : (Jeu < 0)

Exemple : $\varnothing 80 H7s6$

Jeu mini = - 0.078 mm

Jeu Maxi = - 0.029 mm



Application numérique

$\varnothing 80 H7s6 :$

$$80H7 = 80 \begin{matrix} +0,030 \\ +0 \end{matrix}$$

$$80s6 = 80 \begin{matrix} +0,078 \\ +0,059 \end{matrix}$$

Cas d'utilisation :

Avec Jeu (Jeu ≥ 0)

Ex H8f7 : mouvement, montage facile

Incertain ($J_{\text{min}} < 0$ et $J_{\text{MAX}} > 0$)

Ex H7k6 : positionnement (assemblage précis, léger effort au montage)

Serrage (Jeu ≤ 0)

Ex. H7p6 : léger serrage ne supportant que des efforts modérés
 Ex. H7s6 : serrage important avec transmission d'efforts élevés

Vos notes

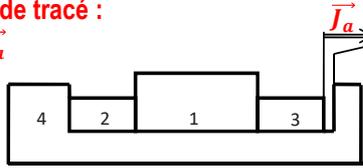
6.8 Chaîne de cotes

C'est quoi une chaîne de cotes ? Dans un mécanisme, c'est un ensemble de cotes nécessaires et suffisantes pour respecter une condition fonctionnelle. On s'intéresse à des assemblages de 2 pièces minimum, mais souvent plus!

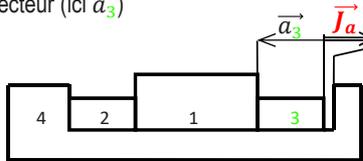
Ca sert à quoi ? Le tracé de la chaîne de cotes permet de déterminer **les pièces et les cotes concernées** par une condition fonctionnelle.

Méthode de tracé :

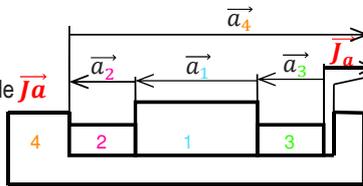
- 1) Tracer le vecteur « Cote condition » \vec{J}_a



- 2) A partir de l'origine de J, tracer le 1^{er} vecteur (ici \vec{a}_3)



- 3) Tracer le vecteur suivant qui a pour origine l'extrémité du vecteur précédent (ici \vec{a}_1)



- 4) Répéter l'étape 3) jusqu'à l'extrémité de \vec{J}_a

Equation vectorielle :

$$\vec{J}_a = \vec{a}_3 + \vec{a}_1 + \vec{a}_2 + \vec{a}_4$$

Résultat :

Equation vectorielle :

$$\vec{J}_a = \vec{a}_3 + \vec{a}_1 + \vec{a}_2 + \vec{a}_4$$

↓ Projection sur l'axe

Equation algébrique :

$$J_a = -a_3 - a_1 - a_2 + a_4$$

Jeu Maxi et Jeu mini :

Les cotes a_1 à a_4 possèdent des intervalles de tolérances donc sont en réalité des **couples de valeurs minimales et maximales** (par ex. a_{1min} et a_{1MAX}).

On en déduit donc le **système de 2 équations** suivantes :

$$J_{aMAX} = -a_{3min} - a_{1min} - a_{2min} + a_{4MAX}$$

$$J_{aMini} = a_{4min} - a_{3Max} - a_{1Max} - a_{2Max}$$

Vos notes

Chapitre 7. Solutions de liaisons

- 7.1 Mise en Position (la MIP)
- 7.2 Liaison partielle *versus* Liaison complète
- 7.3 Liaison pivot (5 slides)
- 7.4 Liaison glissière (2 slides)
- 7.5 Liaison complète : par appui plan (2 slides)
- 7.6 Liaison complète : par cylindre (3 slides)
- 7.7 Maintien en Position (le MAP)

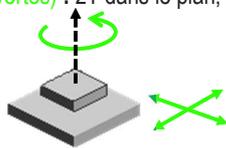
7.1 Mise en Position (MIP)

Ca sert à quoi ?

Mettre en position une pièce par rapport à une autre se fait grâce à une/des **surfaces de contact**. L'objectif est de **supprimer certains degrés de liberté (DDL) (pas de mouvement possible)** tout en en laissant **certaines DDL libres (mouvement possible)**. Par exemple :

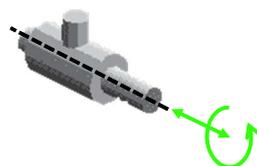
Contact appui plan

- **Suppression de 3DDL** : 1T normale au plan, 2R autour des axes du plan
- **3DDL libres (flèches vertes)** : 2T dans le plan, 1R autour de la normale au plan



Contact cylindrique

- **Suppression de 4DDL** : 2T normales à l'axe, 2R autour des normales à l'axe
- **2DDL libres (flèches vertes)** : 1T selon l'axe, 1R autour de l'axe

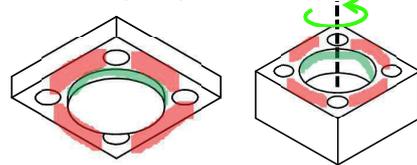


Plusieurs surfaces ?

On peut trouver parfois une combinaison de surfaces de contact entre 2 pièces. **Les DDL supprimés s'ajoutent !** Par exemple :

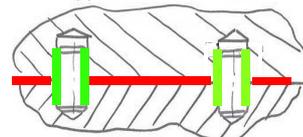
Appui plan + Centrage :

- **Il ne reste plus qu'un DDL** : 1R autour de l'axe



Appui plan + 2 pions :

- **Tous les DDL supprimés !**



NB : on parle parfois de **MIP principale** et **MIP secondaire**. La principale est « la plus grande surface » et la secondaire est « la plus petite ». Mais si les surfaces sont quasi équivalentes, la principale est celle qui « domine » la suppression des DDL (parfois, une secondaire supprime des DDL déjà supprimés par la principale)

7.2 Liaison partielle versus Liaison complète

Liaison partielle

Ca sert à quoi ? Une liaison partielle permet de **supprimer une partie des degrés de liberté (DDL)** pour n'en garder que certains choisis. Il restera au moins 1 mouvement possible entre 2 pièces

Comment ? Ceci est réalisé par des surfaces de contact entre pièces, aussi appelées surfaces de **Mise en Position (MIP)** ou de guidage. Exemple pour deux liaisons partielles classiques :

Liaison pivot

Le seul DDL restant est une rotation (**1DDL : 1R**). La MIP consiste en :

1 cylindre (-4DDL : 2T, 2R)

2 arrêts axiaux (-1DDL : 1T)
(1 pour positionnement + 1 pour la bilatéralité)

1 jeu axial (entre les arrêts axiaux) pour ne pas gêner la rotation souhaitée par frottement

Liaison glissière

Le seul DDL restant est une translation (**1DDL : 1T**). La MIP consiste en :

Formes prismatiques par exemple 2 plans non //
(-5DDL : 2T, 3R)

OU

1 cylindre (-4DDL : 2T, 2R)
+ **1 arrêt en rotation (-1DDL : 1R)**

Donc... **Pas de MAP** pour une liaison partielle.
Qu'est ce que MAP ? Voir « Liaison complète » →

Liaison complète

Ca sert à quoi ? Une liaison complète (ou encastrement) permet de **supprimer tous les degrés de liberté (DDL)**. Il n'y aura plus aucun mouvement entre 2 pièces.

Comment ? Ceci est réalisé en 2 étapes (+ ou -) distinctes :

- la **Mise en Position (MIP)** des pièces par surfaces de contact,
- puis le **Maintien en Position (MAP)** de ces pièces à l'aide, souvent, d'éléments extérieurs. Exemple de solutions :

Appui-plan prépondérant

La MIP consiste en :

1 appui plan (-3DDL : 1T, 2R)

1 centrage (par cylindre)
(-2DDL en T)

1 arrêt en rotation
(-1DDL en R)

Cylindre prépondérant

La MIP consiste en :

1 cylindre (-4DDL : 2T, 2R)

1 arrêt en rotation
(-1DDL : 1R)

1 arrêt axial
(-1DDL : 1T)

Le Maintien en Position (MAP) est nécessaire pour s'assurer que les surfaces de MIP restent en contact. Selon le choix de MAP (ex. boulonnage, soudure, colle etc.), la liaison sera **démontable** ou **indémontable** (voir fiche 7.7).

Attention : certaines liaisons complètes sont réalisées avec une « MIP incomplète ». C'ad que tous les DDL ne sont pas supprimés par MIP : certains DDL seront supprimé par le MAP!

7.3 Liaison pivot (1/5) : choix du guidage en rotation

Liaison pivot

Le seul DDL restant est une rotation (**1DDL : 1R**). La MIP consiste en :

1 cylindre (-4DDL : 2T, 2R)

2 arrêts axiaux (-1DDL : 1T)
(1 pour positionnement + 1 pour la bilatéralité)

1 jeu axial (entre les arrêts axiaux) pour ne pas gêner la rotation souhaitée

Vos notes

Guidage précis

NON

OUI

Risque d'usure

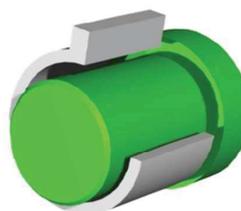
NON

OUI

Vitesse ou effort important

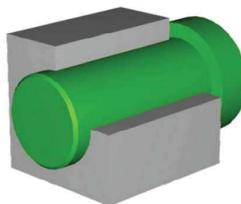
NON

OUI



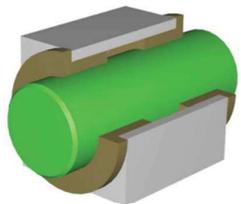
Axe dans tube

Surfaces BRUTES
Qualité > 13
Prix : 1



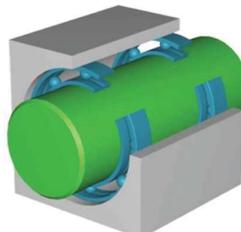
Contact direct

Surfaces USINEES
Qualité ~ = 8
Prix : 2



Coussinets

Surfaces USINEES
Qualité ~ = 7
Prix : 5



Roulements

Surfaces USINEES
Qualité ~ = 6
Prix : 10

7.3 Liaison pivot (2/5) : arrêts axiaux

Liaison pivot

Le seul DDL restant est une rotation (1DDL : 1R). La MIP consiste en :

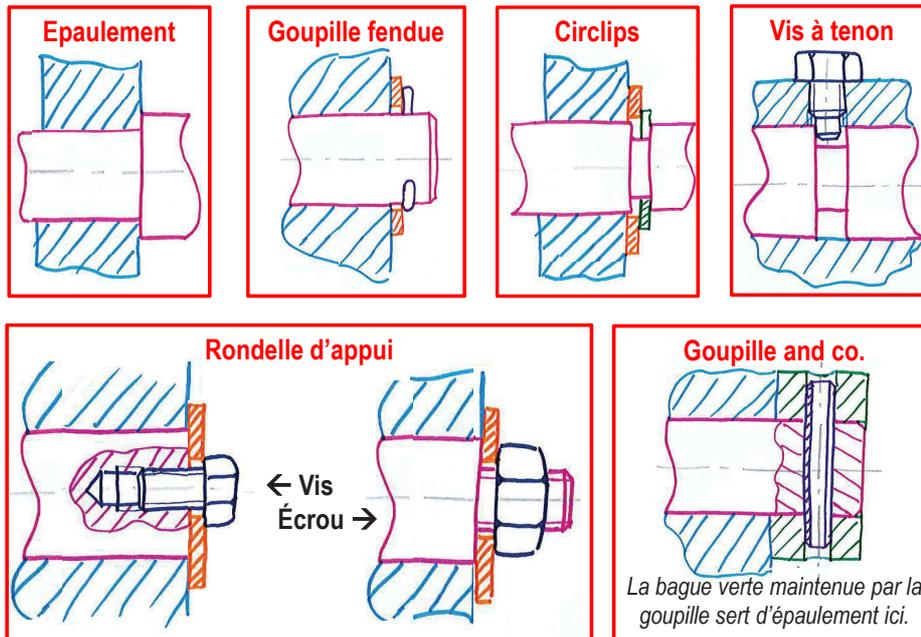
1 cylindre (-4DDL : 2T, 2R)

2 arrêts axiaux (-1DDL : 1T)
(1 pour positionnement + 1 pour la bilatéralité)

1 jeu axial (entre les arrêts axiaux) pour ne pas gêner la rotation souhaitée

Vos notes

Arrêts axiaux (du + simple au + compliqué, en terme de dessin)



Il faut choisir **2 arrêts** parmi les possibles, un pour chaque direction. Par exemple {épaulement + circlips}, {épaulement + rondelle} ou bien {circlips + circlips}...

Attention: La solution la plus simple à dessiner : {épaulement + épaulement} est rarement montable !

7.3 Liaison pivot (3/5) : jeu axial

Liaison pivot

Le seul DDL restant est une rotation (1DDL : 1R). La MIP consiste en :

1 cylindre (-4DDL : 2T, 2R)

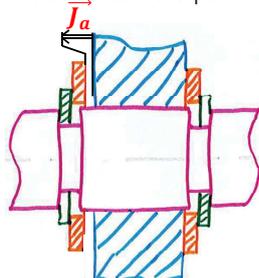
2 arrêts axiaux (-1DDL : 1T)
(1 pour positionnement + 1 pour la bilatéralité)

1 jeu axial (entre les arrêts axiaux) pour ne pas gêner la rotation souhaitée

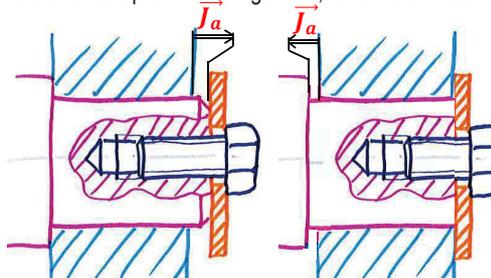
Vos notes

Jeu axial ? Pour éviter les frottements aux niveaux des arrêts axiaux, qui **gèneront la libre rotation**, on prévoit **systématiquement un jeu axial** entre les arrêts axiaux.

Liaison avec 2 circlips :



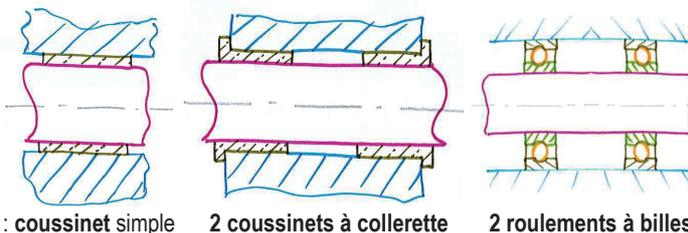
Liaison avec épaulement à gauche, rondelle à droite :



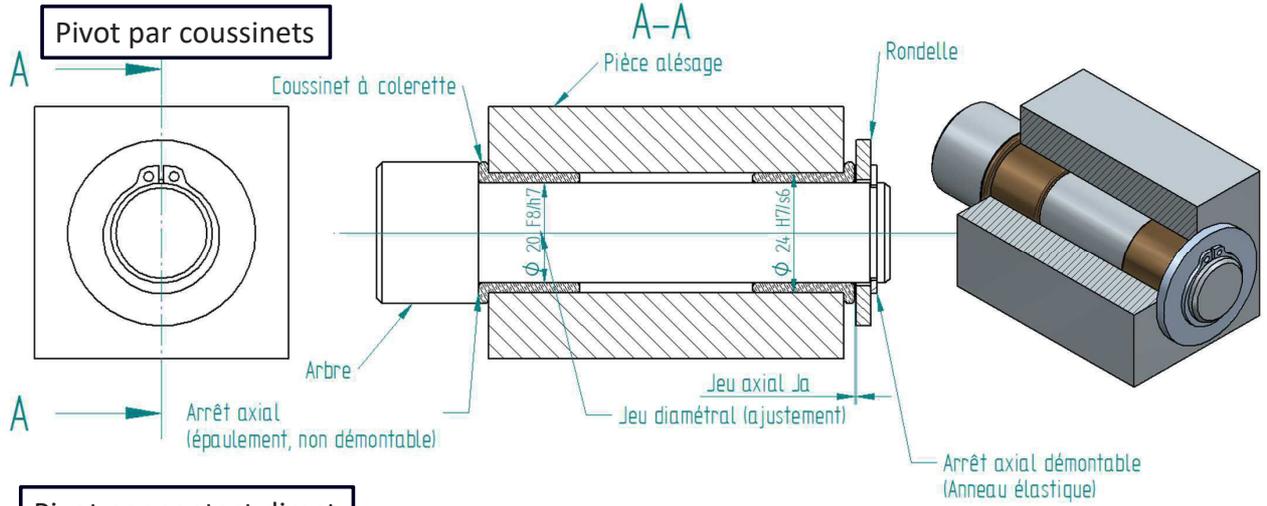
NB : Lors du fonctionnement, le jeu pourra changer de place, mais sur le dessin, on choisit le côté ou il sera représenté pour ne **le faire apparaître qu'une seule fois**

Et les frottements radiaux ? Le jeu axial évite les frottements axiaux, mais qu'en est-il des frottements radiaux le long du cylindre de MIP ? Ne sont-ils pas tout aussi importants ?

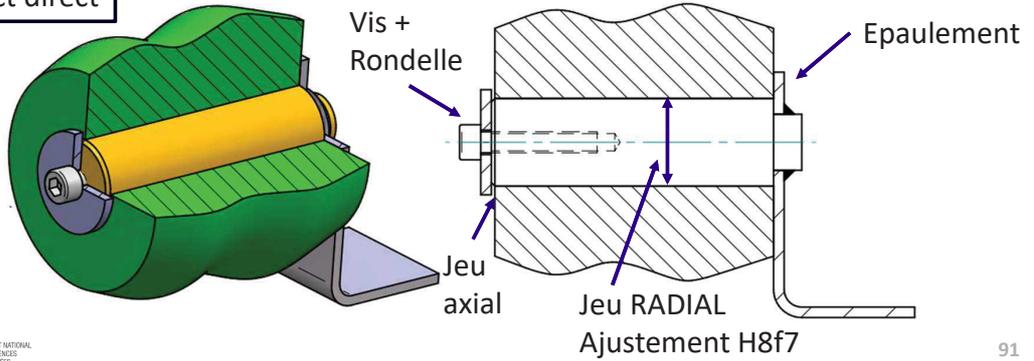
Quand la charge à supporter et les vitesses de rotations deviennent importantes, on peut insérer des pièces entre l'arbre et le bâti pour **limiter les pertes par frottement**. Par exemple :



7.3 Liaison pivot (4/5) : exemples de solutions

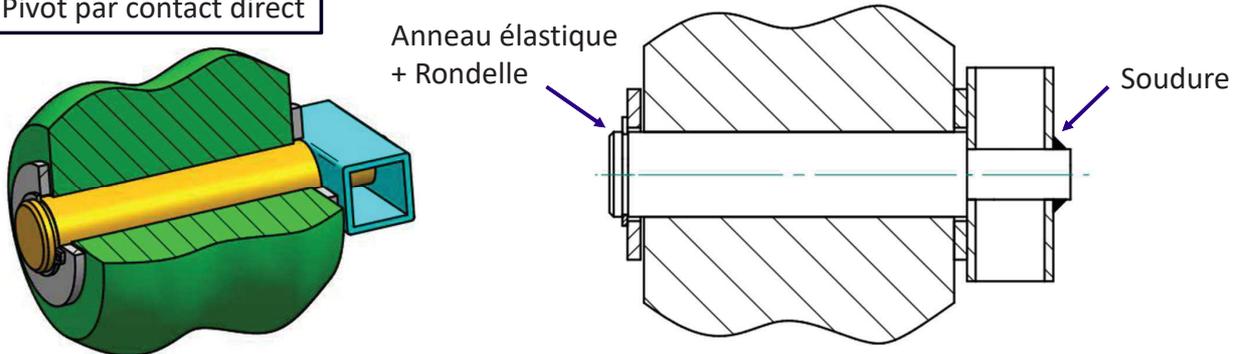


Pivot par contact direct

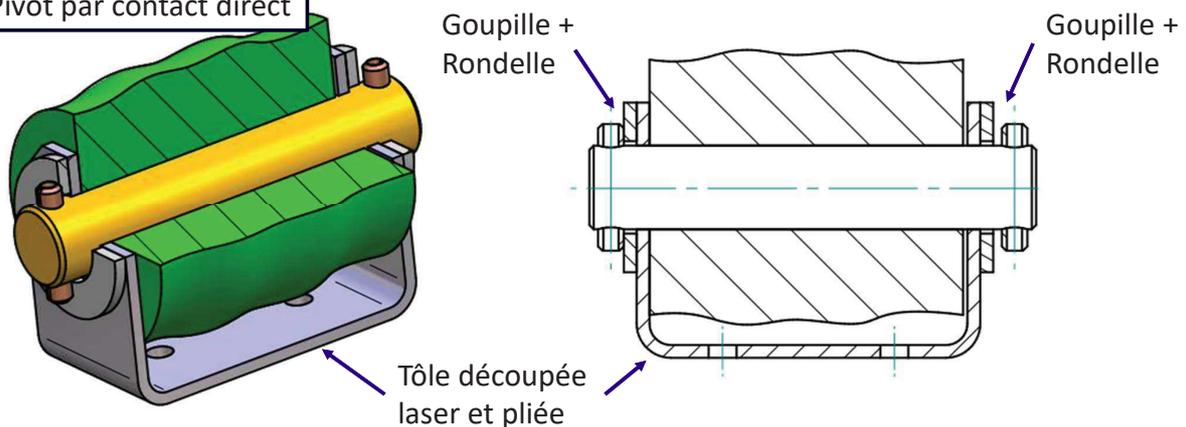


7.3 Liaison pivot (5/5) : exemples de solutions

Pivot par contact direct



Pivot par contact direct



7.4 Liaison glissière (1/2)

Liaison glissière

Le seul DDL restant est une translation (1DDL : 1T). La MIP consiste en :

Formes prismatiques par exemple 2 plans non // (-5DDL : 2T, 3R)

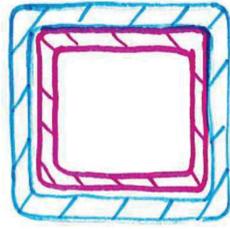
OU

1 cylindre (-4DDL : 2T, 2R)
+ 1 arrêt en rotation (-1DDL : 1R)

Formes prismatiques (plan non //)

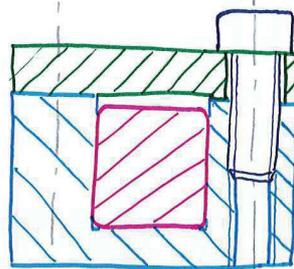
Tubes carrés

Pas très précis mais... ça marche !



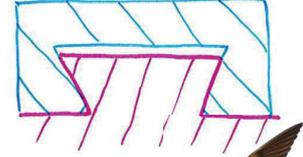
Formes de type carré

Fabricable !



Queue d'aronde

La pièce bleue glisse sur la rose, et ne peut pas s'en désolidariser !



NB : Aronde est l'ancien nom de l'hirondelle!



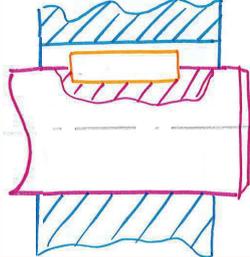
Et les jeux?

Comme pour la pivot, il faudra assurer les jeux pour que la glissière puisse glisser !

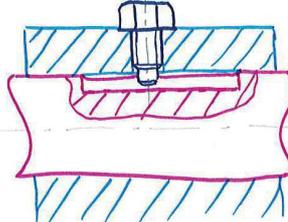
NB : Ils sont visibles la plupart du temps → les identifier sur les dessins fournis

Cylindre + arrêt en rotation L'arrêt en rotation est réalisé par une pièce ajoutée : par ex. clavette, vis ou cylindre supplémentaire

Clavette



Vis à tenon

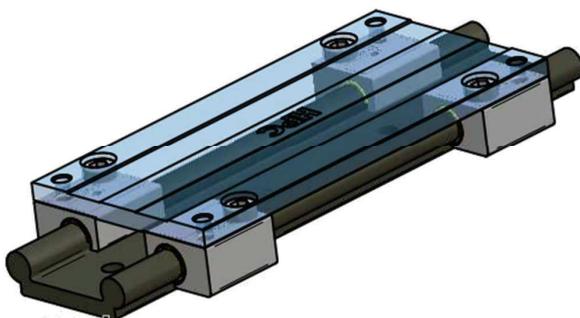
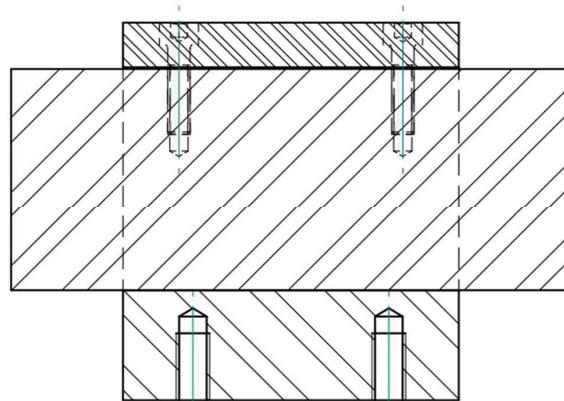
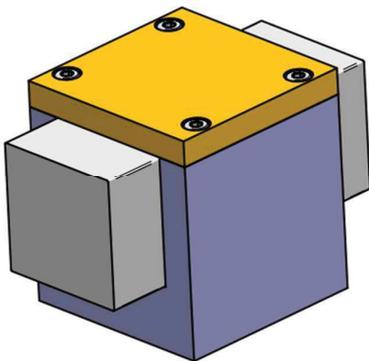


NB : Jeu entre rainure et tenon !

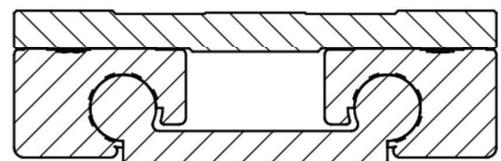
Cylindres // déportés

Voir slide ci-dessous ☺

7.4 Liaison glissière (2/2) : exemples de solutions



K-K



7.5 Liaison complète par appui plan (1/2)

Appui-plan prépondérant

La MIP consiste en :

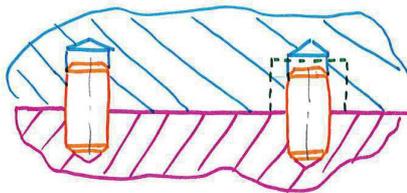
1 appui plan (-3DDL : 1T, 2R)

1 centrage (par cylindre)
(-2DDL : 2T)

1 arrêt en rotation
(-1DDL en R)

Vos notes

Appui Plan + 2 pions

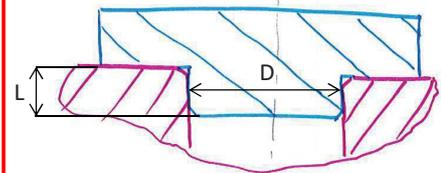


1er pion (-2DDL : 2T)

2ème pion (-1DDL en R)

NB : un des 2 pions perçages de pions est parfois remplacé par une rainure oblong (pointillés verts)

Appui Plan + Centrage court

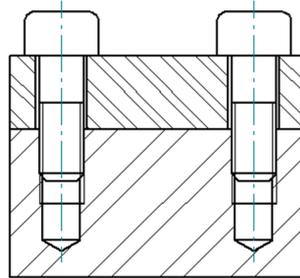


Cylindre de positionnement (-2DDL : 2T)

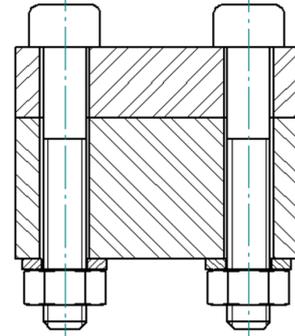
Que signifie court? $L/D < 1$

NB : il reste encore un DDL en rotation ici, donc la MIP est incomplète !

Et le MAP ? Pour maintenir le contact entre les 2 plans, il est nécessaire d'utiliser des éléments extérieurs. Une solution courante est le vissage (ou boulonnage) à plusieurs vis, pour répartir l'effort :

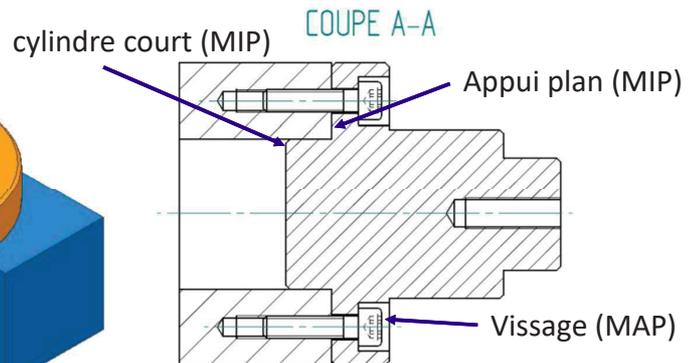
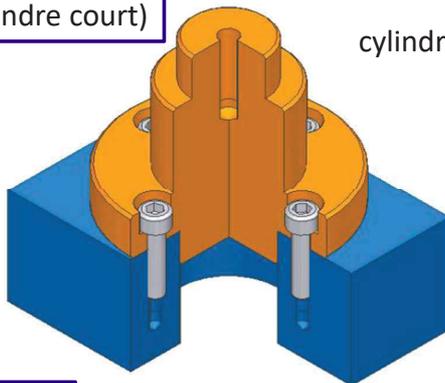


vissage ou boulonnage?
Qui est qui??

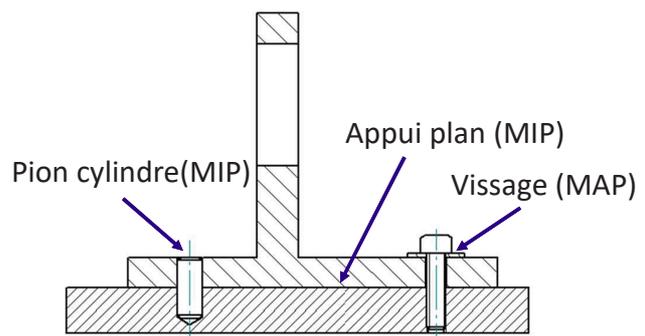
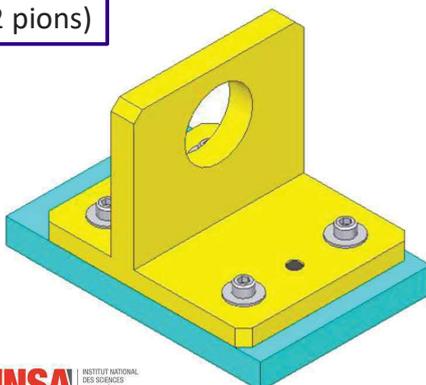


7.5 Liaison complète par appui plan (2/2) : exemples de solutions

Centrage Court (plan + cylindre court)



Centrage Court (plan + 2 pions)

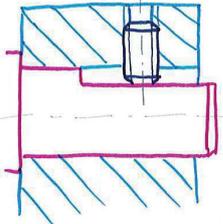


7.6 Liaison complète par cylindre (1/3)

Cylindre prépondérant
La MIP consiste en :

- 1 cylindre (-4DDL : 2T, 2R)
- 1 arrêt en rotation (-1DDL : 1R)
- 1 arrêt axial (-1DDL : 1T)

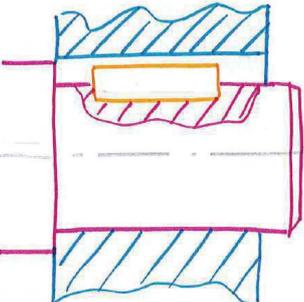
Vis de pression



Epaulement (-1DDL : 1T)
Vis de pression sur méplat (-1DDL : 1T)

NB : la vis de pression réalise aussi le MAP

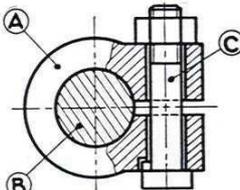
Clavette



Clavette (-1DDL : 1R)
Epaulement (-1DDL : 1T)

NB : malgré la MIP axiale par épaulement, l'arbre peut glisser vers la gauche : il faut un MAP → par ex. rondelle en bout d'arbre (voir fiche 7.7)

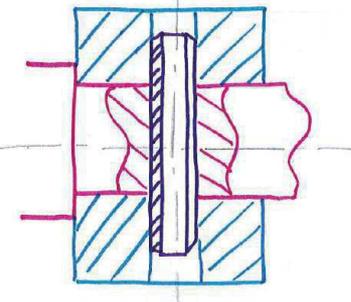
Pincement



A est serré autour de B par pincement du boulon C (et grâce à la rainure dans A!)

NB : sur cet exemple, on ne voit qu'une MIP par cylindre incomplète. L'opérateur qui serrera le boulon C réalisera la MIP axiale et radiale « à la main »

Cylindre + goupille



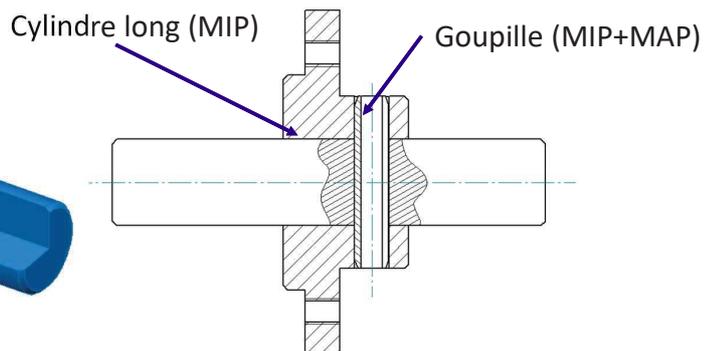
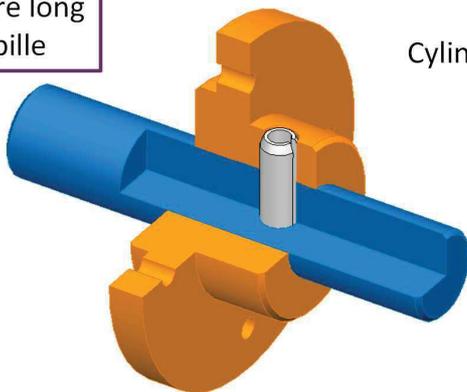
Goupille élastique (-2DDL : 1T, 1R)
L'épaulement n'est pas obligatoire ici : il aide la réalisation du perçage

NB : la goupille élastique serrée réalise aussi le MAP !

Vos notes

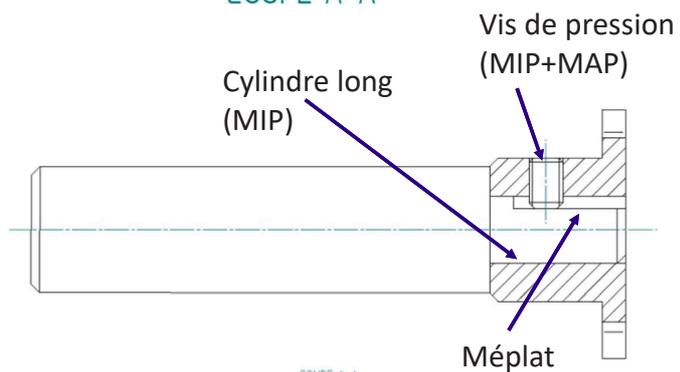
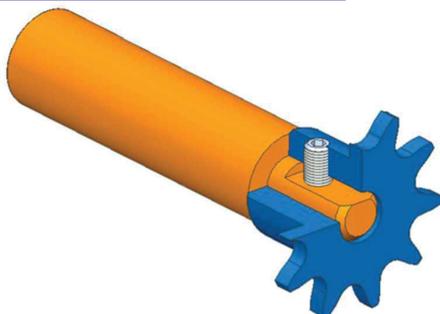
7.6 Liaison complète par cylindre (2/3) : exemples de solutions

Cylindre long + Goupille



COUPE A-A

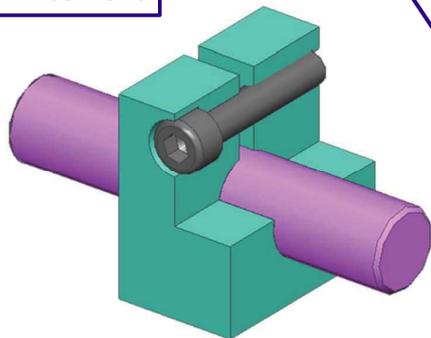
Cylindre long + Méplat + Vis de pression



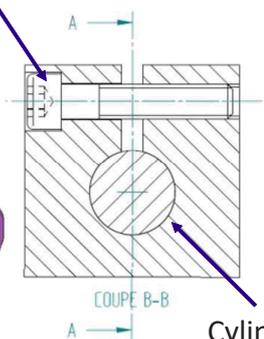
COUPE A-A

7.6 Liaison complète par cylindre (3/3) : exemples de solutions

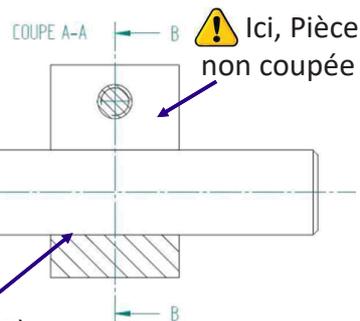
Pincement



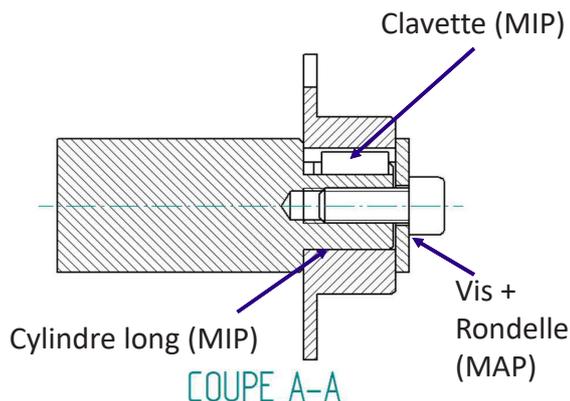
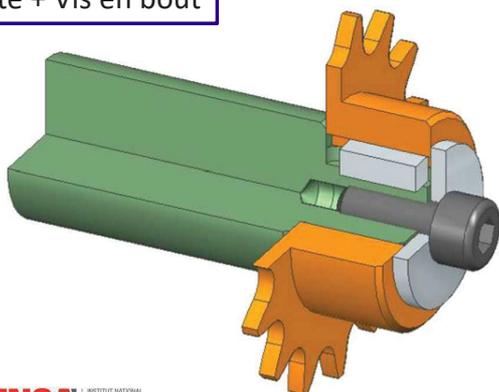
Vissage (MAP par déformation)



Cylindre long (MIP)



Clavette + Vis en bout



7.7 Maintien en Position (le MAP)

C'est quoi? Le Maintien en Position (MAP) permet d'assurer que les liaisons complètes soient **complètement bloquées**, une fois la MIP réalisée. En effet, la MIP ne suffit pas à assurer le blocage. Exemple de l'appui plan : il stoppe la translation selon la normale au plan dans 1 sens, mais les plans peuvent toujours se décoller ! Il faut donc **une force pour maintenir le contact** entre les plans.

MAP indémontables

Soudage : on ne sait pas « démonter une soudure » sans abîmer les pièces soudées (voir fiche 3.13)

Frettage : quand on assemble 2 pièces par serrage (voir fiche 6.7), on abîme les surfaces lors du démontage, et le montage ensuite serait incertain

Sertissage / Rivetage : on assemble par déformation plastique (avec ou sans rivets) de façon irréversible : donc non remontable !

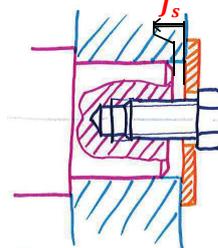


MAP par éléments filetés :

Plusieurs vis / boulons sur appui-plan (voir fiche 7.5)

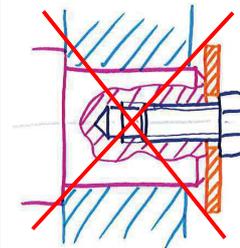
Vis de pression ou de pincement (voir fiche 7.6)

Rondelle en bout d'arbre



Jeu de serrage nécessaire
NB : la MIP est incomplète !

Ne pas confondre !



La rondelle sert d'arrêt axial ici!

Le MAP versus la MIP ? Parfois, le MAP est réalisé alors que tous les DDL ne sont pas arrêtés (**MIP incomplète**). Dans ce cas, c'est l'élément de MAP qui supprime les derniers DDL. Cela arrive souvent quand la MIP n'a pas besoin d'être précise (Ex. la rondelle en bout d'arbre ci-dessus : la position en rotation de l'arbre est imprécise).

A RETENIR ABSOLUMENT :

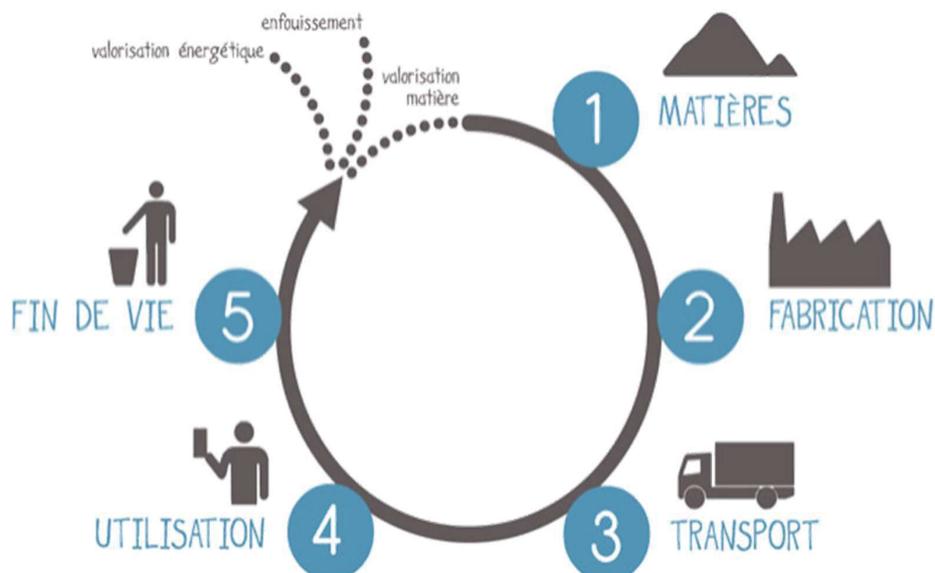
- une vis ne peut pas faire la MIP : ses filets ne sont pas une surface de positionnement précise du tout!
- la vis sert uniquement à exercer une pression entre 2 pièces, et ce seront les frottements entre pièces qui limiteront les mouvements. Autrement dit, les vis ne jouent pas le rôle d'obstacle, elles casseraient trop vite!

Chapitre 8. Solutions de liaisons

- 8.1 Eco-conception
- 8.2 Règles générales d'éco-conception (4 slides)
- 8.3 Matériaux
- 8.4 Les aciers
- 8.5 Les alliages d'aluminium
- 8.6 Le cuivre
- 8.7 Les plastiques : ABS – PLA – PP ...

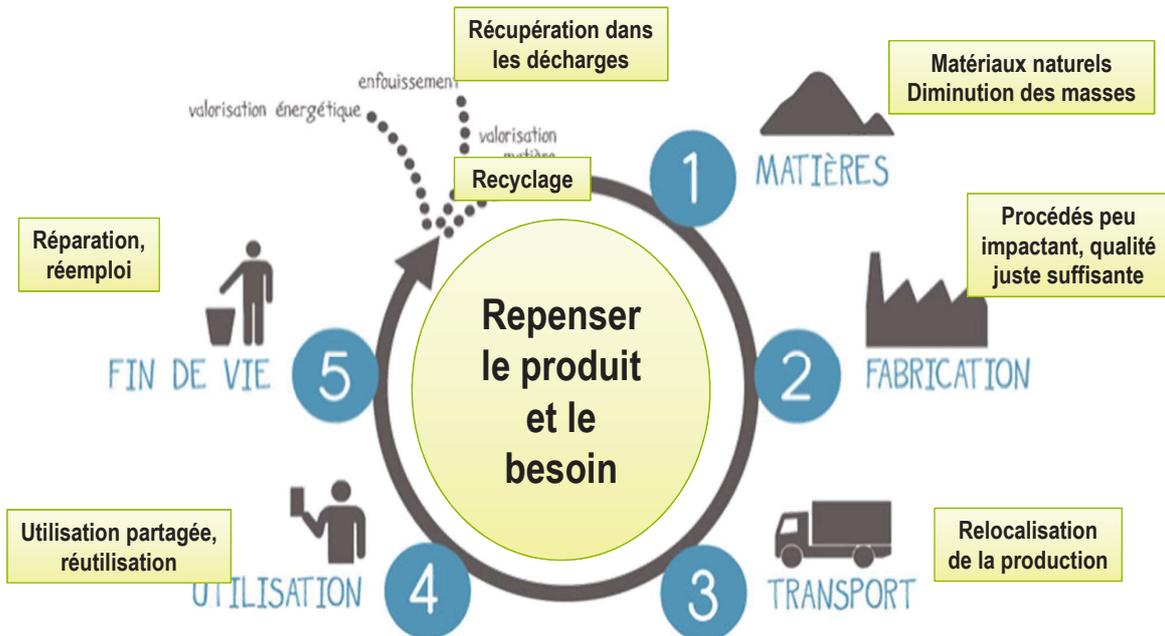
8.1 Eco-conception

Quoi ? L'éco-conception est l'« **intégration systématique des aspects environnementaux dès la conception** et le développement de produits [...] avec pour objectif la réduction des impacts environnementaux négatifs tout au long de leur **cycle de vie** » (norme NF X 30-264).



8.2 Règles d'Eco-conception (1/4)

Quoi ? L'éco-conception appelle à **repenser les produits**, les besoins et les usages sur l'ensemble du cycle de vie. Quelques grands principes d'action listés ci-dessous sont nécessaires.



8.2 Règles d'Eco-conception (2/4) : fin de vie

Quoi ? Quelques règles simples permettent de limiter efficacement **les impacts en fin de vie** en facilitant la réutilisation, le réemploi, la remise en état ou le recyclage.

- Utiliser des **matériaux courant** dont la fin de vie est maîtrisée : Acier, cuivre, aluminium, PE, PC, ABS, PS, PVC, Verre
- **Marquer les pièces plastiques** pour faciliter leur identification
- **Réduire** le nombre de composants, réduire le nombre de matériaux
- **Éviter de peindre** les pièces plastiques
- Choisir des matériaux **plastiques compatibles au tri** (voir tableau ci-après)



8.2 Règles d'Eco-conception (3/4) : tri en fin de vie

Quoi ? Pour être triés, les plastiques doivent être de densité suffisamment différentes.

	Polyéthylène		Copolymères P/E					Polypropylène						Polyamide				Polystyrénique			Autres matériaux														
	PE-HD	PE-LLD	P/E	P/E T 20	P/E + EPDM	P/E + EPDM T 30	PP	PP T 20	PP T 40	PP GF 30	PP MD 30	PP + EPDM	PP + EPDM T 26	PP + EPDM GF 20	PA 6	PA 66	PA 66 GF 20	PA 66 GF 25	PA 66 GF 30	PA 66 MD 40	ABS	ABS GF 15	ABS + PC	PPE + PA	PC + PBT + GF 30	ASA	PF GF 30	POM	PVC	PMMA	PUR	TPE	UP		
PE-HD		X																																	
PE-LLD	X																																		
P/E	X	X																																	
P/E T 20	X	X	X																																
P/E + EPDM	X	X	X	X																															
P/E + EPDM T 30	X	X	X	X	X																														
PP	X	X	X	X	X	X																													
PP T 20	X	X	X	X	X	X	X																												
PP T 40	X	X	X	X	X	X	X	X																											
PP GF 30	X	X	X	X	X	X	X	X	X																										
PP MD 30	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X																									
PP + EPDM	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X																								
PP + EPDM T 26	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X																							
PP + EPDM GF 20	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X																						
PA 6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X																					
PA 66	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X																				
PA 66 GF 20	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X																			
PA 66 GF 25	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X																		
PA 66 GF 30	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X																	
PA 66 MD 40	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X																
ABS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X															
ABS GF 15	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X														
ABS + PC	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X													
PPE + PA	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X												
PC + PBT GF 30	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X											
ASA	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X										
PF GF 30	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X									
POM	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X								
PVC	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							
PMMA	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							
PUR	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
TPE	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
UP	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						

8.2 Règles d'Eco-conception (4/4) : solutions d'assemblage

Quoi ? Le moyen de fixation doit être choisi en fonction du chargement, mais aussi de la facilité à la réparation, au démontage et au broyage en fin de vie du produit.

Le tableau ci-dessous indique les propriétés des principaux éléments d'assemblage (1 = bon ; 2 = moyen ; 3 = faible)

Principe d'assemblage		Caractéristiques d'assemblage		Capacité de charge		Facilité d'assemblage		Facilité de démontage		Recyclabilité	
		Force statique	Résistance à la fatigue	Effort d'assemblage	Effort de guidage	Effort de démontage	Effort de démontage destructif	Du produit	Des matériaux		
Assemblage physique	Fixation par collage métal / plastique	2	2	2	3	3	2	3	2		
	Soudure	1	1	2	3	3	2	3	1		
Assemblage par friction	Assemblage magnétique	2	2	1	2	1		2	2		
	Bande velcro	3	3	1	1	1		2	2		
	Boulon écrou métal	1	1	2	2	2	2	2	2		
	Boulon écrou plastique	2	2	2	2	2	1	1	1		
Assemblage par forme	Fixation à ressort	2	3	1	1	1		1	1		
	Mécanisme par enclenchement	1	2	1	1	3	1	3	1		
	Fixation au moyen d'un levier recourbé	1	2	1	2	1	2	1	1		
	Fixation par rotation 1/4 tour	1	2	1	1	1	2	1	1		
	Fixation par pression / rotation	2	2	1	1	1	2	1	2		
	Fixation par pression / pression	2	3	1	1	1	2	1	2		
	Collier de serrage ou verrou	1	2	1	2	2	1	1	1		

8.3 Les matériaux

Quoi ? La disponibilité des matériaux n'est pas infinie : leur qualité (pureté et accessibilité) diminue avec leur exploitation, et malheureusement ils sont rarement substituables entre eux dans leurs usages. Il faut donc les utiliser avec parcimonie !

Menace sérieuse dans le siècle

Menace émergente en raison des usages

Disponibilité limitée

Éléments abondants

Tableau périodique des éléments

The periodic table is color-coded to show the availability and threat status of elements. Elements in red (e.g., H, He, Li, Be, B, C, N, O, F, Ne, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Kr, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, I, Xe, Cs, Ba, La, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Po, At, Rn, Fr, Ra, Ac, Rf, Db, Sg, Bh, Hs, Mt, Ds, Rg, Cn, Uut, Uuq, Uup, Uuh, Uus, Uuo) are considered 'Menace sérieuse dans le siècle'. Elements in purple (e.g., Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, Ar) are 'Menace émergente en raison des usages'. Elements in grey (e.g., K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Kr) have 'Disponibilité limitée'. Elements in green (e.g., H, He, Li, Be, B, C, N, O, F, Ne, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Kr, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, I, Xe, Cs, Ba, La, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Po, At, Rn, Fr, Ra, Ac, Rf, Db, Sg, Bh, Hs, Mt, Ds, Rg, Cn, Uut, Uuq, Uup, Uuh, Uus, Uuo) are 'Éléments abondants'.

8.4 Les aciers

Quoi ? L'acier est le matériau le plus répandu. Son constituant principal est le Fer à plus de 98%. Additionné de différents métaux (aluminium, chrome, cobalt, manganèse, molybdène, nickel, phosphore, plomb, silicium, vanadium...) il permet des usages nombreux et variés grâce à sa rigidité, sa résistance à la température, sa facilité de mise en forme. Il est recyclable très facilement.



Acier faiblement allié pour outils

Pour 1kg d'acier produit :
22,5 MJ d'énergie non renouvelable sont nécessaires
1,47 kg de CO2 équivalent sont rejetés

Données Bilan Produit 2011



Acier fortement allié pour aube de turbine

90 Millions de tonnes sont consommées chaque année en France, soit 1401 kg/hab/an
9 Millions de tonnes de ferrailles sont recyclées en France

Source Empreinte Matière® Collectif Utopies et DÉCHETS CHIFFRES-CLÉS - L'essentiel 2018 -ADEME

8.5 Les alliages d'aluminium

Quoi ? L'aluminium est utilisé, allié, en complément ou substitution de l'acier pour sa légèreté, son oxydation très superficielle, sa facilité de mise en forme et sa faible résistivité. Il est recyclable très facilement mais sa production est notablement plus impactante que celle de l'acier.



Canette en Aluminium



Utilisation de profilé aluminium en conception agile

Pour 1kg d'aluminium produit :
160 MJ d'énergie non renouvelable sont nécessaires
11,9 kg de CO2 équivalent sont rejetés

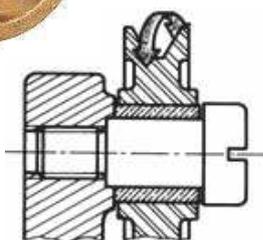
Données Bilan Produit 2011

163 Millions de tonnes de bauxite (le minerai nécessaire à sa production) sont consommées chaque année en France, soit 2540 kg/hab/an
L'aluminium recyclé ne consomme que 5% de l'énergie nécessaire à l'aluminium neuf

Source Empreinte Matières® Collectif Utopies et DÉCHETS CHIFFRES-CLÉS - L'essentiel 2018 -ADEME

8.6 Le cuivre

Quoi ? Le cuivre a de nombreuses applications en construction mécanique. Pur, il est utilisé pour sa conductivité électrique et thermique. Associé à du zinc (laiton), il permet des pièces de fonderie très résistante à l'oxydation (robinetterie). Associé à de l'étain (bronze), on obtient des pièces aux qualités tribologiques (frottements) intéressantes. Il est facilement recyclable mais il ne faut surtout pas l'ajouter à de l'acier recyclé, dont il dégrade les propriétés mécaniques.



Coussinet en bronze

Pour 1kg de cuivre produit :
28,8 MJ d'énergie non renouvelable sont nécessaires
1,89 kg de CO2 équivalent sont rejetés

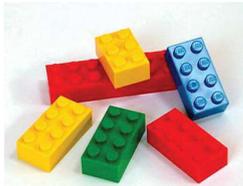
Données Bilan Produit 2011

128 Millions de tonnes de cuivre sont consommées chaque année en France, soit 1993 kg/hab/an
505 000 tonnes de cuivre et aluminium sont recyclés chaque année

Source Empreinte Matières® Collectif Utopies et DÉCHETS CHIFFRES-CLÉS - L'essentiel 2018 -ADEME

8.7 Les plastiques : ABS – PP – PLA – TPU...

Quoi ? L'**ABS (Acrylonitrile Butadiène Styrène)** est le thermoplastique « de base » en conception mécanique : polyvalent, résistant, esthétique, économique. Il se recycle facilement mais avec perte de qualité. Il est issu de l'industrie pétrochimique. **Le PP (PolyPropylène)** est plus rigide et plus économique. **Le PLA (Acide PolyLactique)** est issu de d'amidon de maïs. Enfin **le TPU (Thermoplastic PolyUréthane)** est un matériaux flexible, durable et robuste.



Pièce de jeu de construction en ABS



Éléments d'assemblage imprimés en ABS

Pour 1kg d'ABS produit :
98,9 MJ d'énergie non renouvelable sont nécessaires
4,34 kg de CO2 équivalent sont rejetés

Pour 1kg de PLA produit :
51,9 MJ d'énergie non renouvelable sont nécessaires
3,11 kg de CO2 équivalent sont rejetés

Données Bilan Produit 2011

Chapitre CAO 1. Généralités

- 1.1 Maquette numérique
- 1.2 Types de Fichiers SolidEdge
- 1.3 Principe de génération de volume en CAO
- 1.4 SolidEdge : les débuts
- 1.5 SolidEdge : l'interface
- 1.6 Fonctions de visualisation 3D
- 1.7 Générer une forme
- 1.8 Bien contraindre une esquisse
- 1.9 Bien construire une pièce
- 1.10 Fonctions de Formes (Perçage, Trou oblong, Nervures, ...)
- 1.11 Annotations du modèle 3D
- 1.12 Propriétés de masse

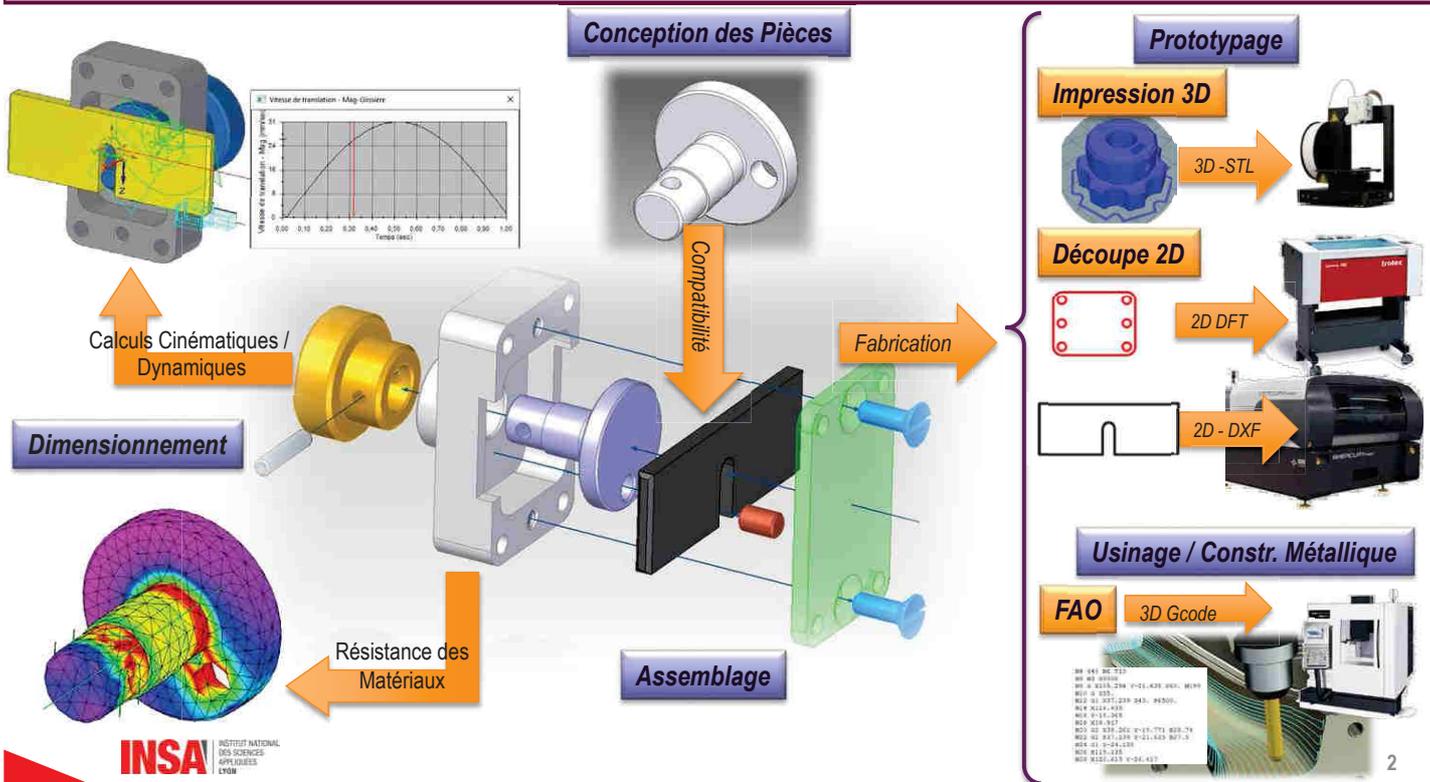
CAO 1.1 La Maquette Numérique

C'est quoi? La Conception et le Dessin Assistée par Ordinateur : CAO et DAO

Un logiciel de CAO/DAO vous permet plusieurs objectifs :

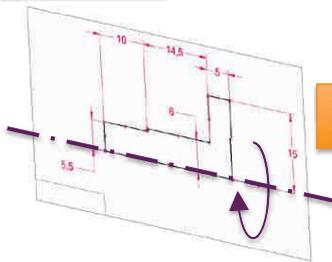
- Une représentation visuelle réaliste d'un objet, d'une forme >> la DAO
- La création d'un modèle volumique intégrant un ensemble d'informations détaillant l'intention de conception qui justifie l'objet technique >> la CAO

La maquette numérique d'un système est au centre des étapes de conception, de fabrication, de mise au point, de maintenance, ...



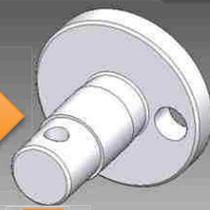
CAO 1.2 Types de Fichiers SolidEdge

Esquisse 2D



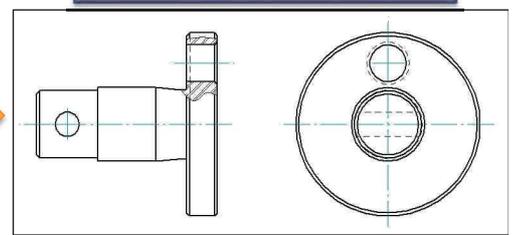
Génération de volumes

Pièce (fichier .par)

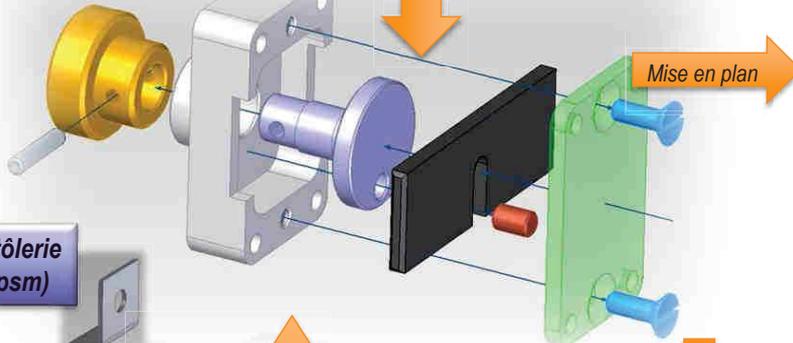


Mise en plan

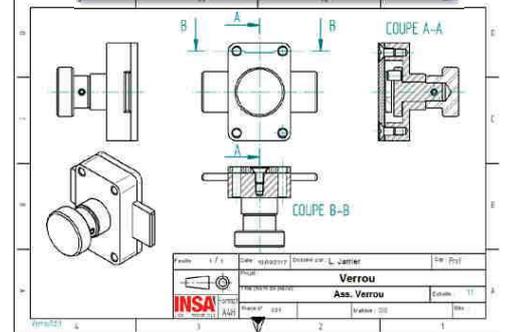
Dessin de définition (fichier .dft)



Assemblage (fichier .asm)



Dessin d'ensemble (fichier .dft)

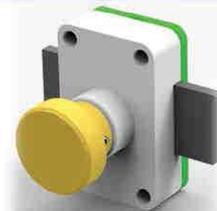


Pièce de tôlerie (fichier .psm)



Assemblage

Rendu réaliste (image .jpg)



INSA INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES LYON

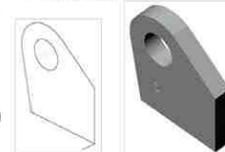
3

CAO 1.3 Principe de génération de volume

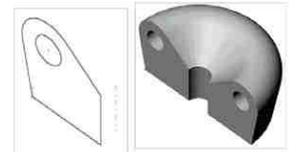
Des formes sont générées par :

- Création de formes de base : extrusion, révolution, ou plus complexes (balayage, lissage, ...) à partir de géométries 2D (appelées esquisses).
- Opérations topologiques entre ces fonctions (ajout, enlèvement de formes, ...)
- Fonctions « cosmétiques » modifiant faiblement les formes (chanfrein, congé, ...)

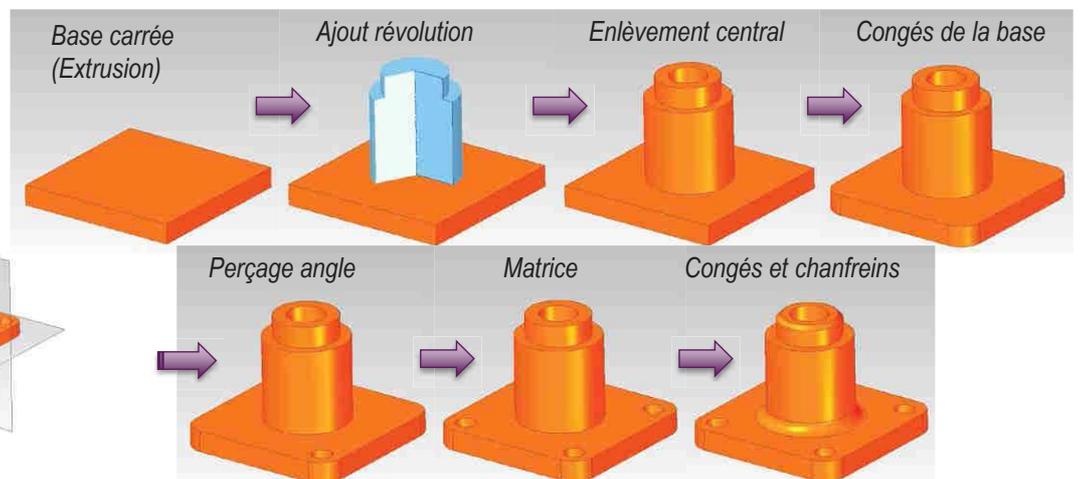
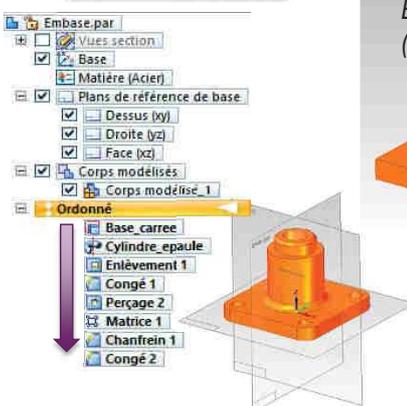
Extrusion



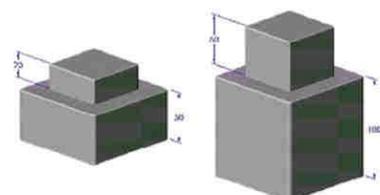
Révolution



Arbre de création



SolidEdge intègre un modéleur volumique PARAMÉTRÉ permettant de modifier une pièce en changeant des VARIABLES (dimensions) (voir fiche Tableau des variables)



INSA INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES LYON

4

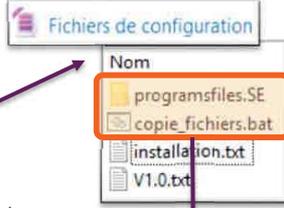
CAO 1.4 SolidEdge – Les débuts

1- Installer les fichiers Configuration FIMI

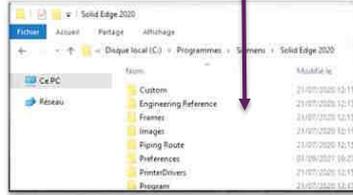
Sur Moodle Conception CAO :

- Télécharger le Fichier de Config (zip)
- Ouvrir le fichier ZIP téléchargé
- Ouvrir l'explorateur Windows et aller dans : « C:\Program Files\Siemens\Solid Edge 2020 »
- Glisser déposer « programsfiles.SE » et « copie.bat » dans le répertoire SolidEdge
- Double CLIC sur « copie_fichiers.bat » du répertoire SolidEdge

Uniquement sur votre poste perso



Copier (glisser-déposer)



2- Choix du thème d'affichage

Bouton Application

→ Paramètres

→ Thèmes et choisir **Equilibré - Solid Edge** par défaut



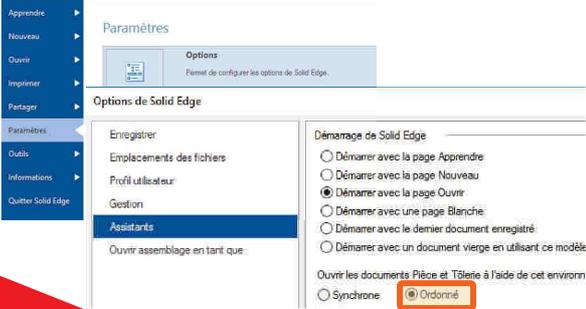
3- Choix du mode de création de pièce en ordonné

Bouton Application

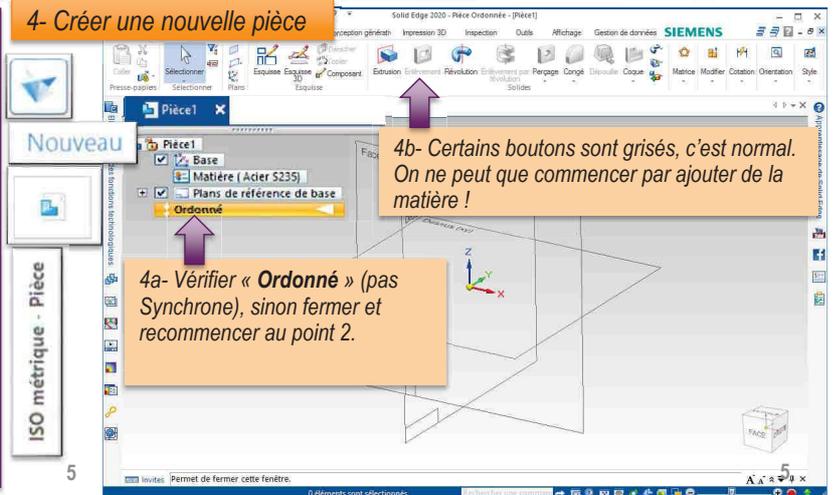
→ Paramètres

→ Options

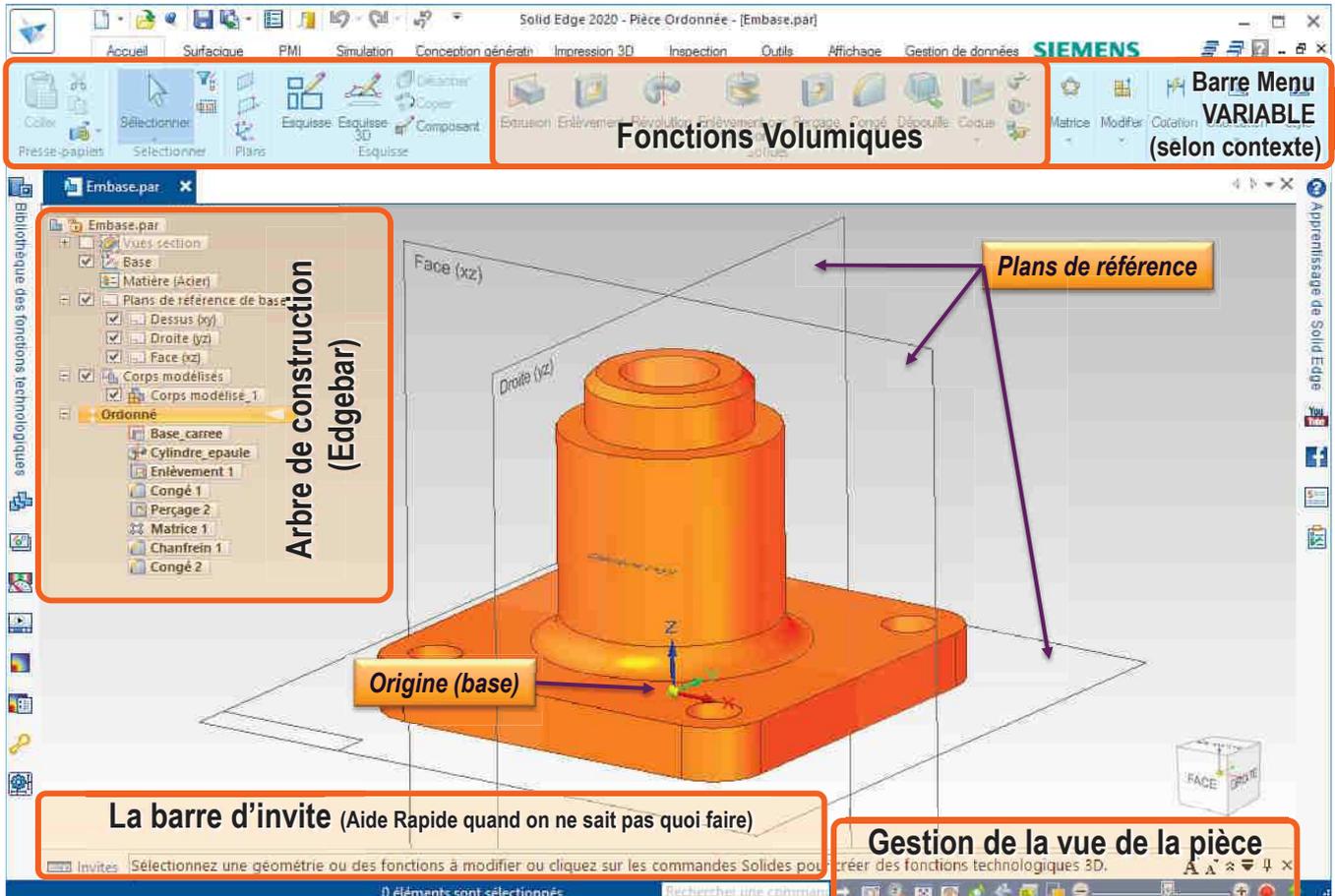
→ Assistants et choisir **Ordonné**



4- Créer une nouvelle pièce



CAO 1.5 SolidEdge – Interface

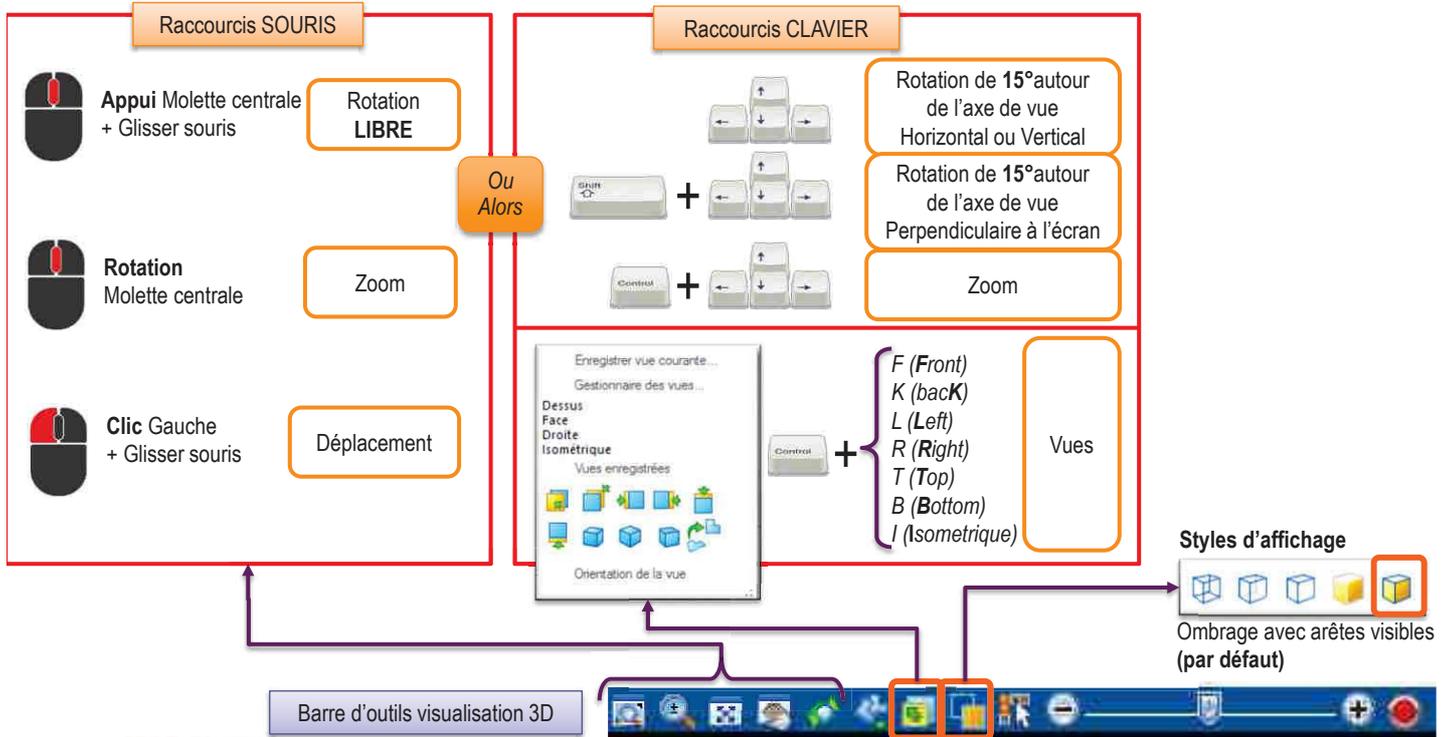


CAO 1.6 Fonctions de visualisation 3D d'une pièce, d'un assemblage

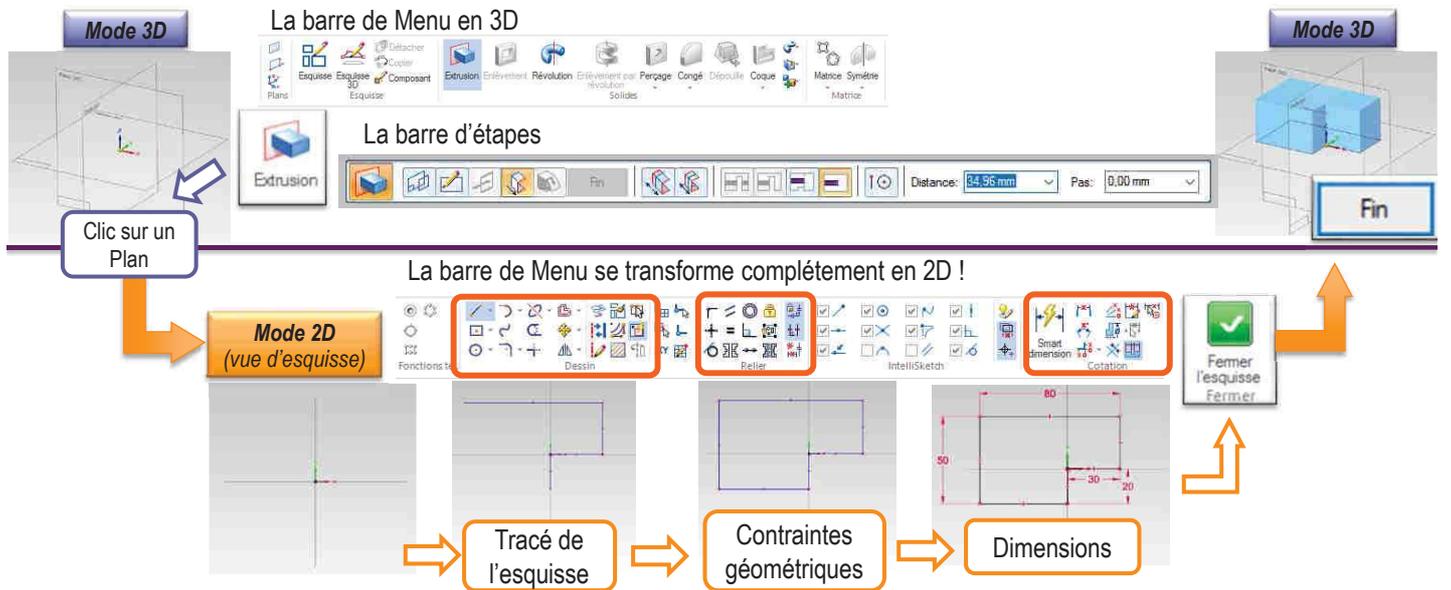
Pourquoi?

En 3D (environnement Pièce ou Assemblage), il existe différentes façon de modifier la **VUE** du modèle.

- La barre d'outils Visualisation (en bas à droite de la fenêtre), pas forcément la méthode la plus efficace
- La souris (rapide et pratique mais la vue obtenue ne correspond à aucune vue normalisée)
- Le clavier (rapide et précis)



CAO 1.7 SolidEdge – Principe de création d'un volume élémentaire



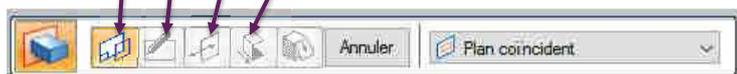
La **BARRE d'ETAPES** (présente pour quasi toutes les fonctions)

Choix du plan dans lequel l'esquisse sera tracée

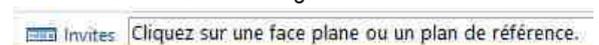
Dessin de l'esquisse

Côté où ajouter/enlever de la matière

Choix des options 3D (épaisseur pour extrusion, angle pour révolution)



Si vous êtes un peu perdu, jetez un œil à l'invite en bas à gauche de la fenêtre.



CAO 1.8 SolidEdge – Bien contraindre une esquisse

Pourquoi ? Pour pouvoir MODIFIER les dimensions d'une pièce FACILEMENT et que le RESULTAT soit conforme à celui ATTENDU. On appelle cela la **ROBUSTESSE** du modèle géométrique.

Comment ?

1. placer un **MAXIMUM** de Contraintes Géométriques reflétant l'**INTENTION** de **FORME** et de **POSITION**. Par ex. : égalité de longueur de segments, alignement (vertical ou horizontal) des extrémités / milieu des segments / centre d'un cercle, entre eux ou par rapport au repère.
2. Imposer le **MINIMUM** de dimensions (ex. : un carré -> Relation = et **UNE** dimension et **PAS** hauteur et largeur)
3. Jusqu'à obtenir une **ESQUISSE** complètement **CONTRAINTE** (tracé noir, voir Astuce) :

Début d'Esquisse

1 Contraintes Automatiques
Ce sont des contraintes créées **automatiquement** et affichées à côté du curseur

2 Fermeture du profil
Relimiter coin

3 Contraintes manuelles
EGALITE de longueur
Extrémités **ALIGNEES** verticalement
Milieu des segments **CONNECTES** aux axes

4 Dimensions
Smart dimension

Ici 4 cotes suffisent !

Esquisse NOIRE
→ Contrainte et Terminée

INSA INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES LYON

CAO 1.9 SolidEdge – Bien construire une pièce

Pourquoi ? Pour FACILITER la construction et la modification de la pièce (ROBUSTESSE) :

- Bien choisir dès le début la position de la pièce dans le repère : les plans de symétrie de la pièce coïncident avec plans de base (Face, Droite et/ou Dessus)
- Des esquisses **SIMPLES** (max 4 à 6 dimensions par esquisse)
- Un arbre de création pas trop long (contraire avec l'injonction précédente... tout est histoire de compromis!)
- S'accrocher à la géométrie des volumes déjà construits pour limiter le nombre de dimensions.

Comment ?

- Décomposition en **VOLUMES SIMPLES** (Extrusion, Révolution) du volume final sans prendre en compte les formes de détail (trous, gorges, rainure, congés, chanfreins, ...). Identifier les plans de symétrie de la pièce, les répétitions de formes (Matrice)
- Bien choisir dès le début la **POSITION** de la PIÈCE par rapport aux **PLANS** de Références.
- Commencer par les **AJOUTS** de MATIERE correspondant à ces volumes simples pour générer une forme **GROSSIEREMENT** (mais précise !).
- Des esquisses **SIMPLES** (max 4 à 6 dimensions) sinon retour à la décomposition (au tout début!).
- Penser à utiliser les **FONCTIONS** de FORME (Perçage, Trou Oblong, Nervures, ...) puissantes et simples à modifier.
- Terminer par les **FONCTIONS** « COSMETIQUES » (Congés, Chanfreins, ...)

1 Union de volumes simples

2 Enlèvements principaux

3 Finitions (Petits trous, Chanfreins, Congés)

10 Pièce terminée

Support de Perceuse

Arbre de création (fonctions renommées)

- Support Moteur
- Bloc Colonne
- Bossage Vis Bloc Moteur
- Congé Bossage Vis
- Nervure Bloc
- Symétrique Nervure
- Alesage Moteur
- Fente Bloc Moteur
- Trou Colonne
- Trou Tampons Tangents
- Lamage Vis Bloc Moteur
- Taraudage Vis Bloc Moteur
- Taraudage Vis de Pression
- Chanfrein Entrée Moteur
- Congé Bossage vis 2
- Congé Bossage vis 3
- Congé Bloc Colonne

INSA INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES LYON

Pourquoi ?

Certaines fonctions permettent de créer des formes standards très simplement : Pensez à les utiliser !

☀ Ne pas hésiter à jeter un œil aux **Options** dans la barre d'étapes.



Comment ?

Perçage
La fonction perçage permet de réaliser des trous de forme variés +/- complexes.

- Trou fraisé
- Trou lamé
- Trou lisse
- Trou taraudé borgne

Pas d'esquisse, il faut juste **contraindre** la position du trou

Trou Oblong

Esquisser un simple segment et contraindre sa longueur et sa position

Nervure

Arbre de construction

Arbre de construction simple

- L-perçage-trou oblong-nervure.par
- Vues section
- Section 1 A
- Base
- Matière (Acier S235)
- Plans de référence de base
- Corps modélisés
- Corps modélisé_1
- Ordonné
- Ajout de matière 1
- Perçage 1
- Perçage 2
- Perçage 3
- Perçage 4
- Trou oblong
- Nervure 1
- Copie symétrique 1

Vue en coupe (section 3D)

CAO 1.11 Annotations du modèle 3D (PMI)

C'est quoi ? Mettre des côtes, des commentaires, des informations diverses... directement sur un modèle 3D (pièce, assemblage).



Comment faire ?

Utilisation du menu PMI dans solidedge



Coupe au quart du piston

Section par plan

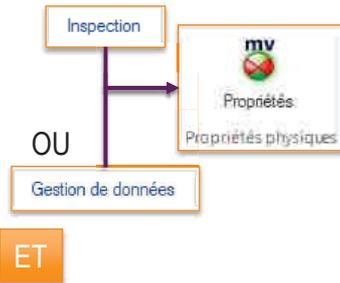
Tous ce qui est créé dans PMI est visible dans l'Edgebar.

C'est quoi?

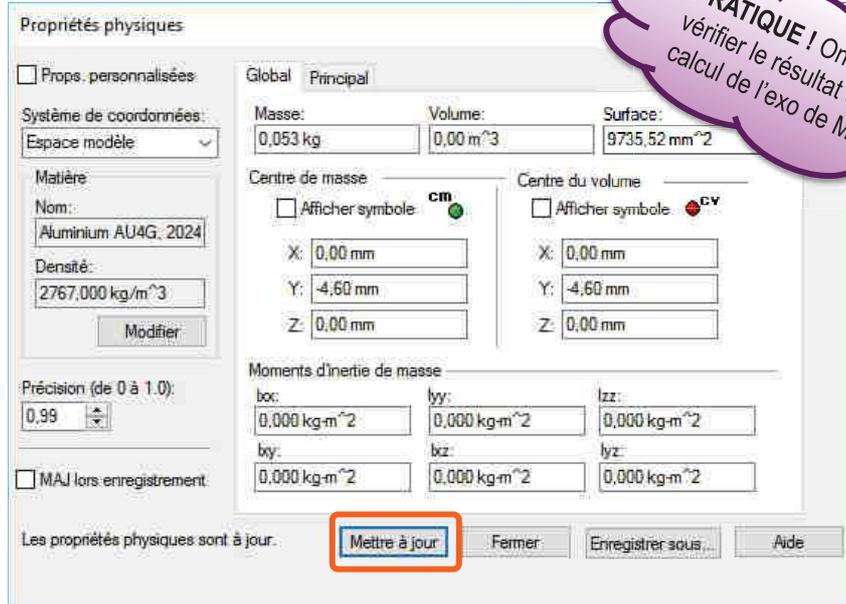
On peut récupérer très facilement les propriétés de masse du modèle (pièce ou assemblage):

- Masse, centre de gravité, moments d'inertie, axes principaux, ...

Comment ?



Avoir installé les fichiers de config FIMI (cf. Fiche CAO 1.4)

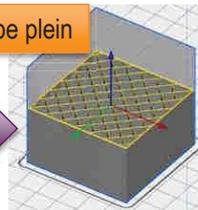


PRATIQUE ! On peut vérifier le résultat du calcul de l'exo de Méca !



Rappel : les pièces imprimées ne sont pas pleines. Donc la masse calculée par SolidEdge n'est pas celle de la pièce imprimée.

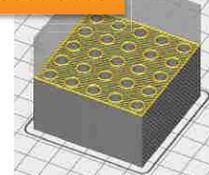
Ex. Cube plein



Masse: 0,155 kg

Impression 3D
Remp 15% : 36g
Remp 30% : 57g

Cube troué



Masse: 0,125 kg

Impression 3D
Remp 15%: 50g
Remp 30%: 63g

Vos notes

Chapitre CAO 2. Pièces (fichier *.par)

- 2.1 L'edgebar
- 2.2 Esquisse
- 2.3 Fonction Extrusion
- 2.4 Fonction Révolution
- 2.5 Fonction Congé/chanfrein
- 2.6 Fonction Perçage (3 slides)
- 2.7 Fonction Filetage
- 2.8 Fonction Symétrie
- 2.9 Fonction Matrice (2 slides)
- 2.10 Pièces de Tôlerie
- 2.11 Modifier une pièce
- 2.12 Matériaux des pièces

CAO 2.1 L'EDGEBAR en mode pièce.

C'est quoi? C'est l'ensemble des informations relatives à la pièce : arborescence des fonctions (arbre de construction), référentiels, plans de construction, matière, informations diverses (PMI).

Comment faire ? Clic droit sur la ligne de l'edgebar que vous souhaitez pour accéder aux fonctions de modifications.

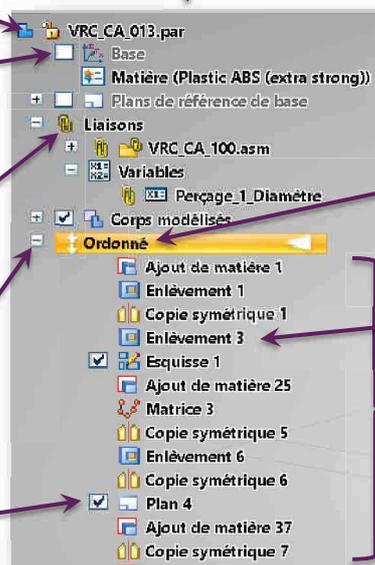
Nom du fichier

Référentiel

Symbole de chaîne indiquant une liaison avec un autre fichier (ici des variables de la pièce sont en liaisons avec des variables d'un fichier assemblage).

Cocher développer.
Décocher pour regrouper.

Cocher pour afficher.
Décocher pour masquer.



Matériau de la pièce

OBLIGATOIRE : Si mode Synchrone, clic droit pour choisir le mode **Ordonné**.

Clic droit sur une fonction

3D pour la modifier :

- Désactiver / activer.
- Renommer.
- Modifier la fonction.
-

Arbre de construction de la pièce.



CAO 2.2 ESQUISSE

C'est quoi ? L'esquisse en 2D est nécessaire aux fonctions 3D majeures.
Il convient de faire une esquisse de façon la plus robuste possible.

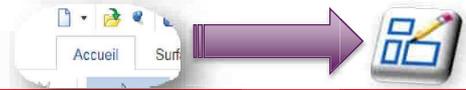


Comment faire ?

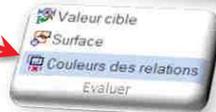
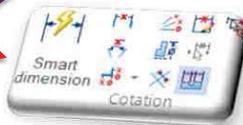
L'esquisse est intégrée dans les fonctions volumiques principales :
extrusion / enlèvement / révolution...

OU

Menu « Accueil » / Bouton « Esquisse »



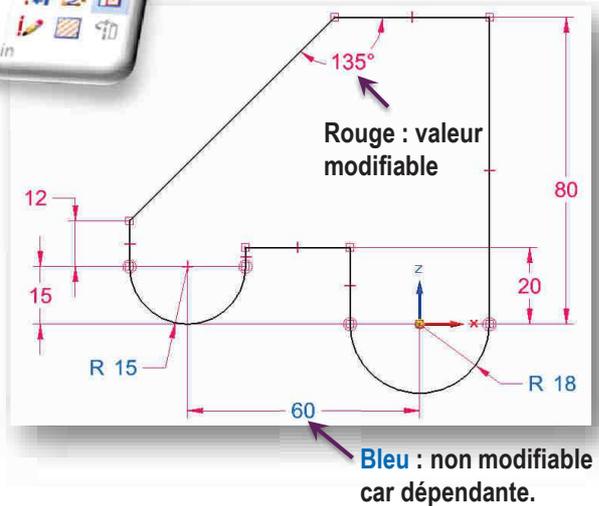
Fonctions 2D pour faire les esquisses (menu Accueil).



OBLIGATOIRE : Une esquisse doit être robuste et fonctionnelle. Elle est robuste si elle est entièrement contrainte par des contraintes géométriques et/ou des côtes dimensionnelles.

OBLIGATOIRE : Menu Inspection / cocher la fonction « couleurs des relations » :

- Esquisse non contrainte en **bleu**
- Esquisse contrainte en **noire**



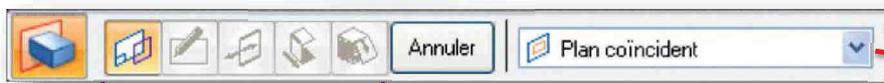
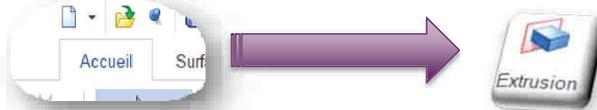
CAO 2.3 Fonction EXTRUSION

C'est quoi ? Création d'un volume par extrusion d'une esquisse 2D selon une direction perpendiculaire au plan d'esquisse.

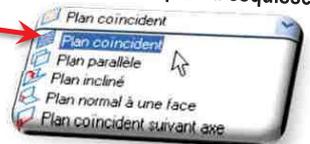


Comment faire ?

Menu « Accueil » / Bouton « Extrusion »



Options de plan d'esquisse



Les étapes de réalisation de la fonction :

- Définition du plan de l'esquisse.
- Dessin et cotation de l'esquisse.
- Choix du côté de l'extrusion.
- Choix de la profondeur de l'extrusion.
- Options.

Après dessin de l'esquisse :



Options pour mieux choisir une surface de fin d'extrusion.



Pour extruder des deux côtés du plan d'esquisse de façon symétrique ou non symétrique.

Options de longueur d'extrusion :

- A travers toute la pièce.
- Jusqu'à la surface suivante.
- Jusqu'à une surface choisie.
- D'une certaine distance.

CAO 2.4 Fonction REVOLUTION

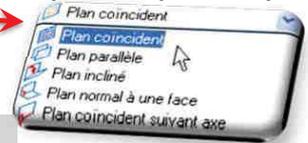
C'est quoi ? Création d'un volume par révolution d'une esquisse 2D autour d'un axe de révolution.



Comment faire ?

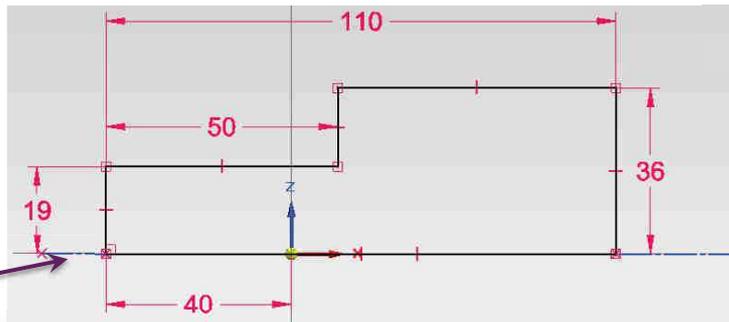


Options de plan d'esquisse



Les étapes de réalisation de la fonction.

Ne pas oublier de définir l'axe de révolution dans l'esquisse.



Après dessin de l'esquisse :

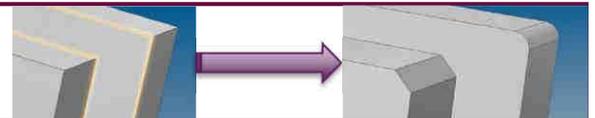


Options de sens de révolution

Options d'angle de révolution

CAO 2.5 Fonction CONGE / CHANFREIN

C'est quoi ? Création d'un congé ou chanfrein à partir d'une ou de plusieurs arêtes d'une pièce.



Comment faire ?



Cliquer ici pour accéder à la fonction chanfrein

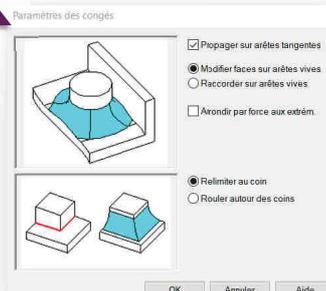
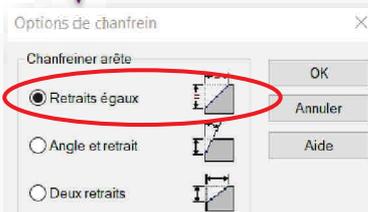


Ci-dessous fonction chanfrein



Options de congé.

Options de chanfrein



Mode de sélection des arêtes à convertir en chanfrein ou congé.

Dimension du chanfrein



C'est quoi ? Création d'un perçage : trou lisse, trou taraudé, avec chanfrein, lamage...

Comment faire ?

Menu « Accueil » / Bouton « Perçage »

Trous lisses / Trous avec lamage / Trous avec fraisurage / Trou taraudés...

Options de plan d'esquisse

- Plan coïncident
- Plan parallèle
- Plan incliné
- Plan normal à une face
- Plan coïncident suivant axe

Options de perçage

Option « Sous-type » :

- Diamètre perçage** : la taille est le diamètre du trou.
- Goupille** : La taille est le diamètre de la goupille. Le diamètre du trou est calculé en conséquence.
- Diamètre nominal de vis** : la taille est le diamètre de la vis. Le trou permet le passage de la vis.

Trou simple : Cocher angle du V car fabrication avec un forêt.

- Trou simple + lamage
- Trou conique
- Trou taraudé : **VOIR OPTIONS** fiche « option de taraudage ».
- Trou simple + fraisage

C'est quoi ? Dans le mode esquisse de la fonction perçage, si ce bouton n'est coché alors cela permet dans l'esquisse de construire des traits de construction pour placer les perçages.

Comment faire ?

Décocher le bouton « perçage circulaire » pour mettre en place les esquisses supports aux perçages.
Cocher le bouton « perçage circulaire » pour placer les ou Les perçages.

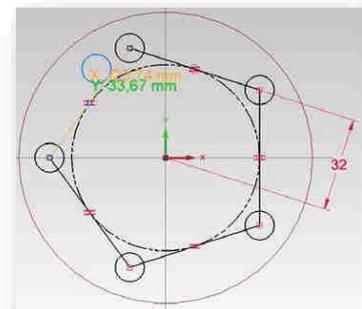
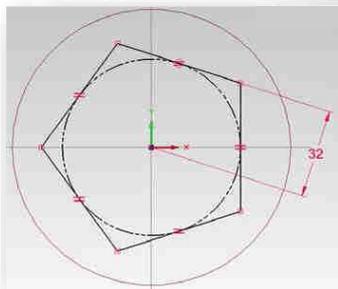
EXEMPLE : réalisation de cinq perçages sur un cercle de construction.

1°) sélectionner la fonction d'esquisse « **Polygone suivant centre** ». Le bouton « **Perçage circulaire** » se désactive automatiquement.

2°) Tracer le polygone dans l'esquisse.

3°) Cocher le bouton « **perçage circulaire** » et placer les 5 perçages aux extrémité du polygone.

4°) Terminer la fonction perçage.



C'est quoi ? Description des options à régler pour la réalisation d'un trou taraudé.



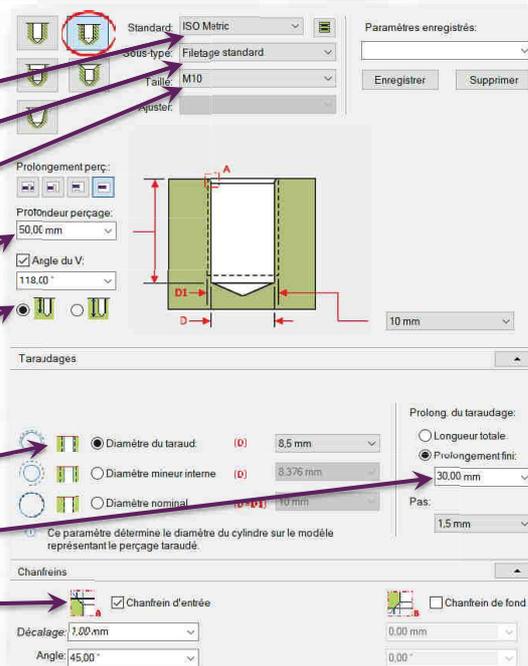
Comment faire ?

Option « taraudé » dans les options de perçage



EXEMPLE : options pour un trou taraudé M10 de profondeur 50 mm avec un taraudage de profondeur 30 mm, avec un chanfrein de 1 mm.

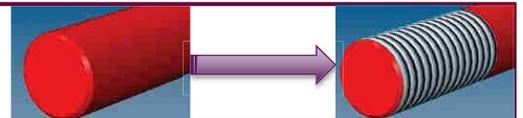
- **Standard :** Iso Metric
- **Sous type :** filetage standard
- **Taille :** diamètre du trou taraudé
Toujours prendre une dimension sans indication du pas du taraudage : M2, M3, M4, M5, M6, M8, M10.....
- **Profondeur perçage :** 50 mm
- **Angle du V :** à cocher si trou borgne et réalisé avec un foret
- **Diamètre du taraud :** à cocher
- **Prolong. du taraudage :** 30 mm
- **Chanfrein d'entrée :** à cocher si chanfrein



Options de trou taraudé

CAO 2.7 Fonctions FILETAGE

C'est quoi ? Création d'un filetage sur un cylindre, d'un taraudage sur un trou.

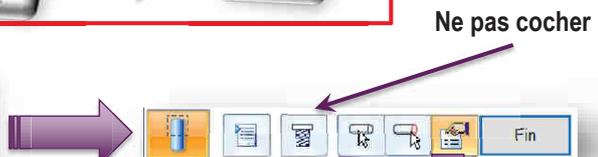
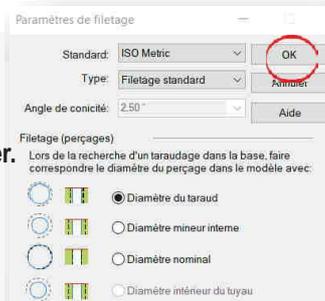


Comment faire ?

Menu « Accueil » / Bouton « Perçage » / Option « Filetage »



- **Standard :** Iso Metric
- **Type :** filetage standard.
- **Diamètre du taraud :** à cocher.

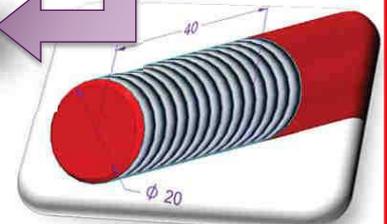


Sélection du début du filetage



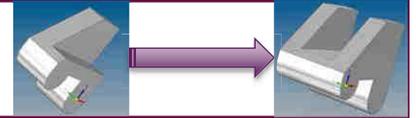
Longueur finie de 40 mm

Prendre la dimension M X sans précision du pas du filetage : M2, M3, M4, M5, M6, M8...



CAO 2.8 Fonctions SYMETRIE

C'est quoi ? Faire la symétrie d'une ou plusieurs fonctions ou d'une forme par rapport à un plan (de symétrie).



Comment faire ?

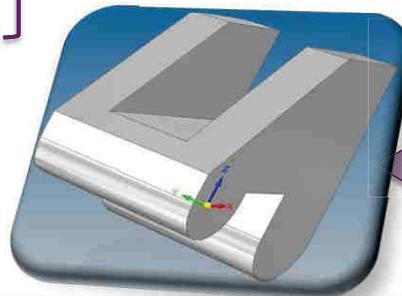
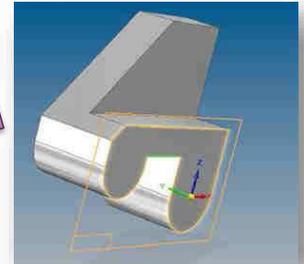
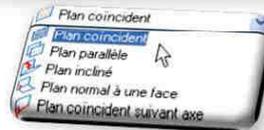
Menu « Accueil » / Bouton « Symétrie »



Choisir l'option « copie symétrique de fonction » puis sélectionner les fonctions concernées dans l'arbre de construction.



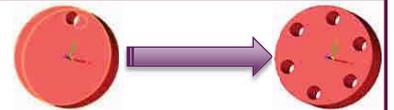
Sélection du plan de symétrie



NB : c'est mieux de faire des symétries de fonctions que des symétries dans les esquisses

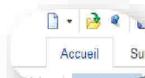
CAO 2.9 Fonction MATRICE : CIRCULAIRE (1/2)

C'est quoi ? Dupliquer une fonction par une matrice circulaire.



Comment faire ?

Menu « Accueil » / Bouton « Matrice »



Le TOP pour dupliquer les perçages !

Choisir l'option de gauche « dupliquer fonctions technologiques ».

Sélectionner la / les fonction(s)

valider

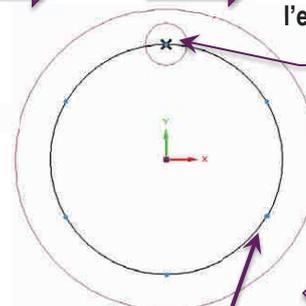
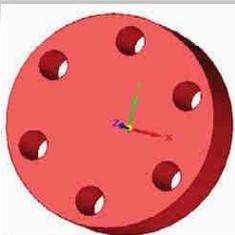
Sélectionner un plan pour l'esquisse de la matrice

Rayon: 0,00 mm Balayage: 360,00° Qté: 4 Espace: 4,00°

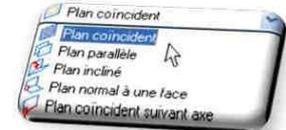
Choix du nombre total de perçage.

Construire le cercle définissant la matrice circulaire

Menu « Accueil » choisir matrice circulaire



Perçage à dupliquer



Si tu y arrives du premier coup, champion !!!

CAO 2.9 Fonction MATRICE : RECTANGULAIRE (2/2)

C'est quoi ? Dupliquer une fonction par une matrice rectangulaire.

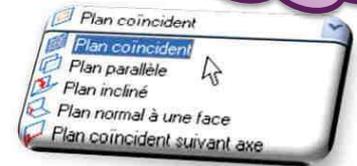


Comment faire ?

Le TOP pour dupliquer les perçages !



Si tu y arrives du premier coup, champion !!!

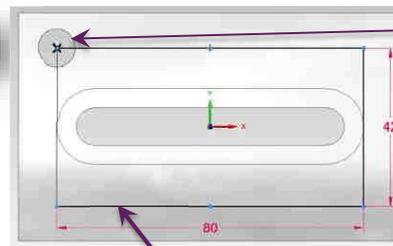


Choisir l'option de gauche « dupliquer fonctions technologiques ».

Sélectionner la / les fonction(s)

valider

Sélectionner un plan pour l'esquisse de la matrice



Perçage à dupliquer



Menu « Accueil » choisir matrice rectangulaire

Construire le rectangle définissant la matrice rectangulaire

CAO 2.10 Pièces de Tôlerie (pliées)

C'est quoi ? SolidEdge permet également de créer des pièces pliées à partir de tôle d'épaisseur constante. On dessine la pièce pliée. On peut ensuite obtenir le déplié utile pour la fabrication de la pièce.



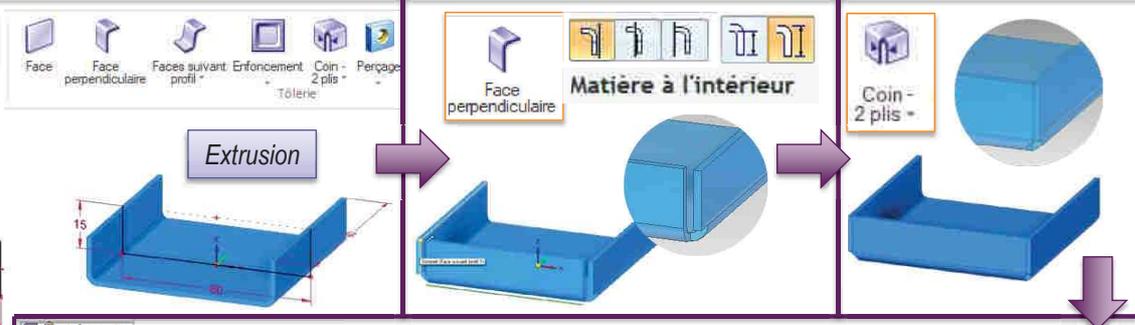
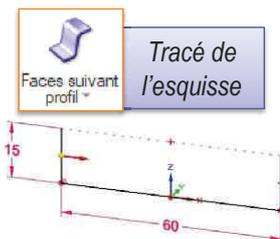
1 Nouvelle pièce tôlerie



2 Choix du matériau : Matière, épaisseur et outillage de pliage (Jauge)



3 Création de la pièce



Choix du côté de la matière



CAO 2.11 Modification d'une pièce : utilisation de l'arbre de création (Edgebar)

C'est quoi ? Il est possible de modifier une pièce / une fonction **après** l'avoir réalisée. Heureusement !

Les modifications peuvent concerner des **cotes**, une **géométrie**, ou l'agencement des **fonctions**

Comment faire ?



Modifier seulement des cotes (paramètres) :

Dans « esquisse dynamique », on reste en 3D ! :

- soit double-clic sur fonction dans l'edgebar,
- ou clic sur fonction, puis « **esquisse dynamique** »



Modifier la géométrie complète :

- Clic sur fonction, « **modifier profile** », et modifier l'esquisse
- Fermer l'esquisse et revenir en 3D : le volume se met à jour tout seul !

NB : Le bouton « **Suppr** » est bien pratique : il efface les traits, les cotes ou les contraintes !

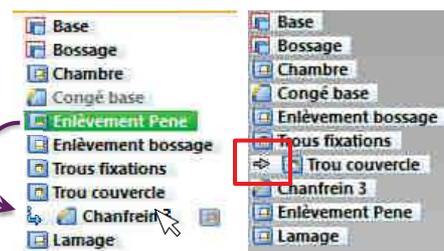


Modifier l'ordre des fonctions

- SE crée l'arbre **dans l'ordre** dans lequel vous avez créé les fonctions !
- Après coup, il est possible de **déplacer** (glisser) les fonctions librement !
- Néanmoins, cette liberté à un prix : parfois, certaines modifications **créent des bugs** (flèches) qui sont, en fait, la rupture de liens entre les fonctions

Exemple : perçage réalisé sur un plan : si la génération du plan est migrée **après** le perçage, le perçage est « perdu », car il ne sait plus sur quelle surface se reposer...

- Ce n'est **pas grave** ! Il suffit de **REPARER** les liens rompus en RE-EDITANT l'esquisse



Désactiver une fonction ?

- Clic-droit dessus
- « Désactiver »

CAO 2.12 Matériaux des pièces

C'est quoi ? Il est possible de choisir le matériau de la pièce. Cela permet de remplir le cartouche de MEP, d'obtenir une estimation de sa masse ou de faire des calculs de résistance / déformation de la pièce.

⚡ Avant de commencer : avoir installé les fichiers modèle et de configuration (voir fiche CAO 1.4 et Moodle CAO)

Comment faire ?

CLIC-CLIC

Style du rendu 3D

Type de hachures pour les vues en coupe

Propriétés du matériau choisi (pour calcul masse, et résistance)

Nom de propriété	Valeur
Densité	2767,000 kg/m ³
Coef. de dilatation	0,0000 /C
Conductivité thermique	0,189 kW/m-C
Capacité thermique	920,000 J/kg-C
Module d'élasticité	73084424,200 kPa
Coef. de Poisson	0,33
Limite élastique	289579,794 kPa
Limite de rupture	427474,934 kPa
Allongement %	0,00

Liste des matériaux

- Matériaux FIMI
 - Découpe Laser TROTEC
 - Carton
 - MDF
 - PMMA
 - Impression 3D
 - ABS
 - PETG
 - PLA
 - TPU Tieritime
 - Métaux
 - Acier S235
 - Aluminium 2024 (AU4G)
 - Bronze, 90%

Propriétés matériaux

Aluminium 2024 (AU4G)

Densité: 2767,000 kg/m³
 Coef. de dilatation: 0,0000 /C
 Conductivité thermique: 0,189 kW/m-C
 Capacité thermique: 920,000 J/kg-C
 Module d'élasticité: 73084424,200 kPa
 Coef. de Poisson: 0,33
 Limite élastique: 289579,794 kPa
 Limite de rupture: 427474,934 kPa
 Allongement %: 0,00

Appliquer au modèle

Pour Appliquer et Sortir

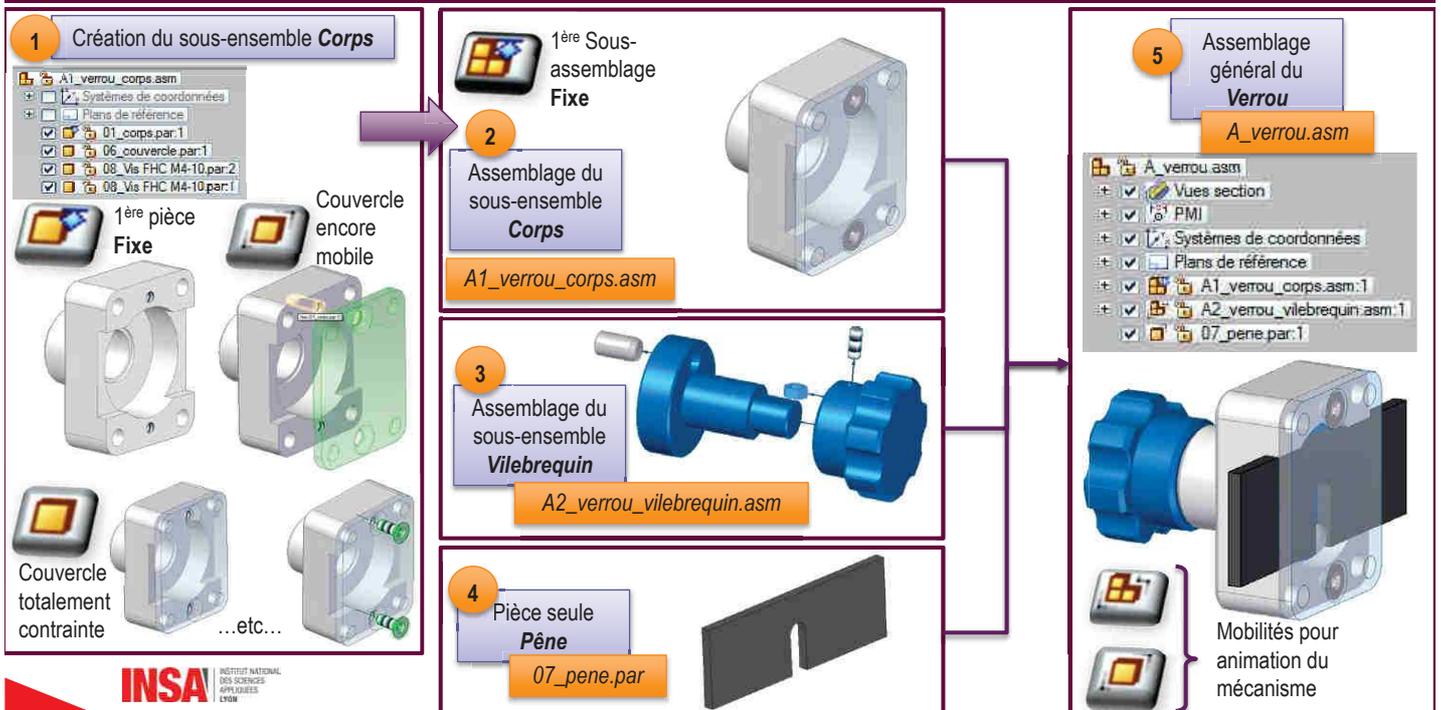
Chapitre CAO 3. Assemblages (fichier *.asm)

- 3.1 Assemblage : méthodologie
- 3.2 Contraindre l'assemblage
- 3.3 Fonctions d'assemblage
- 3.4 L'Edgebar en mode assemblage

CAO 3.1 Assemblage : Méthodologie

Comment ?

- Créer un sous-assemblage par classe d'équivalence
- Commencer par placer le bâti (pièce ou sous-assemblage) en premier :
 - le repère d'assemblage coïncide avec celui de la 1ère pièce/sous-assemblage
 - une contrainte fixe est créée automatiquement
- Créer toutes les contraintes d'assemblage nécessaires
- Créer une contrainte de mise en position particulière du mécanisme pour la mise en plan



CAO 3.2 Contraindre un assemblage

Comment ?

- Créer un assemblage depuis la 1^{ère} pièce de l'assemblage (pièce fixe ou la plus importante)
 - le repère d'assemblage coïncide avec celui de la 1^{ère} pièce
 - une contrainte fixe est créée automatiquement
- Ajouter la 2^{ème} pièce par glisser déposer depuis l'Explorateur de fichiers Windows
- Cliquer sur une surface de chaque pièce pour créer une contrainte d'assemblage, ...etc...

Nouveau\ Assemblage du modèle actif

Glisser - Déposer

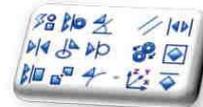
Explorateur de fichiers

Liste des contraintes du couvercle créées (ici, 3 nécessaires et suffisantes), BIEN UTILE quand on est perdu !

Les différents modes d'assemblage



Assemblage (par défaut) : **idéal** pour les contraintes Cylindre/cylindre ou Plan/Plan



Contraintes manuelles : pour les cas plus compliqués.

Les plus utiles :



- Assemblage rapide (mode par défaut)



- Tangence



- Centre-plan (centrer une pièce sur une autre)



- Connecter (pour les cônes ou sphères)

CAO 3.3 Fonctions d'assemblages

C'est quoi ? On peut réaliser des **enlèvements** ou des **perçages** de pièces pilotés par un assemblage. La position de ces fonctions sur les pièces dépend alors de la position de la pièce dans l'assemblage.

Comment faire ?

- Il est fortement conseillé de **contraindre complètement** la position des pièces dans l'assemblage. →
- Ensuite, c'est un peu la même chose que pour une pièce :

Options des fonctions d'assemblage

Choix des pièces à percer

Saisie des perçages

Options de perçage

Récupère des arêtes de la pièce inférieure

Projetter vers esquisse

Esquisse NOIRE si pièces contraintes

Placement des centres de perçage

Les trous du couvercle correspondent aux trous de la boîte même après modification de l'entraxe des trous de la boîte !

CAO 3.4 L'EDGEBAR en mode assemblage

C'est quoi ? L'edgebar comporte des informations (référentiels, plans de construction...) et la liste des sous assemblages et pièces composants l'assemblage.

Comment faire ? Clic droit sur la ligne de l'edgebar que vous souhaitez pour accéder aux fonctions de modifications.



Indique un sous assemblage ajustable : le sous assemblage n'est pas considéré comme un ensemble rigide.



Indique un sous assemblage ou pièce dont il manque des contraintes d'assemblage.



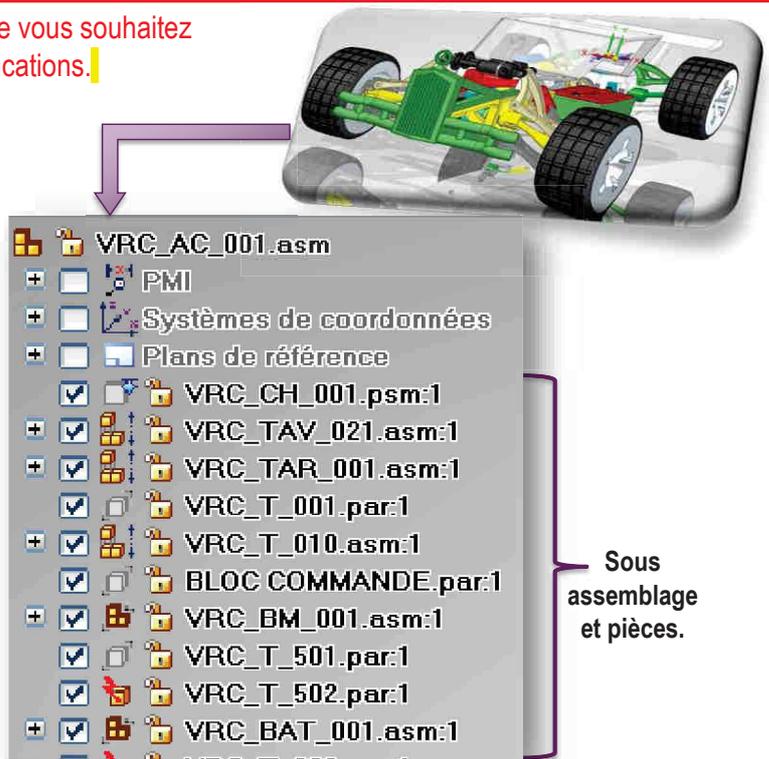
Indique des contraintes d'assemblage en échec.



Indique que la pièce est sélectionnable (disponible).

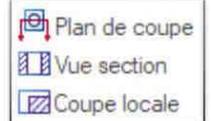


Indique que la pièce n'est pas sélectionnable (indisponible).



CAO 4.2 Les coupes

C'est quoi? Pour une pièce « creuse », on réalise toujours des vues en coupes. Les vues en coupes sont très faciles à réaliser.

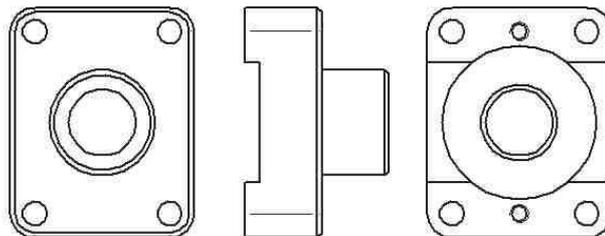


- 1** Plan de coupe
- 2** Clic sur la vue pour tracer le plan
- 3** Tracer le plan (coupe brisée possible) Contraindre le tracé
Faire dépasser le plan de la pièce
- 4** Fermer + Choisir la direction de la vue + CLIC
- 5** Créer la vue en coupe
Se déplacer → CLIC → CLIC

CAO 4.2 Les coupes - Coupes de la vue de face

Pourquoi? Avec SolidEdge, on ne peut pas faire de vue de droite, gauche, etc d'une vue en coupe. Pour **contourner cette limite**, voilà une solution : l'utilisation détournée de la coupe locale

Faire la vue de face en coupe ?



Vue de face

- 1** Coupe locale
- 2** Esquisse d'un profil FERMÉ
- 3** Choix de la profondeur
- 3** Résultat Vue de Face en Coupe

+ CLIC sur Vue de Face

CAO 4.3 Habillage de la Mise en Plan

Pourquoi? Une mise en plan d'une pièce (dessin de définition) n'est complet qu'une fois l'habillage du plan fait. Elle doit définir sans ambiguïté les formes et dimensions de la pièce.

1 Axes de révolutions et de symétrie

- Suivant 2 points
- Suivant 2 lignes : sélection de 2 segments → trace l'axe sur la médiane
- Ou « Axes automatiques » + Axes de symétrie à la main (cf. a et b)



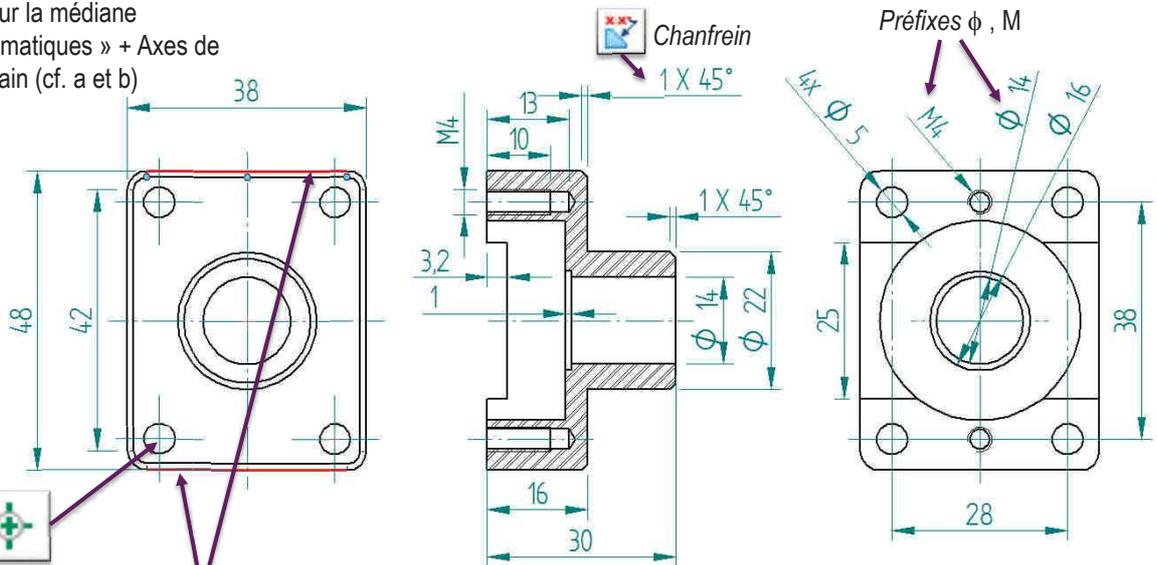
« Marquer le centre »



2 Cotation



Sélectionner un segment OU cliquer sur 2 segments // → distance entre les segments



Habillage complet de la MEP du corps

CAO 4.4 Cotation

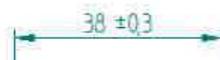
1. Cote de chanfrein



2. Copie des attributs de cote



3. Cote tolérancée : +/-, Iso (H9 par exemple)

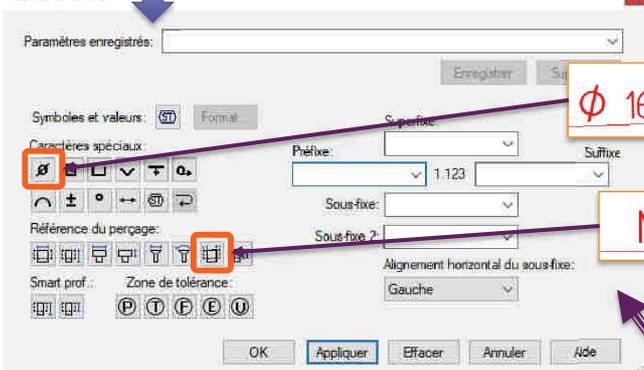


$\phi 16 H8$

4. Préfixe et Nominal vide (Filetages et taraudage)

M4

Préfixe de cote



- Nominal
- ± 1 Tolérance unité
- $\pm a$ Tolérance alpha
- h7 Classe
- Limites
- De base
- Référence
- Légende fonction
- Vide

- G7
- G8
- G9
- G10
- H1
- H2
- H3
- H4
- H5
- H6
- H7
- H8
- H9
- H10
- H11
- H12
- H13

- ef7
- ef8
- ef9
- ef10
- f3
- f4
- f5
- f6
- f7
- f8
- f9
- f10



CAO 4.5 Remplir le Cartouche

C'est quoi? Utilisation du fond de plan *monopiece*.



Chaque fond de plan a un fonctionnement de cartouche différent

Feuille : 1 / 1	Date : 12/09/2021	Dessiné par : Pierre	Grp : GCP
Projet : Verrou			
Titre (Nom de pièce) : Corps			Echelle : 11
Format : A4H		Pièce n° : 01	Matériau : AU4G
Région : INSA		Région : LYON	

Comment faire ?

Afficher le cartouche

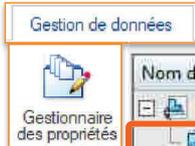


Définir échelle de la feuille

Mise en page...

Feuille d'arrière-plan : A4H+cartouche
 Afficher l'arrière-plan

Remplir les propriétés



Nom du document	Numéro ...	Nom du projet	Titre	Sujet	Auteur	Matière	groupe
MEP-01_corps2.dft		Insa de lyon	Nom de la pièce	Nom du projet	Laurent		???
01_corps.par	01	Insa de lyon	Corps	Verrou	Pierre	AU4G	GCP

Ligne pièce et non MEP

Cartouche rempli automatiquement

Feuille : 1 / 1	Date : 12/09/2021	Dessiné par : Pierre	Grp : GCP
Projet : Verrou			
Titre (Nom de pièce) : Corps			Echelle : 11
Format : A4H		Pièce n° : 01	Matériau : AU4G
Région : INSA		Région : LYON	

CAO 4.6 Créer une mise en plan d'un assemblage

C'est quoi? La mise en plan d'une pièce seule permet de générer son dessin de définition, alors que la **mise en plan d'un assemblage** complet permet de réaliser **des dessins d'ensemble**, qui permettent de comprendre/communiquer le fonctionnement d'un système complet. De même que pour les pièces (CAO 4.1), il y aura un lien dynamique entre « système.asm » et sa mise en plan « système.dft »

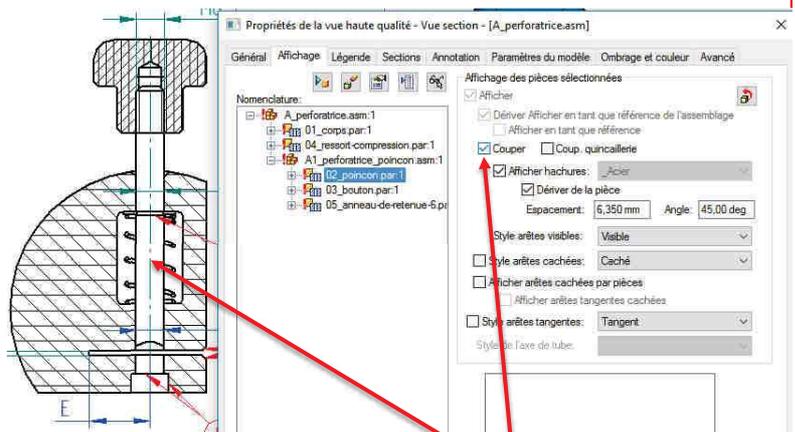
Comment faire ?

C'est la même chose que pour une pièce → donc voir fiche CAO 4.1. Mais il y'a qq **spécificités** aux assemblages !

- Quand on visualise un système, on montre nécessairement une coupe du mécanisme (voir fiche CAO 4.2), pour voir comment il fonctionne à l'intérieur !
- Dans cette coupe il faudra réaliser l'habillage habituel (voir fiche CAO 4.3) mais il y a qq règles à suivre, notamment :

- 1. NE PAS COUPER LES AXES:** il faut donc « dé-couper » les pièces qu'on ne souhaite pas couper (arbres, vis, écrous...) A LA MAIN : clic-droit sur une vue → propriétés / affichage
- 2. Orienter/bouger les pièces** du système pour que le dessin soit comme l'on souhaite. Pour ça, il faudra rajouter des contraintes de position dans le fichier assemblage (*.asm) afin d'éviter toute mauvaise manipulation qui pourrait modifier la mise en plan. C'est le cas par exemple pour :
 - Bien orienter circlips, clavettes ou éléments qu'on souhaite avoir dans le plan de coupe
 - Orienter les pans hexagonaux de vis pour que la tête de vis soit alignées avec le dessin

NB : les coupes locales (pour une clavette par exemple) ne peuvent pas être réalisées dans une vue qui est déjà une coupe. Donc dans ce cas il faut se débrouiller « à la main »



Décocher la case « couper » pour le poinçon non coupé (et ne pas oublier de mettre à jour les vues ensuite !)

CAO 4.7 Nomenclature

C'est quoi?

- La nomenclature (sur le dessin d'ensemble) liste toutes les pièces du système et fournit des informations sur ces éléments (numéro ou repère, nombre, nom, matière, ...).
- On appelle aussi nomenclature, la façon dont on nomme les fichiers.

11	1	Vis HC M8-8	Acier	Commentaire	
09	1	Ecran hexagonal H M8	Acier	Commentaire	
08	2	Vis FH M4-10	Acier	Commentaire	
07	1	Pêne	3235	Déroule laser	1
06	1	Coquille	PNPA	Déroule laser	1
04	1	Molleton	Acier	Commentaire (qualité: S12)	1
03	1	Bouton	ABS	Impression 3D	1
02	1	Vitebrague	AL45	Usiné	1
01	1	Corps	AL45	Usiné	1
Rep	018	Description	Matière	Commentaires	Révis

Créer une nomenclature sur un dessin d'ensemble

Nomenclature

Cliquer une vue

Avec Numéros

ISO_A1H
ISO_A2H
ISO_A3H
ISO_A4H

Sélectionner « Avec Numéros » Avant de placer le tableau

11	1	Vis HC M8-8	Acier	Commentaire	
09	1	Ecran hexagonal H M8	Acier	Commentaire	
08	2	Vis FH M4-10	Acier	Commentaire	
07	1	Pêne	3235	Déroule laser	1
06	1	Coquille	PNPA	Déroule laser	1
04	1	Molleton	Acier	Commentaire (qualité: S12)	1
03	1	Bouton	ABS	Impression 3D	1
02	1	Vitebrague	AL45	Usiné	1
01	1	Corps	AL45	Usiné	1
Rep	018	Description	Matière	Commentaires	Révis

Nomenclature des fichiers

- Il est préférable d'avoir tous les fichiers dans un **même répertoire** (limite le risque de perdre les liens entre fichiers).
- Toutes les pièces sont numérotées.
- Exemple de nom des fichiers :
 - ✓ Pièce : *xx_nom de la pièce.par* ou *.psm*
 - ✓ Assemblage général : *A_nom_du_projet.asm*
 - ✓ Sous-assemblage : *Ax_nom_sous-ass.asm*
 - ✓ Mise en plan : *MEP_xx_nom_piece.dft*

Vos notes

Chapitre CAO 5 Gestion et liens

- 5.1 Liens entre fichiers SE
- 5.2 Variables
- 5.3 Liens dynamiques Excel / SE
- 5.4 Manipulation de fichiers
- 5.5 Gestionnaire de propriétés
- 5.6 Bibliothèque de pièces FIMI

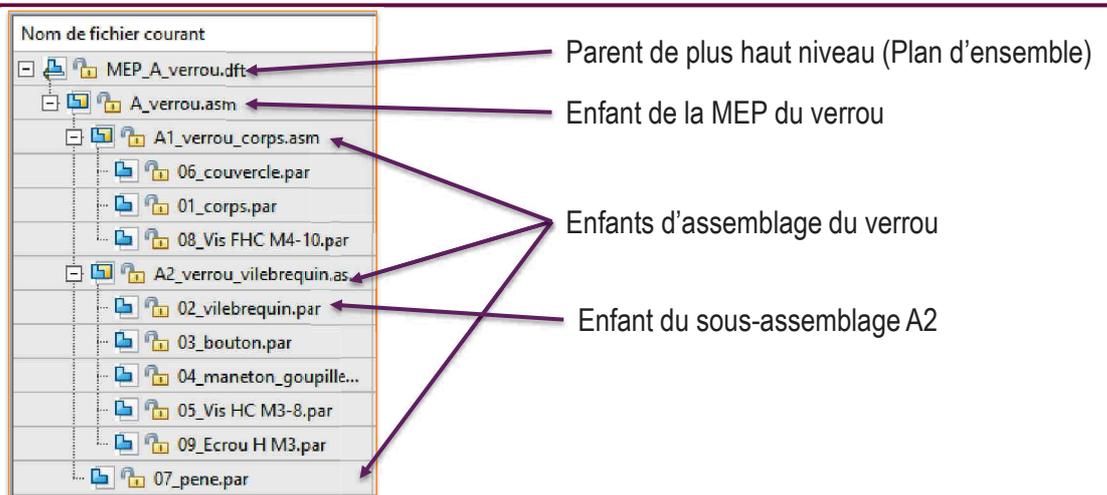
CAO 5.1 Liens entre fichiers SolidEdge

C'est quoi?

Les fichiers sont connectés les uns aux autres. Il existe une hiérarchie « Parent/Enfant ».

- Au plus haut niveau, se trouve la mise en plan de l'assemblage (le parent).
- L'assemblage est « l'enfant » de la mise en plan et le parent des sous-assemblages
- Les pièces sont les « enfants » des (sous-)assemblages et peuvent être parent si il existe des liaisons entre pièces.

Quand on ouvre un fichier « parent », SolidEdge a besoin des fichiers **enfants**. Il ne faut donc **pas modifier leur nom** et **ne pas les déplacer** en dehors de SolidEdge. Pour cela, il faut utiliser le « Gestionnaire de Conception » (voir fiche 5.4).  C'est le cas également le cas pour une simple MEP d'une pièce (dessin de définition).



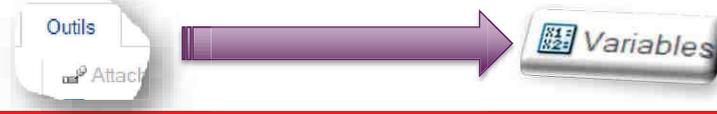
CAO 5.2 LES VARIABLES de pièce

C'est quoi ? Chaque pièce ou assemblage est défini par des variables (cotes, profondeur...). Ces variables sont regroupées dans un tableau. On peut travailler sur ces variables.

Nom	Valeur	Unités
D_ext	60,00	mm
D_epaulement	40,00	mm
Epaisseur	20,00	mm

Comment faire ?

Menu « Outils » / Bouton « Variables »



Changer les noms des variables pour plus d'efficacité

Affichage des variables fonction par fonction par fonctions

Valeur des variables

Pour mettre des relations mathématiques entre variables

Type	Type	Nom	Valeur	Unités	Regle	Formule
Structure						
Ordonné						
Ajout de matière 1						
	Dim	D_ext	60,00	mm		
	Dim	D_epaulement	40,00	mm	Formu...	=2* D_ext /3
	Dim	Epaisseur	20,00	mm	Formu...	= D_epaulement /2
	Dim	V1015	10,00	mm		
Chanfrein 1						
Perçage 1						
Matrice 3						
Propriétés matières						
	Var	Coefficient_de_dilatation...	0,0000	/C		
	Var	Limite_elastique	262,001	MegaPa		
	Var	Limite_de_rupture	358,527	MegaPa		
	Var	Coef_de_Poisson	0,290			

Menu création de formule (Colonne « Formule »)

Une cellule de couleur grise n'est pas modifiable.

Clic droit sur une case pour ouvrir l'éditeur de règles des variables ou créer des liens entre pièces, par copier depuis pièce 1 et « coller liaison » dans pièce 2

- Copier liaison
- Coller liaison
- Filtre
- Editeur de règles régissant les variables

CAO 5.3 LIEN DYNAMIQUE EXCEL / SOLIDEDGE

C'est quoi ? Pouvoir piloter une pièce et/ou un assemblage par un tableur Excel. Remarque : cela ne fonctionne qu'avec le tableur Excel.

ATTENTION : Toujours ouvrir le fichier Excel avant le fichier Solidedge.

Comment faire ?

Création d'un lien dynamique entre une cellule Excel et une variable Solidedge :



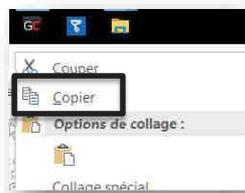
La cellule Excel commande la valeur de la variable Solidedge.

Environnement Excel

Diamètre extérieur de la pièce 60

Dans la cellules qui doit commander la valeur de la variable SE concernée :

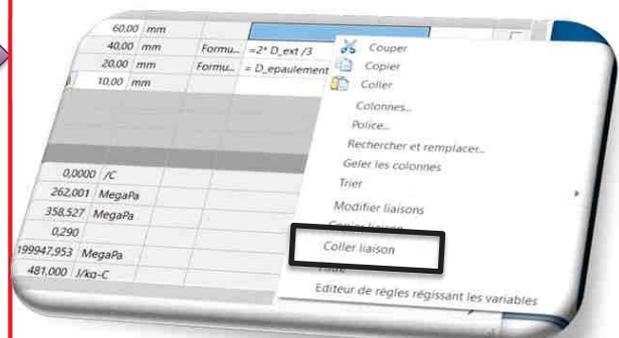
- Clic droit
- Copier



Environnement Solidedge

Table des variables :

- Clic droit dans la colonne Formule : « coller liaison »



CAO 5.4 MANIPULATION DES FICHIERS SOLIDEDGE

C'est quoi ? Pouvoir renommer, déplacer... les fichiers pièces, assemblages, mise en plan... sans rompre les liens existant entre ces fichiers.

Comment faire ?

Utilisation d'un outil prévu pour cela :
Le GESTIONNAIRE DE CONCEPTION
Pour manipuler les fichiers d'un assemblage

Dans l'explorateur Windows :

- Clic droit sur nom du fichier : « ouvrir à l'aide du gestionnaire de conception »



OU



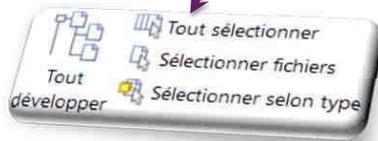
ATTENTION : Si tu veux détruire tout ton travail, utilise l'explorateur windows !!!

L'interface de l'outil permet de renommer, déplacer, copier....

Sélectionner le ou les fichiers à manipuler.

Choisir l'opération à effectuer.

Effectuer l'opération.



Pratique pour créer un ZIP incluant tous les fichiers du projet

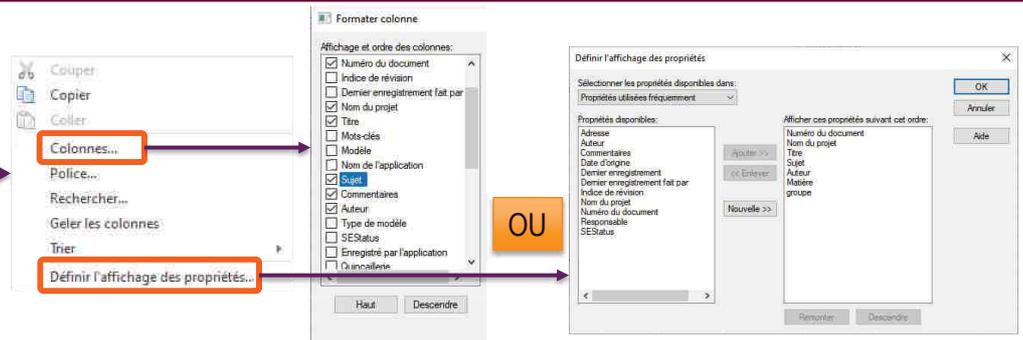
CAO 5.5 Gestionnaire de propriétés (Métadonnées)

C'est quoi ?

- Pour remplir le cartouche ou une nomenclature, SolidEdge utilise des données stockées dans les fichiers enfants (pièces, assemblages).



Pour choisir les colonnes à afficher



Gestionnaire des propriétés

Types de fichier: [dropdown] Aucun niveau Nomenclature

Nom du document	Demier e...	Numéro ...	Indice de ...	Nom du ...	Titre	Sujet	Commen...	Auteur	Nom du fichier	groupe
MEP_A_verrou.dft	18/02/20...			Insa de l...	Nom de l...	Nom du ...		psalgas	MEP_A_verrou.dft	GCP
A_verrou.asm	27/03/20...	A	1	Verrou	Verrou	Verrou		Pierre	A_verrou.asm	GCP
07_pene.par	04/03/20...	07	1	Verrou	Pêne	Verrou	Découpe...	Pierre	07_pene.par	GCP
A1_verrou_corps.asm	18/02/20...	A1	1	Verrou	Ensembl...	Verrou		Pierre	A1_verrou_corps.asm	GCP
01_corps.par	08/09/20...	01	1	Verrou	Corps	Verrou	Usiné	Pierre	01_corps.par	GCP
06_couvercle.par	18/02/20...	06	1	Verrou	Couvercle	Verrou	Découpe...	Pierre	06_couvercle.par	GCP
08_Vis FHC M4-10.par	18/02/20...	08		Insa de l...	Vis FHC ...	Nom du ...	Commer...	Pierre	08_Vis FHC M4-10.par	
A2_verrou_vilebrequin.asm	04/03/20...	A2	1	Verrou	Ensembl...	Verrou		Pierre	A2_verrou_vilebrequin.asm	GCP
02_vilebrequin.par	04/03/20...	02	1	Verrou	Vilebreq...	Verrou	Usiné	Pierre	02_vilebrequin.par	GCP
03_bouton.par	27/02/20...	03	1	Verrou	Bouton	Verrou	Impressi...	Pierre	03_bouton.par	GCP
04_maneton_goupille-cylin...	18/02/20...	04	1	Verrou	Maneton	Verrou	Commer...	Pierre	04_maneton_goupille-cyli...	GCP
05_Vis HC M3-8.par	18/02/20...	05		Insa de l...	Vis Hc M...	Verrou	Commer...	Pierre	05_Vis HC M3-8.par	
09_Ecrou H M3.par	10/03/20...			Insa de l...	Ecrou he...	Verrou	Commer...	Pierre	09_Ecrou H M3.par	

On peut faire des copier/coller entre les cellules

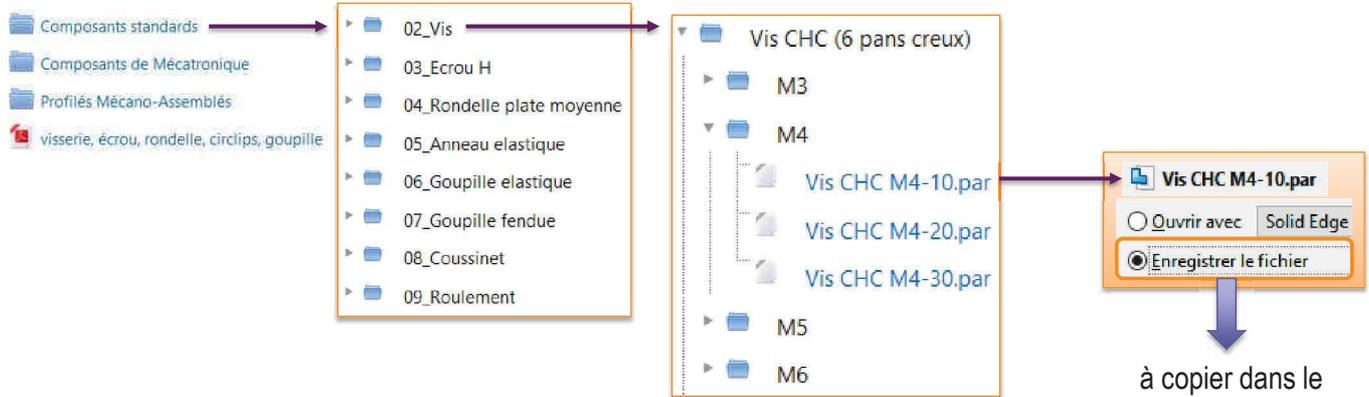
C'est quoi ?

- Il existe une bibliothèque d'éléments souvent utilisés. Inutile de les modéliser !

Comment faire ? Les modèles de ces éléments se trouvent sur Moodle. On peut télécharger toute la bibliothèque, un sous-répertoire ou fichier par fichier.

Moodle « [FIMI CAO](#) » (en fin de page)

Composants standards et mécatroniques Solidedge



Le fichier de pièce de la bibliothèque est à copier dans le répertoire du projet.
Un fichier par projet même si c'est le même élément qui est utilisé

Chapitre CAO 6 « Trucs et astuces »

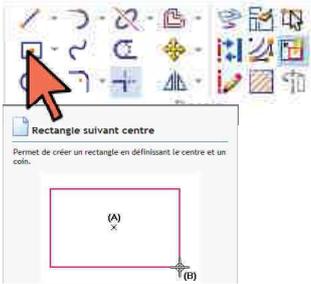
6.1 Trucs généraux à ne pas oublier...

6.2 Astuces esquisses

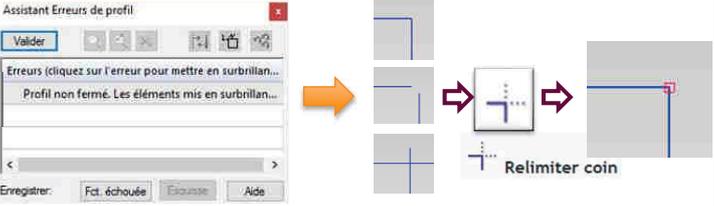
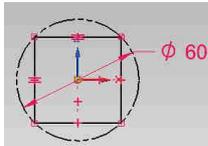
6.3 Astuces d'assemblage

6.4 Astuces de mise en plan

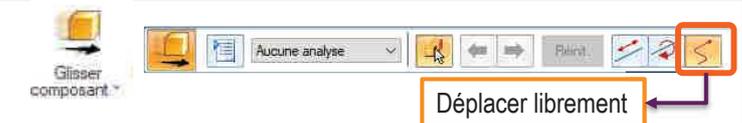
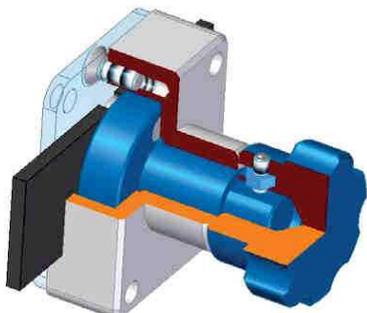
CAO 6.1 SolidEdge – Trucs généraux à ne pas oublier...

C'est quoi?	Comment ?
<ul style="list-style-type: none"> Les fichiers de configuration spécifiques FIMI. Ils contiennent entre autres les modèles de Mise en plan (« Monopieces.dft » par ex), les Matériaux utilisés FIMI, et beaucoup d'autres choses. INDISPENSABLES quoi ! 	<p>→ Voir fiche CAO 1.4 et Moodle « Conception CAO »</p>
<ul style="list-style-type: none"> Le thème « Equilibré » par défaut Le mode « Ordonné » par défaut 	<p>→ Voir fiche CAO 1.4</p>
<ul style="list-style-type: none"> Soyez curieux : petit triangle à côté d'un bouton 	<p>→  → Fonctions supplémentaires</p>
<ul style="list-style-type: none"> AIDES : <ul style="list-style-type: none"> Aide rapide par les InfoBulles (en plaçant la souris au dessus du bouton SANS cliquer) L'invite (en bas à gauche de la fenêtre) : précise l'action à exécuter <p> Sélectionnez une géométrie ou des fonctions à modifier</p>	<p>→  </p>
<ul style="list-style-type: none"> La touche « <i>Echap</i> » ou « ESC » du clavier pour sortir des fonctions/sélection (plusieurs fois !) Le clic droit pour VALIDER 	<p>→  SORTIR  VALIDER</p>

CAO 6.2 Astuces d'esquisse

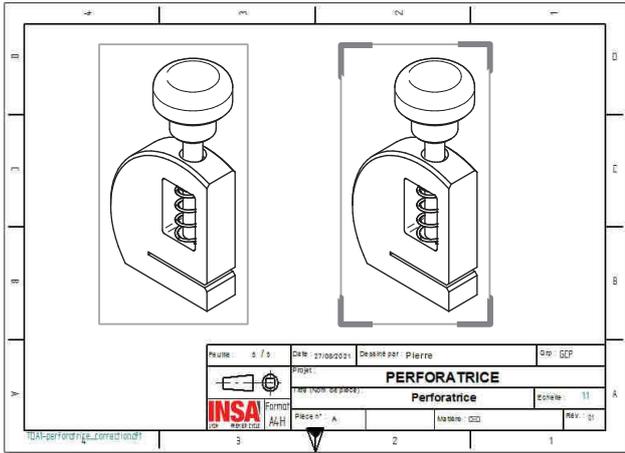
C'est quoi ?	Comment ?						
<ul style="list-style-type: none"> Le bouton « Couleurs des Relations » : il est à 2 endroits ! 	<p>Menu Inspection, cocher dans la Barre principale Esquisse</p> 						
<ul style="list-style-type: none"> L'outil magique pour fermer un profil quand on galère : « Relimiter Coin » 							
<ul style="list-style-type: none"> Le bouton axe de révolution pour Ajout ou Enlèvement par révolution (si oublié, erreur !) 	 <div data-bbox="1165 571 1452 683" style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> <p>Axe de révolution</p> <p>Permet de placer le trait d'axe autour duquel la fonction technologique subira une révolution.</p> <p>Pour l'aide, appuyez sur la touche F1.</p> </div>						
<ul style="list-style-type: none"> Éléments de construction : penser à utiliser des éléments de construction pour faciliter le dessin et contraindre une esquisse 	 <p>Exemple : </p>						
<ul style="list-style-type: none"> Cotes bleu ou rouge ? <ul style="list-style-type: none"> cote rouge = cote pilotante de la forme du modèle cote bleue = purement informative (ne contraint pas) 	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;"><u>Cote pilotante</u></td> <td style="text-align: center;"><u>Cote pilotée (info)</u></td> <td style="text-align: center;"><u>Cote pilotée modifiée (fausse)</u></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td style="text-align: center;"></td> <td style="text-align: center;"></td> </tr> </table>	<u>Cote pilotante</u>	<u>Cote pilotée (info)</u>	<u>Cote pilotée modifiée (fausse)</u>			
<u>Cote pilotante</u>	<u>Cote pilotée (info)</u>	<u>Cote pilotée modifiée (fausse)</u>					
							

CAO 6.3 Astuces d'assemblage

C'est quoi ?	Comment ?
<ul style="list-style-type: none"> Voir les contraintes d'assemblage : Les contraintes d'assemblage se créent sans validation. On a donc tendance à en créer sans se rendre compte ! Egalement bien utile en cas d'erreur d'assemblage : 	
<ul style="list-style-type: none"> Faire bouger une pièce : Déplacer une pièce pour voir les contraintes qu'il manque ou pour animer manuellement le mécanisme. 	
<ul style="list-style-type: none"> Faire une vue écorchée sur le 3D (section PMI) : Permet de voir l'intérieur d'un mécanisme en 3D et les erreurs éventuelles (collisions, jeu trop important, ...) 	 <p>C'est comme un « Enlèvement par extrusion » + Choix des pièces à couper</p> <p>OU coupe par des plans simples : plus rapide mais plus limité :</p>  <p>+ X Y Z Pour l'orientation du plan de coupe </p>

C'est quoi ?

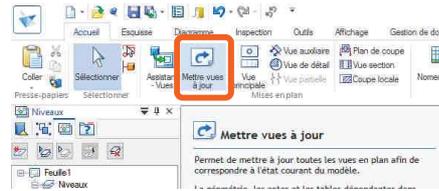
- Des cadres apparaissent autour de vos vues (et vous trouvez que c'est moche!) ?



Comment ?



Si c'est un cadre gris fin, il suffit de mettre à jour la vue



Si les coins sont gras, il faut retourner dans l'assemblage : c'est de là que vient le problème. Mettre à jour l'assemblage (et les sous-assemblages), sauvegarder les modifications de l'assemblage, et revenir ensuite mettre à jour la mise en plan. Normalement, le cadre devient fin !



Vos notes

Vos notes

Tableau des Tolérance ISO

14 ■ 26	PRINCIPAUX ÉCARTS EN MICROMETRES								Température de référence : 20 °C				
ALÉSAGES	Jusqu'à 3 inclus	3 à 6 inclus	6 à 10	10 à 18	18 à 30	30 à 50	50 à 80	80 à 120	120 à 180	180 à 250	250 à 315	315 à 400	400 à 500
D 10	+ 60 + 20	+ 78 + 30	+ 98 + 40	+ 120 + 50	+ 149 + 65	+ 180 + 80	+ 220 + 100	+ 260 + 120	+ 305 + 145	+ 355 + 170	+ 400 + 190	+ 440 + 210	+ 480 + 230
F 7	+ 16 + 6	+ 22 + 10	+ 28 + 13	+ 34 + 16	+ 41 + 20	+ 50 + 25	+ 60 + 30	+ 71 + 36	+ 83 + 43	+ 96 + 50	+ 108 + 56	+ 119 + 62	+ 131 + 68
G 6	+ 8 + 2	+ 12 + 4	+ 14 + 5	+ 17 + 6	+ 20 + 7	+ 25 + 9	+ 29 + 10	+ 34 + 12	+ 39 + 14	+ 44 + 15	+ 49 + 17	+ 54 + 18	+ 60 + 20
H 6	+ 6 0	+ 8 0	+ 9 0	+ 11 0	+ 13 0	+ 16 0	+ 19 0	+ 22 0	+ 25 0	+ 29 0	+ 32 0	+ 36 0	+ 40 0
H 7	+ 10 0	+ 12 0	+ 15 0	+ 18 0	+ 21 0	+ 25 0	+ 30 0	+ 35 0	+ 40 0	+ 46 0	+ 52 0	+ 57 0	+ 63 0
H 8	+ 14 0	+ 18 0	+ 22 0	+ 27 0	+ 33 0	+ 39 0	+ 46 0	+ 54 0	+ 63 0	+ 72 0	+ 81 0	+ 89 0	+ 97 0
H 9	+ 25 0	+ 30 0	+ 36 0	+ 43 0	+ 52 0	+ 62 0	+ 74 0	+ 87 0	+ 100 0	+ 115 0	+ 130 0	+ 140 0	+ 155 0
H 10	+ 40 0	+ 48 0	+ 58 0	+ 70 0	+ 84 0	+ 100 0	+ 120 0	+ 140 0	+ 160 0	+ 185 0	+ 210 0	+ 230 0	+ 250 0
H 11	+ 60 0	+ 75 0	+ 90 0	+ 110 0	+ 130 0	+ 160 0	+ 190 0	+ 210 0	+ 250 0	+ 290 0	+ 320 0	+ 360 0	+ 400 0
H 12	+ 100 0	+ 120 0	+ 150 0	+ 180 0	+ 210 0	+ 250 0	+ 300 0	+ 350 0	+ 400 0	+ 460 0	+ 520 0	+ 570 0	+ 630 0
H 13	+ 140 0	+ 180 0	+ 220 0	+ 270 0	+ 330 0	+ 390 0	+ 460 0	+ 540 0	+ 630 0	+ 720 0	+ 810 0	+ 890 0	+ 970 0
J 7	+ 4 - 6	+ 6 - 6	+ 8 - 7	+ 10 - 8	+ 12 - 9	+ 14 - 11	+ 18 - 12	+ 22 - 13	+ 26 - 14	+ 30 - 16	+ 36 - 16	+ 39 - 18	+ 43 - 20
K 6	0 - 6	+ 2 - 6	+ 2 - 7	+ 2 - 9	+ 2 - 11	+ 3 - 13	+ 4 - 15	+ 4 - 18	+ 4 - 21	+ 5 - 24	+ 5 - 27	+ 7 - 29	+ 8 - 32
K 7	0 - 10	+ 3 - 9	+ 5 - 10	+ 6 - 12	+ 6 - 15	+ 7 - 18	+ 9 - 21	+ 10 - 25	+ 12 - 28	+ 13 - 33	+ 16 - 36	+ 17 - 40	+ 18 - 45
M 7	- 2 - 12	0 - 12	0 - 15	0 - 18	0 - 21	0 - 25	0 - 30	0 - 35	0 - 40	0 - 46	0 - 52	0 - 57	0 - 63
N 7	- 4 - 14	- 4 - 16	- 4 - 19	- 5 - 23	- 7 - 28	- 8 - 33	- 9 - 39	- 10 - 45	- 12 - 52	- 14 - 60	- 14 - 66	- 16 - 73	- 17 - 80
N 9	- 4 - 29	0 - 30	0 - 36	0 - 43	0 - 52	0 - 62	0 - 74	0 - 87	0 - 100	0 - 115	0 - 130	0 - 140	0 - 155
P 6	- 6 - 12	- 9 - 17	- 12 - 21	- 15 - 26	- 18 - 31	- 21 - 37	- 26 - 45	- 30 - 52	- 36 - 61	- 41 - 70	- 47 - 79	- 51 - 87	- 55 - 95
P 7	- 6 - 16	- 8 - 20	- 9 - 24	- 11 - 29	- 14 - 35	- 17 - 42	- 21 - 51	- 24 - 59	- 28 - 68	- 33 - 79	- 36 - 88	- 41 - 98	- 45 - 108
P 9	- 9 - 31	- 12 - 42	- 15 - 51	- 18 - 61	- 22 - 74	- 26 - 88	- 32 - 106	- 37 - 124	- 43 - 143	- 50 - 165	- 56 - 186	- 62 - 202	- 68 - 223

ARBRES	Jusqu'à 3 inclus	3 à 6 inclus	6 à 10	10 à 18	18 à 30	30 à 50	50 à 80	80 à 120	120 à 180	180 à 250	250 à 315	315 à 400	400 à 500
a 11	-270 -330	-270 -345	-280 -370	-290 -400	-300 -430	-320 -470	-360 -530	-410 -600	-580 -710	-820 -950	-1050 -1240	-1350 -1560	-1650 -1900
c 11	-60 -120	-70 -145	-80 -170	-95 -205	-110 -240	-130 -280	-150 -330	-180 -390	-230 -450	-280 -530	-330 -620	-400 -720	-480 -840
d 9	-20 -45	-30 -60	-40 -75	-50 -93	-65 -117	-80 -142	-100 -174	-120 -207	-145 -245	-170 -285	-190 -320	-210 -350	-230 -385
d 10	-20 -60	-30 -78	-40 -98	-50 -120	-65 -149	-80 -180	-100 -220	-120 -250	-145 -305	-170 -355	-190 -400	-210 -440	-230 -480
d 11	-20 -80	-30 -105	-40 -130	-50 -160	-65 -195	-80 -240	-100 -290	-120 -340	-145 -395	-170 -460	-190 -510	-210 -570	-230 -630
e 7	-14 -24	-20 -32	-25 -40	-32 -50	-40 -61	-50 -75	-60 -90	-72 -107	-85 -125	-100 -146	-110 -162	-125 -182	-135 -198
e 8	-14 -28	-20 -38	-25 -47	-32 -59	-40 -73	-50 -89	-60 -106	-72 -126	-85 -148	-100 -172	-110 -191	-125 -214	-135 -232
e 9	-14 -39	-20 -50	-25 -61	-32 -75	-40 -92	-50 -112	-60 -134	-72 -159	-85 -185	-100 -215	-110 -240	-125 -265	-135 -290
f 6	-6 -12	-10 -18	-13 -22	-16 -27	-20 -33	-25 -41	-30 -49	-36 -58	-43 -68	-50 -79	-56 -88	-62 -98	-68 -108
f 7	-6 -16	-10 -22	-13 -28	-16 -34	-20 -41	-25 -50	-30 -60	-36 -71	-43 -83	-50 -96	-56 -106	-62 -119	-68 -131
f 8	-6 -20	-10 -28	-13 -35	-16 -43	-20 -53	-25 -64	-30 -76	-36 -90	-43 -106	-50 -122	-56 -137	-62 -151	-68 -165
g 5	-2 -6	-4 -9	-5 -11	-6 -14	-7 -16	-9 -20	-10 -23	-12 -27	-14 -32	-15 -35	-17 -40	-18 -43	-20 -47
g 6	-2 -8	-4 -12	-5 -14	-6 -17	-7 -20	-9 -25	-10 -29	-12 -34	-14 -39	-15 -44	-17 -49	-18 -54	-20 -60
h 5	0 -4	0 -5	0 -6	0 -8	0 -9	0 -11	0 -13	0 -15	0 -18	0 -20	0 -23	0 -25	0 -27
h 6	0 -6	0 -8	0 -9	0 -11	0 -13	0 -16	0 -19	0 -22	0 -25	0 -29	0 -32	0 -36	0 -40
h 7	0 -10	0 -12	0 -15	0 -18	0 -21	0 -25	0 -30	0 -35	0 -40	0 -46	0 -52	0 -57	0 -63
h 8	0 -14	0 -18	0 -22	0 -27	0 -33	0 -39	0 -46	0 -54	0 -63	0 -72	0 -81	0 -89	0 -97
h 9	0 -25	0 -30	0 -36	0 -43	0 -52	0 -62	0 -74	0 -87	0 -100	0 -115	0 -130	0 -140	0 -155
h 10	0 -40	0 -48	0 -58	0 -70	0 -84	0 -100	0 -120	0 -140	0 -160	0 -185	0 -210	0 -230	0 -250
h 11	0 -60	0 -75	0 -90	0 -110	0 -130	0 -160	0 -190	0 -220	0 -250	0 -290	0 -320	0 -360	0 -400
h 13	0 -140	0 -180	0 -220	0 -270	0 -330	0 -390	0 -460	0 -540	0 -630	0 -720	0 -810	0 -890	0 -970
j 6	+4 -2	+6 -2	+7 -2	+8 -3	+9 -4	+11 -5	+12 -7	+13 -9	+14 -11	+16 -13	+16 -16	+18 -18	+20 -20
js5	±2	±2,5	±3	±4	±4,5	±5,5	±6,5	±7,5	±9	±10	±11,5	±12,5	±13,5
js6	±3	±4	±4,5	±5,5	±6,5	±8	±9,5	±11	±12,5	±14,5	±16	±18	±20
js9	±12	±15	±18	±21	±26	±31	±37	±43	±50	±57	±65	±70	±77
js11	±30	±37	±45	±55	±65	±80	±95	±110	±125	±145	±160	±180	±200
k 5	+4 0	+6 +1	+7 +1	+9 +1	+11 +2	+13 +2	+15 +2	+18 +3	+21 +3	+24 +4	+27 +4	+29 +4	+32 +5
k 6	+6 0	+9 +1	+10 +1	+12 +1	+15 +2	+18 +2	+21 +2	+25 +3	+28 +3	+33 +4	+36 +4	+40 +4	+45 +5
m 5	+6 +2	+9 +4	+12 +6	+15 +7	+17 +8	+20 +9	+24 +11	+28 +13	+33 +15	+37 +17	+43 +20	+46 +21	+50 +23
m 6	+8 +2	+12 +4	+15 +6	+18 +7	+21 +8	+25 +9	+30 +11	+35 +13	+40 +15	+46 +17	+52 +20	+57 +21	+63 +23
n 6	+10 +4	+16 +8	+19 +10	+23 +12	+28 +15	+33 +17	+39 +20	+45 +23	+52 +27	+60 +31	+66 +34	+73 +37	+80 +40
p 6	+12 +6	+20 +12	+24 +15	+29 +18	+35 +22	+42 +26	+51 +32	+59 +37	+68 +43	+79 +50	+88 +56	+98 +62	+108 +68

Tableau des liaisons

Liaison	Schéma normalisé 2D	Schéma normalisé 3D	Degrés de liberté												
Ponctuelle \vec{x} normale au plan O point de contact			<table border="1"> <tr><td>Rx</td><td>1</td><td>Tx</td><td>0</td></tr> <tr><td>Ry</td><td>1</td><td>Ty</td><td>1</td></tr> <tr><td>Rz</td><td>1</td><td>Tz</td><td>1</td></tr> </table>	Rx	1	Tx	0	Ry	1	Ty	1	Rz	1	Tz	1
Rx	1	Tx	0												
Ry	1	Ty	1												
Rz	1	Tz	1												
Linéaire rectiligne \vec{x} direction du contact \vec{y} normale au plan $O \in$ à ligne de contact			<table border="1"> <tr><td>Rx</td><td>1</td><td>Tx</td><td>1</td></tr> <tr><td>Ry</td><td>1</td><td>Ty</td><td>0</td></tr> <tr><td>Rz</td><td>0</td><td>Tz</td><td>1</td></tr> </table>	Rx	1	Tx	1	Ry	1	Ty	0	Rz	0	Tz	1
Rx	1	Tx	1												
Ry	1	Ty	0												
Rz	0	Tz	1												
Linéaire annulaire \vec{x} direction du cylindre $O \in$ à l'axe de symétrie du cylindre			<table border="1"> <tr><td>Rx</td><td>1</td><td>Tx</td><td>1</td></tr> <tr><td>Ry</td><td>1</td><td>Ty</td><td>0</td></tr> <tr><td>Rz</td><td>1</td><td>Tz</td><td>0</td></tr> </table>	Rx	1	Tx	1	Ry	1	Ty	0	Rz	1	Tz	0
Rx	1	Tx	1												
Ry	1	Ty	0												
Rz	1	Tz	0												
Plane \vec{x} normale au plan $O \in$ au plan			<table border="1"> <tr><td>Rx</td><td>1</td><td>Tx</td><td>0</td></tr> <tr><td>Ry</td><td>0</td><td>Ty</td><td>1</td></tr> <tr><td>Rz</td><td>0</td><td>Tz</td><td>1</td></tr> </table>	Rx	1	Tx	0	Ry	0	Ty	1	Rz	0	Tz	1
Rx	1	Tx	0												
Ry	0	Ty	1												
Rz	0	Tz	1												
Rotule ou sphérique O centre de la sphère			<table border="1"> <tr><td>Rx</td><td>1</td><td>Tx</td><td>0</td></tr> <tr><td>Ry</td><td>1</td><td>Ty</td><td>0</td></tr> <tr><td>Rz</td><td>1</td><td>Tz</td><td>0</td></tr> </table>	Rx	1	Tx	0	Ry	1	Ty	0	Rz	1	Tz	0
Rx	1	Tx	0												
Ry	1	Ty	0												
Rz	1	Tz	0												
Sphérique à doigt \vec{x} direction du doigt \vec{z} normale au contact O centre de la sphère			<table border="1"> <tr><td>Rx</td><td>1</td><td>Tx</td><td>0</td></tr> <tr><td>Ry</td><td>0</td><td>Ty</td><td>0</td></tr> <tr><td>Rz</td><td>1</td><td>Tz</td><td>0</td></tr> </table>	Rx	1	Tx	0	Ry	0	Ty	0	Rz	1	Tz	0
Rx	1	Tx	0												
Ry	0	Ty	0												
Rz	1	Tz	0												
Pivot glissant \vec{x} direction du cylindre $O \in$ à l'axe de symétrie du cylindre			<table border="1"> <tr><td>Rx</td><td>1</td><td>Tx</td><td>1</td></tr> <tr><td>Ry</td><td>0</td><td>Ty</td><td>0</td></tr> <tr><td>Rz</td><td>0</td><td>Tz</td><td>0</td></tr> </table>	Rx	1	Tx	1	Ry	0	Ty	0	Rz	0	Tz	0
Rx	1	Tx	1												
Ry	0	Ty	0												
Rz	0	Tz	0												
Pivot \vec{x} direction du cylindre $O \in$ à l'axe de symétrie du cylindre			<table border="1"> <tr><td>Rx</td><td>1</td><td>Tx</td><td>0</td></tr> <tr><td>Ry</td><td>0</td><td>Ty</td><td>0</td></tr> <tr><td>Rz</td><td>0</td><td>Tz</td><td>0</td></tr> </table>	Rx	1	Tx	0	Ry	0	Ty	0	Rz	0	Tz	0
Rx	1	Tx	0												
Ry	0	Ty	0												
Rz	0	Tz	0												
Glissière \vec{x} direction de glissement			<table border="1"> <tr><td>Rx</td><td>0</td><td>Tx</td><td>1</td></tr> <tr><td>Ry</td><td>0</td><td>Ty</td><td>0</td></tr> <tr><td>Rz</td><td>0</td><td>Tz</td><td>0</td></tr> </table>	Rx	0	Tx	1	Ry	0	Ty	0	Rz	0	Tz	0
Rx	0	Tx	1												
Ry	0	Ty	0												
Rz	0	Tz	0												
Glissière Hélicoïdale \vec{x} direction du cylindre $O \in$ à l'axe de symétrie du cylindre			<table border="1"> <tr><td>Rx</td><td>1</td><td>Tx</td><td>1</td></tr> <tr><td>Ry</td><td>0</td><td>Ty</td><td>0</td></tr> <tr><td>Rz</td><td>0</td><td>Tz</td><td>0</td></tr> </table> <p>Rx et Tx sont liés.</p>	Rx	1	Tx	1	Ry	0	Ty	0	Rz	0	Tz	0
Rx	1	Tx	1												
Ry	0	Ty	0												
Rz	0	Tz	0												