

Eléments de construction semestre 2

Résumé

BTF 2212

CHRISTEN Loris, BECK Daniel

Version 2.0.0 of July 5, 2022

Structure de projet et nomenclature

Utilité

Permet de créer des pré-assemblages et des sous-groupes ⇔ travail parallèle dans un groupe
permet de créer des listes de pièces précises et exhaustives.

Représentation complète d'un produit

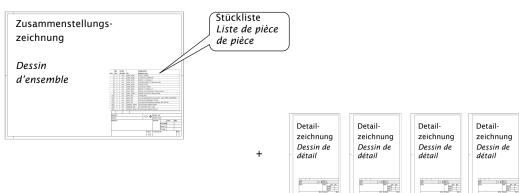
Variante 1

Le dessin d'ensemble est accompagné d'une liste de pièces, dont les numéros renvoient sur les dessins de détails.



Variante 2

Le dessin d'ensemble contient la liste de pièce.

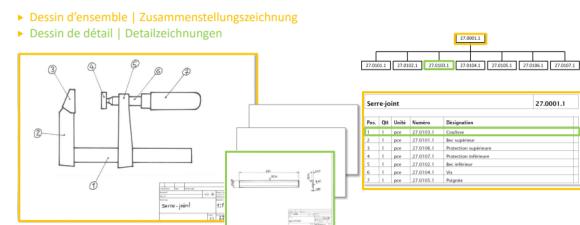


Numéros de dessins

Les numéros de pièces sont gérés selon les normes internes et propres à chaque entreprise. Il peut être intéressant, selon la complexité de la construction (du produit), d'avoir un système de numérotation qui soit structuré selon le type de l'article (ensemble - sous-ensemble - pièces spécifique - pièce achetée - pièce normalisée - etc.).

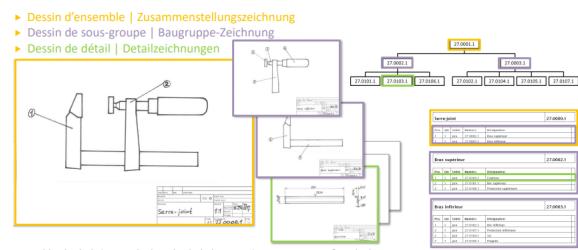
Structure horizontale

Applicable aux petits projets faits en petite équipe
Vue d'ensemble simple



Structure hiérarchique - verticale

Nécessaire lors de grands projets qui regroupent plusieurs équipes
Vue d'ensemble plus complexes, mais toujours logique



Procédés de fabrication

Créer une forme

Par moulage	Description	Matériaux	Etat de surface	Série	Caractéristique	Applications
Moulage en sable/- Fonte Sandgiessen Sand casting	faire un modèle de la pièce en bois, plâtre, polystyrène ou autre à l'aide de sable spécial, faire un moule qui a la forme négative faire durcir le sable retirer le modèle verser du métal liquide dans le moule	fonte ; alliage d'aluminium (acier ; inox ; bronze)	Ra50	petite à moyenne	-	-
Fonte à la cire perdue (fonte de précision) Feingiessen Investment casting	faire un grand nombre de modèle de la pièce en cire et les accrocher sur un « arbre » entourer les modèles de poudre spécifique, faire durcir la poudre faire fondre la cire et l'évacuer verser du métal liquide	fonte ; alliage d'aluminium, bronze, (acier ; inox)	Ra3.2	moyenne à grande	-	-
Fonte injectée Druckgiessen Die casting	Faire un moule en acier avec la forme négative Injecter sous pression le métal fondu dans le moule	alliage d'aluminium, de zinc	Ra 3.2	grande	-	-
Extrusion	Consiste à faire des profilés indéfiniment long à partir d'une masse de matière en la pressant contre une matrice pour les métaux, la masse est sous forme d'un cylindre chaud. Pour les plastiques, on part de granulés qui sont chauffé avant d'être extrudé	aluminium, cuivre thermoplastique	-	km	-	-
Injection plastique Kunststoffspritzgiessen Injection molding	faire un moule en acier (ev. en alu) avec la forme négative injecter sous pression le plastique chaud dans le moule	plastiques	Ra 3.2	grande	Très rapide Grande diversité de pièces Contraintes sur la géométrie Beaucoup de matériaux Surface lisse Moules chers et complexes	-

Par la technologie des poudres						
Frittage Sintern	Consiste à compresser de la poudre de métal et de faire fusionner les grains entre eux en les chauffant ; cela permet d'obtenir des pièces poreuses	acier, inox, bronze, laiton ; alliage d'aluminium	Ra 3.2	grande	-	-
MIM Metal injection molding Pulverspritzgießen	faire un mélange de poudre de métal et de la cire pour obtenir une pâte injecter la pâte dans un moule retirer la cire et faire fusionner les grains de métal entre eux en les chauffant	acier, inox, bronze, laiton ; alliage d'aluminium	Ra 3.2	grande	-	-
CIM Ceramic injection molding	idem avec de la céramique	céramique	-	grande	-	-
Par dépôt de couches successives - IMPRESSION 3D - rapide prototyping						
FDM Fused Deposition Modeling	consiste à déposer couche après couche du plastique en fusion sur les couches précédentes	thermoplastique	bof	très petite	-	-
SLS / SLM Selective Laser Sintering / Melting Frittage sélectif par laser	consiste à déposer couche après couche de la poudre de métal, et de la fixer à la couche inférieure en la chauffant avec un laser	acier, inox, bronze, laiton ; alliage d'aluminium ; titane	bof	très petite	Géométries complexes, pas d'outil spécifique à la pièce, lent	Prototypes, Composants optimisés, Création de prothèses, Instruments chirurgicaux,
Par microfabrication						
Microfabrication Mikrostrukturierung	on désigne par Microfabrication l'ensemble des techniques qui consistent à utiliser les techniques de dépôt de couche et de gravure chimique sur des wafer (disques en silicium) pour obtenir des pièces de très petites dimensions	silicium métaux		grande	-	-

Modifier une forme

Par enlèvement de copeaux

Percage Bohren	consiste à faire un alésage dans une pièce à l'aide d'un forêt	toute	Ra 6.3	-	-	-
Alésage Reiben	consiste à améliorer un alésage existant avec un alésoir	métaux	Ra 1.6	-	-	-
Taraudage Gewindeschneiden	consiste à créer un pas de vis dans un alésage existant à l'aide d'un taraud ou sur la surface d'un cylindre avec une filière ou un burin	métaux	-	-	-	-
Tournage Drehen	la pièce à usiner tourne, l'outil est fixe à l'aide d'un burin, on enlève la matière nécessaire	toute	Ra 1,6 Ra 0.8 avec outil en dia- mant	toutes	-	-
Fraisage Fräsen	la pièce est fixe, l'outil tourne à l'aide d'une fraise, on enlève la matière superflue	toute	Ra 1.6	toutes	-	-
Décolletage Automatendrehen	c'est une combinaison de tourner et fraiser sur une même machine pour des petites pièces	Aciers et all; All. d'Al et Cu; All. de Ti; All. de Cr et Ni; Mat. plastiques;	Ra 1.6	grande	-	-
Taillage Abwälzfräsen	c'est un processus de fraisage qui permet de tailler des roues dentées	acier ; laiton	Ra 1.6	toutes	Matière de coupe : Métal dur (Oxyde de W), aciers rapides, diamant cristallins, céramique (rare), nitrures (rare) Petites séries comme grandes Bonne répétabilité	Mat. disponible en barre Usinable par enlèvement de copeau Géométrie réalisable Taille de série minimale

Par découpage						
Usinage laser Laserbearbeitung Laser machining	consiste à découper des plaques ou à graver une surface à l'aide d'un rayon laser	Tôles métalliques, Mat. plastiques, Céramiques, Verre, Bois	-	toutes	Très rapide, Grande pièce possibles, Peu cher	Construction en tôles Décorations
Découpage au jet d'eau Wasserstrahl schneiden Waterjet cutting	consiste à découper des plaques à l'aide d'un jet d'eau chargé ou non de poudre abrasive	tout	-	toutes	-	-
Par déformation						
Etampage Stanzen Stamping	la matière arrive sous forme de barre à l'aide d'une ou plusieurs presses, on découpe et déforme la barre pour donner la forme désirée	acier ; laiton	-	grande	-	-
Emboutissage Tiefziehen Deep drawing	idem, sauf que la matière arrive déjà découpée	acier ; laiton	-	grande	-	-
Spinning	consiste à déformer une tôle en forme de disque sur un tour pour lui donner la forme désirée	acier ; laiton	-	-	-	-
Par procédé électrochimique						
Electro-érosion Funkerosion Electrical discharge machining	consiste à enlever resp. découper de la matière par décharge électrique	matériaux ducteurs, trempés	acier	Ra 0.4	moyenne	Avantages : Précision, Pièces déjà trempées, Formes quelconques, Pas de contact avec la pièce, Pas de bavure Inconvénients : Usinage lent, Consommation électrique, Erosion de l'électrode Trous très fins (<150um) Domaine médical, aéronautique, horlogerie, connectique ou automobile

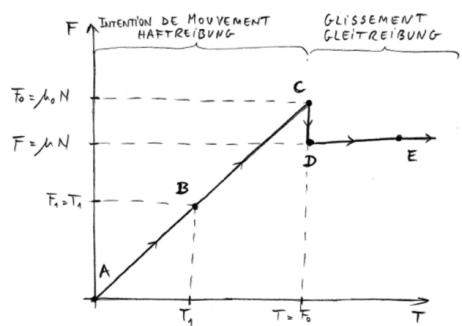
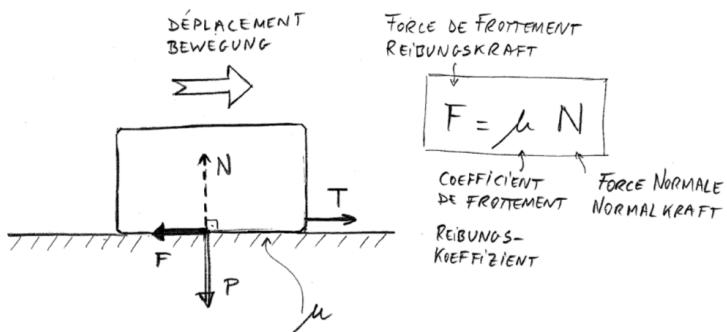
Améliorer l'état de surface

Par abrasion						
Rectifiage Schleifen Grinding	consiste à « frotter » la pièce avec une meule fine pour améliorer l'état de surface	acier trempé	Ra 0.8	petites à moyenne	-	-
Honage Honen Honing	consiste à « frotter » la pièce avec un outil et de la poudre de diamant pour améliorer l'état de surface	acier trempé	Ra 0.2	petite à moyenne	-	-
Par procédés électrochimiques						
Gravure chimique Ätzen	consiste à enlever de la matière par attaque chimique	acier, inox, bronze, laiton	-	toutes	-	-
Galvanoplastie Galvanisierung Electroplating	consiste à déposer une couche de matière par électrolyse sur une pièce existante pour améliorer l'aspect ou la dureté	acier, inox, bronze, laiton	-	toutes	-	-
LIGA	Méthode qui permet de créer des pièces en injectant une matière sous pression dans un moule, permet de faire de très grandes séries avec un coût modéré.	Matières plastiques Aluminium	-	-	Arêtes nettes, Très bon état de surface, Pas d'outillage spécifique à chaque pièce, Rapide	Pignons miniatures, Micro-optique, Micro-moteur, PCB, micro-processeurs
Par laser						
Structuration de surface au LASER	Un LASER est utilisé pour créer des formes géométriques microscopiques sur une surface. L'énergie du LASER vaporise la matière sans fondre les alentours. La fréquence du LASER et les impulsions peuvent varier selon les applications	Métaux, Céramiques, Polymères, Organiques, Composites, Minéraux	-	-	Pas d'outillage spécial , Pas de résidus (matériels) , Haute qualité , Bas niveau de maintenance , Accroissement de la longévité de la pièce , Indépendant de la géométrie de la pièce , Bon marché, Rapidement itératif	Hydrophobie, Trempe, Biomimétisme, Marquage au LASER

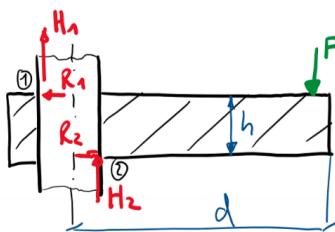
Frottements

Trouver le coefficient de frottement statique avec un objet sur un plan incliné : $\mu_0 = \tan(\alpha_{limite})$
 Si l'objet se déplace à vitesse constante alors le coefficient dynamique est $\mu = \tan(\alpha)$

Loi de coulomb



Arc-boutement



$$H_1 = H_2 = H \leq R_1 = R_2 = R$$

$$\sum M = 0 = R \cdot h - F \cdot d$$

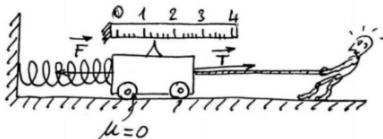
$$\sum F_y = 0 = 2 \cdot H - F$$

$$\rightarrow H = F/2 \leq R \cdot \mu_0$$

$$R \cdot h \leq 2 \cdot R \cdot \mu_0 \cdot d$$

$$\boxed{h \leq 2 \cdot \mu_0 \cdot d}$$

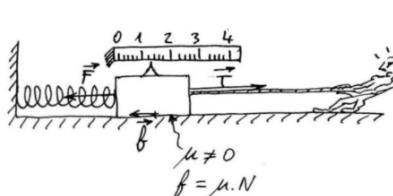
Hystérésis



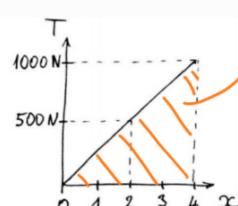
$$T = F \\ F = kx$$

représente le travail
en relâchant, le travail retourne théoriquement à l'homme
pas d'hystérésis

(chaleur)



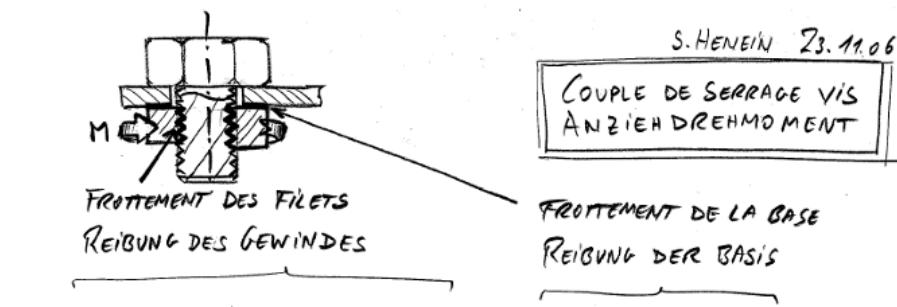
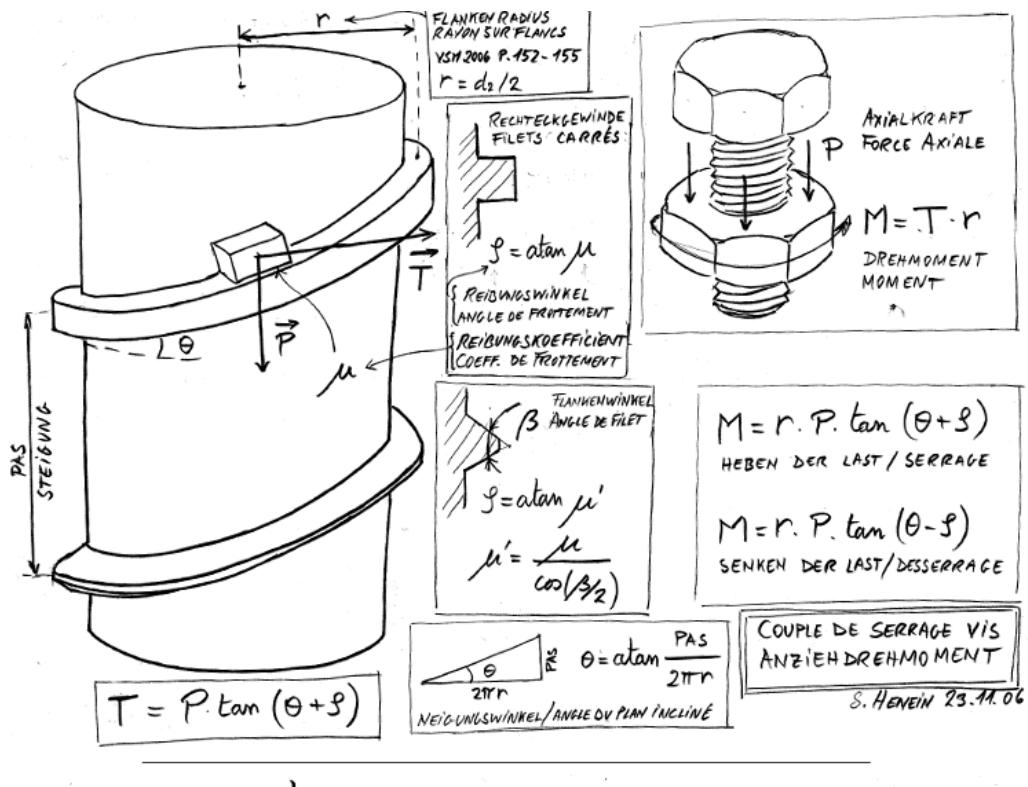
$$\begin{aligned} \text{SENS ①} & T = F + f \\ & F = kx \\ \text{SENS ②} & T = F - f \\ & F = kx \end{aligned}$$



travail perdu en raison du frottement
En raison de l'adhérence, il faut une force minimum pour déclencher le déplacement de l'objet

Couple de serrage d'une vis

Pour calculer le couple de serrage et la précontrainte maximale admissible dans une vis, il faut tenir compte : • de la solidité du matériau • de la pente et de la forme du filet • et du frottement



$$M = r \cdot P \cdot \tan(\theta + \varphi) + M_b$$

Definitions:

- Flange radius:** $r = d_2/2$ (VSM 2006 P. 152-155)
- Angle of plan incline:** $\theta = \text{atan} \frac{\text{PAS}}{2\pi r}$
- Friction coefficient:** $\mu = \text{atan } \mu'$
- Friction radius:** $r_m = \frac{2}{3} \frac{r_e^3 - r_i^3}{r_e^2 - r_i^2}$
- Radius of friction:** $r_m = \sqrt[3]{\frac{r_e^3 - r_i^3}{3}}$

Notes: $\mu' = \frac{\mu}{\cos(\beta/2)}$ (Coefficient of friction at the base)

Guidage roulants

Chariots à recirculation de billes



Conception

Un ou plusieurs chariots peuvent être utilisés dans le même montage. Si deux rails parallèles sont utilisés, il est impératif de ne pas créer d'hyperstatisme dans l'assemblage de rails de guidage.

Durée de vie

Si les moments de force sont grands, à la place de C et P, il faut utiliser les moments.

Operational life calculation

The nominal calculated operational life L for the equivalent force P and a dynamic loading capacity C is:

$$L = (C/P)^3 \cdot 10^5 \text{ m}$$

L = nominal life (m)

Operational life calculation in hours

$$L_h = \frac{L}{2 \cdot s \cdot n \cdot 60} = \frac{L}{60 \cdot v_m}$$

L_h = nominal life (h)

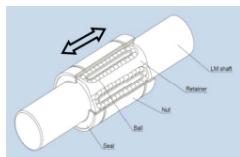
s = stroke length (m)

n = stroke frequency (min^{-1})

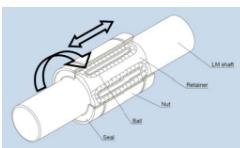
v_m = average traversing speed (m/min)

Douilles à recirculation de billes

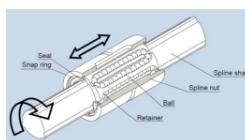
Douilles pour mouvements linéaires uniquement :



Douilles pour mouvements linéaires et de rotation :



Douilles pour mouvements linéaires qui permettent de transmettre un mouvement de rotation



Douilles ouvertes



Il faut encore distinguer les douilles auto-alignantes.

Conception

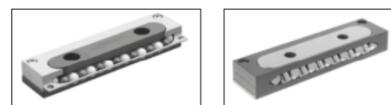
Les règles à respecter sont environnées les mêmes que pour les chariots à recirculation de billes. Le parallélisme des axes de guidage et des logements des douilles doivent être scrupuleusement respectés.

Guidages à billes

Rails avec des cages à billes, à galets ou à aiguilles



Rails avec des chariots à recirculation de billes ou de galets

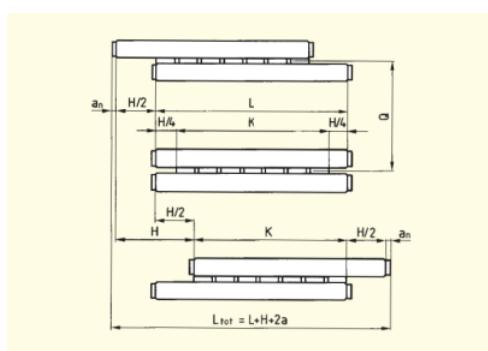


Guidages à billes pour axes cylindriques

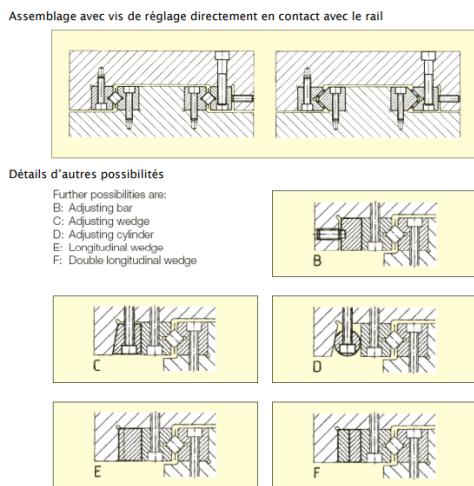


Conception

Les billes (ou les galets) ne se déplacent seulement sur la moitié du chemin du rail. Il faut prendre en compte le porte-à-faux entre le rail fixe et le rail mobile.



L'utilisation de ces guidages est relativement délicate car ils doivent être soumis à une certaine précontrainte. Celle-ci sera réalisée à l'aide de vis de réglage avec appuis direct, ou indirect.



Durée de vie

Source: Schneeberger-LinearBearingsAndRecirculatingUnits
Durée de vie en mètres:

$$L = a \left(\frac{C_{tot}}{P} \right)^p \cdot 10^5$$

$p = 10/3$ pour rouleaux et aiguilles, 3 pour billes

a = probable life expectancy factor

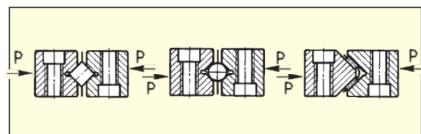
C_{tot} = capacité en N des billes/rouleaux qui prennent la charge

P = charge sur les billes/rouleaux qui prennent la charge

Procédure de calcul

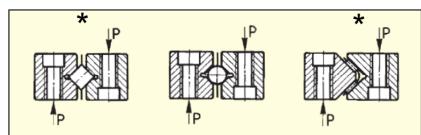
Répartition homogènes de la charge

Tous les galets/aiguilles sont sollicités



Répartition in-homogène

Un galet/aiguille est sollicité sur deux



1. Déterminer si le montage à une porte-à-faux
Si oui il faut tenir compte du moment, et calculer les forces de réactions sur les billes des extrémités
2. Déterminer le nombre de bille $R_{T_{tot}}$ retenant la charge suivant ou se trouve la force (voir diagramme du fournisseur)
3. Calculer la force de réaction
4. Calculer la durée de vie avec $C = C/\text{bille} * R_{T_{tot}}$ et la formule correspondante

Relationship of stroke to length of linear bearing

$$\frac{H}{L} \leq 0.7 \quad (H \leq 400 \text{ mm}) \quad \frac{H}{L} \leq 1 \quad (H > 400 \text{ mm})$$

Cage length

$$K \leq L - \frac{H}{2}$$

Number of rolling elements per cage KBN, AC, AK, EE, SHW, HW

$$R_A = \frac{K - 2w}{t} + 1 \quad \text{or} \quad R_A = \frac{K_t}{t} + 1$$

Number of rolling elements per cage KBS

$$R_A = \frac{K - (2w + t_j)}{t} + 2$$

Cage length to linear bearing spacing; CL to CL

$$\frac{K}{Q} \geq 1$$

K = Cage length in mm

L = Length of linear bearing in mm

H = Stroke in mm

R_A = Total number of rolling elements per cage

w = Distance start of cage to middle of first rolling element in mm

t = Cage pitch in mm

K_t = Load carrying length in mm

Q = Linear bearing spacing; CL to CL in mm

R_T = Number of load carrying rolling elements per cage

$R_{T_{min}}$ = Correction factor dependent on rolling element

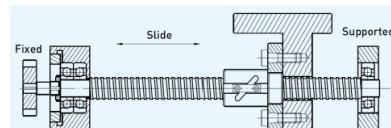
δ_A = Deformation in μm

Vis à billes

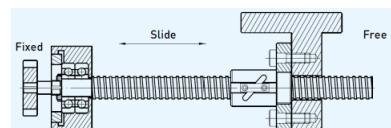


Conception

Il faut faire en sorte que la vis soit guidée par des roulements avec une disposition sans jeu d'un côté - de préférence en X ou en O - et libre de l'autre.



La vis peut aussi n'être guidée que d'un seul côté



Durée de vie

Durée de vie en millions de tours:

$$L = \left(\frac{\text{Capacité dynamique}'' C''}{\text{charge dynamique}} \right)^3$$

Paliers lisses

Utilisation

On utilise des paliers lorsqu' :

- ▷ la précision du mouvement est sans importance,
- ▷ le frottement est sans importance,
- ▷ le milieu est agressif,
- ▷ la température est élevée,
- ▷ les vibrations sont importantes.
- ▷ vitesses pas trop élevées Dans les autres cas, on priviliege les roulements. Les paliers réduisent beaucoup la complexité et le coût d'une construction.

Paliers lisses Gleitlager	Critères de choix Auswahl-Kriterien	Roulements Wälzleger
Ø L	Dimensions d'implémentation Einbaumaße Prix Preis	Ø L
	Vulnérabilité à la saleté Verschmutzungs-Anfälligkeit	Effort d'étanchéité Abdichtungsaufwand
	Corf. de frottement & efficacité Reibwerte & Wirkungsgrad	$\mu = 0.002 \dots 0.01$
	Usure Verschleiß	
	Limite de la vitesse de rotation Drehzahlgrenze	
	Poids Gewicht	
	Fonctionnement de secours & autolubrification Notlaufeigenschaften & Selbstschmierung	Lubrification nécessaire Schmierung nötig
	Mouvements combinés Kombinierte Bewegungen Rotation - Translation	Unique Rotation (ou limite) Nur Rotation (oder begrenzt)
	Sensibilité aux chocs Stoß-Empfindlichkeit	
	Absorption des forces dans le sens axial et radial Kraftaufnahme in axialem und radialem Richtung	
	Précision dans le sens axial et radial Präzision in axialem und radialem Richtung	
	Petits mouvements rotatifs Kleine Rotationsbewegungen	
	Glissement par à-coups Ruckgleiten (stick-slip)	

Matériaux

Plastique chargé Soit PETP + fibre de verre ou carbone PTFE + particule de bronze + fibre carbone ▷ injecté → pas cher,

- ▷ imprégnés d'une fibre de verre ou carbone avec lubrifiants solides (PTFE,Pb)
- ▷ tous les lubrifiants possibles,
- ▷ Limitations : faible conductibilité thermique et grande dilatation

Acier ou bronze frittés imprégnés

- ▷ métaux compactés avec grande porosité (20% - 25%),
- ▷ imprégnés dans de l'huile,
- ▷ bonne conductibilité thermique,
- ▷ uniquement pour des charges relativement faibles.

Métal recouvert de matières synthétiques Combine les avantages des deux paliers précédents ▷ couche de métaux frittés avec un revêtement en PTFE ou plomb qui agit comme lubrifiant

Carbone

- ▷ carbone ou mélange carbone - plastique fritté,
- ▷ utilisable à sec ou lubrifié avec tous les lubrifiants,
- ▷ utilisable à haute température,
- ▷ uniquement utiliser dans les cas où d'autres paliers ne sont pas utilisables.

Céramique

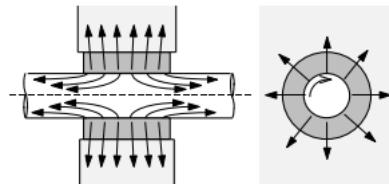
- ▷ même caractéristique que les paliers en carbone,
- ▷ résiste à des températures plus élevées.

Limite d'utilisation

Les limites d'utilisation des paliers lisses sont déterminées principalement par :

- ▷ la génération de chaleur
- ▷ l'évacuation de la chaleur
- ▷ la pression max. admissible

Evacuation de la chaleur :



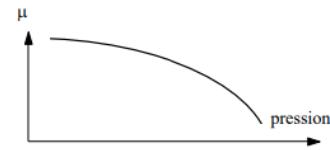
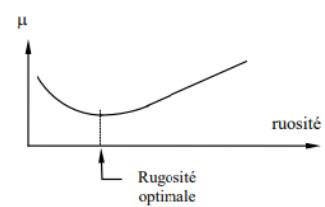
Un état stable en température peut être atteint. Il dépend de :

- ▷ la température max. admissible,
- ▷ coefficient de frottement,
- ▷ la résistance thermique du palier et de l'axe

Frottement

Le coefficient dépend des facteurs suivants :

- ▷ matériaux en contact,
- ▷ lubrification (plus faible si lubrifié),
- ▷ rugosité de l'axe,
- ▷ pression,
- ▷ usure.



Moment de frottement

$$M_{fr} = \mu \cdot N \cdot r$$

N = force normale

Valeur pv

Directement liée à la puissance perdue par frottement dans le palier. Si le pv est dépassée, les surfaces se détériorent sous l'effet de la température.

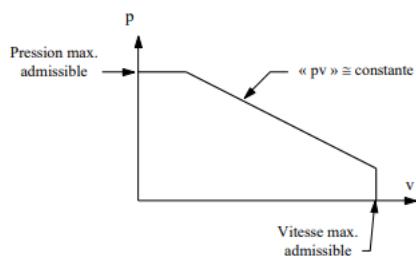
La valeur pv dépend de la température ambiante et de la lubrification.

$$pv = p * v$$

$$v = R * \omega = R * \frac{2 * \pi * N}{60}$$

p : pression dans le palier MPa = N/mm² 1Pa = 1N/m²

v : vitesse de déplacement



Calcul pression

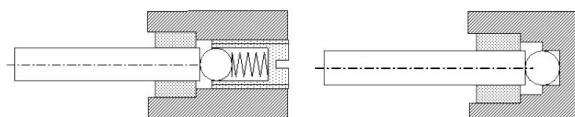
Flächenpressung $p = \frac{F}{A} = \frac{F}{l * b}$ 	Lagerpressung $p = \frac{F}{d * l}$
---	---

- ▷ température,
- ▷ rugosité de l'arbre,
- ▷ dureté de l'arbre,
- ▷ lubrifiant,
- ▷ jeu.

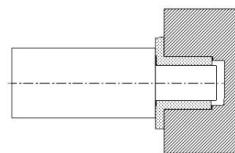
La durée de vie ne peut pas être calculée facilement à cause de la rapide évolution et la variété des paliers.

Conception

Inspirations | Inspirationen



- très faible frottement | sehr kleine Reibung für Axialkräfte
- axe trempé | gehärtete Welle



- frottement plus grand | grössere Reibung
- axe non trempé possible | möglich mit nicht gehärteter Welle

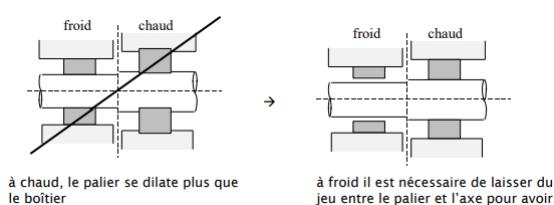
Puissance et énergie thermique

Chaleur dégagée: $Q = F_{fr} \cdot x$ en Joules

Puissance thermique dégagée: $P = F_{fr} \cdot v$ en Watt

Puissance thermique par surface $P_s = \mu \cdot \frac{N}{A} \cdot v$ en W/m^2

Dilatation



Durée de vie

La durée de vie dépend de :

- ▷ type de palier,
- ▷ pression,
- ▷ vitesse,

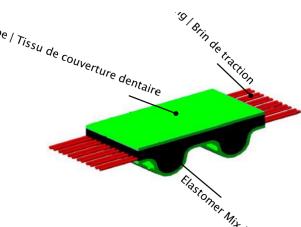
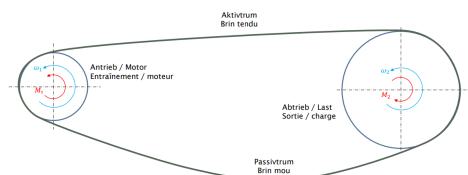
10.15 Tableau comparatif des paliers lisses

	Plastique chargé	Matériaux frittés + lubrifiants liquides	Douille métallique + lubrifiants solides	Carbone - Graphite	Céramique
composition	matrice plastique fibres lubrifiant solide	corps acier ou bronze fritté imprégné de lubrifiant liquide	corps acier ou bronze fritté recouvert de lubrifiant solide	structure carbone ou carbone - graphite	SiC Al2O3 ou ZrO2
pression max. dynamique (N/mm²)	20 - 200	20 - 45	55 - 70	5.5 - 50 lubrifié 100	
vitesse max. (m/s)	2	4 - 6	2 - 3	1.5 - 4	
« pv » sec (N/mm² m/s)	0.1 - 2	1.8	1.8	0.1 - 1.9	
« pv » lubrifié (N/mm² m/s)	0.5 - 5	1.8	3	max 15	
μ sec	0.1 - 0.4		0.1 - 0.25	0.1 - 0.3	
μ lubrifié	0.04 - 0.1	0.07	0.02 - 0.1	≤ 0.1	
température max. (°C)	100 - 250	dépend de l'huile → 250	110 - 280	350 200 si imprégné de plastique 2500 si pas d'O2	1350 - 1700
dilatation thermique <i>Wärmedehnung</i> ($\mu\text{m}/\text{K m}$)	20-70	acier 11-12 bronze 17-18	acier 11-12 bronze 17-18	2 - 6	4.5
conductibilité thermique <i>Wärmeleitzahl</i> (W/K m)	0.2 - 0.6	acier 42 bronze 70	acier 42 bronze 70	Carbone graphite : 7 - 20 (Elektro-graphit : 40 - 130)	SiC : 80 - 130 Al2O3 : 21
propriété électrique	isolant (éventuellement conducteur)	conducteur	conducteur	conducteur	isolant
coût	bon marché	bon marché	moyen	dépend de la quantité	dépend de la quantité

Courroies

Fonctionnement

$$P = \omega_1 * M_1 = \omega_2 * M_2$$

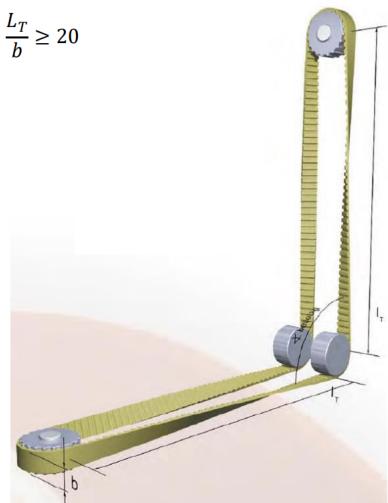


- ▷ Entraînement linéaire,
- ▷ Laminage de film,
- ▷ Convoyeur

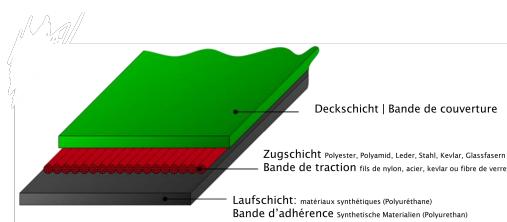
Catégorisation

	Flachriemen Courroies plates	Keilriemen Courroies trapézoïdales	Zahnriemen Courroies crantées	Ketten Chaines
Geeignete Drehzahlen Vitesses appropriées	Sehr hoch Très hautes	Hoch Hautes	Hoch Hautes	Tief Faibles
Synchronisation Synchronisation	Schlupf Glissement	Kaum Schlupf Peu de glissement	Kein Schlupf Pas de glissement	Kein Schlupf Pas de glissement
Übertragbares Moment Couple transmissible	Durch Gleiten definiert Défini par glissement	Durch Keil definiert Défini par une cale	Durch Riemen definiert Défini par la courroie	Durch Kette definiert Défini par la chaîne
Wirkungsgrad Rendement	Hoch Haut	Tief Faible	Sehr Hoch Très Haut	Mittel Moyen
Lagerlast Charges sur palier	Sehr hoch Très hautes	Hoch Hautes	Tief Faibles	Tief Faibles

$$\frac{L_T}{b} \geq 20$$

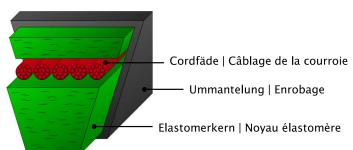


Courroies plates

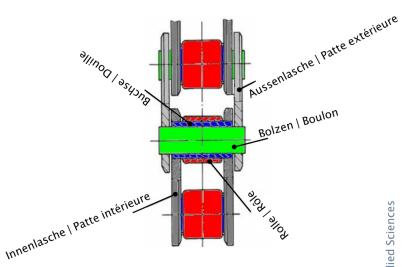


- ▷ La courroie n'a pas besoin d'être guidée latéralement, par contre les poulies doivent être bombées.

Courroies trapézoïdales



Chaînes



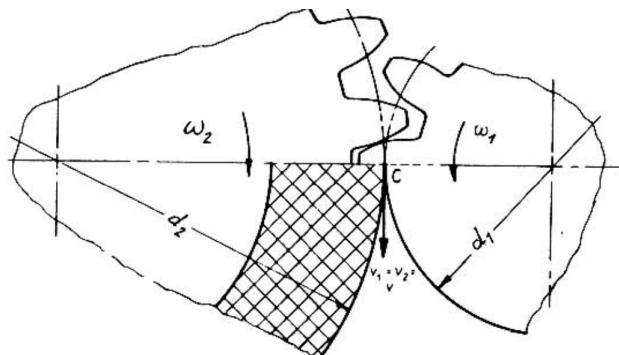
Courroies crantées

Engrenages

Rapport de transmission

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{z_2}{z_1}$$

ω_1, ω_2 : vitesse angulaire des roues 1 et 2;
 d_1, d_2 : diamètre primitif des roues 1 et 2;
 z_1, z_2 : nombre de dents des roues 1 et 2.



Types de transmission

- Arbres parallèles:**
- a) engrenage cylindrique à dents droites
 - b) engrenage cylindrique à denture hélicoïdale
 - c) engrenage à denture intérieure
 - d) roue et crémaillère (cas particulier de a)
- Arbres concourants:**
- e) engrenage conique droits
 - f) engrenage conique hélicoïdal
- Arbres gauches:**
- g) engrenage à denture hélicoïdale
 - h) vis sans fin
 - i) engrenage conique

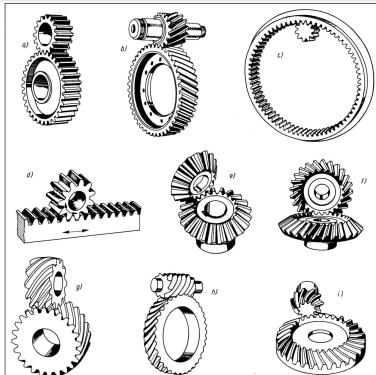


fig. 2 Diverses formes d'engrenages.

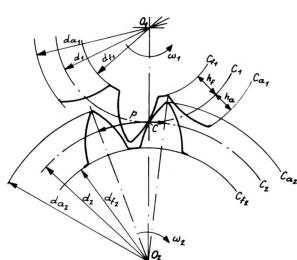
Conditions de fonctionnement

Condition 1

Les dentures doivent avoir le même pas, respectivement le même module.

- c = surface primitive
 c_t = surface de tête
 c_p = surface de pied
 d = diamètre primitif
 d_{ap} = diamètre de tête
 d_p = diamètre de pied
 p = pas
 z = nombre de dents

La denture de la roue 1 a le même pas p que celle de la roue 2. Le pas est mesuré sur la surface primitive.

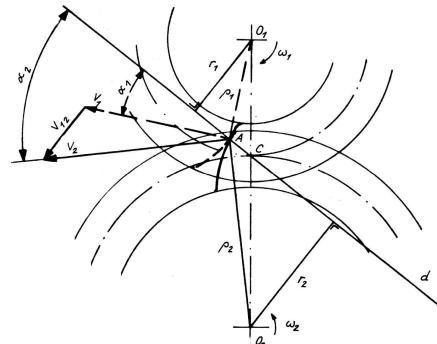


Condition 2

Les profils de dents sont des profils conjugués, c'est à dire que la normale aux profils aux points de contact passe par un point fixe.

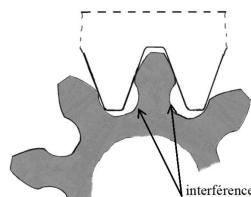
Condition 3

Le contact en D ne doit pas disparaître avant que le contact en A n'apparaisse.



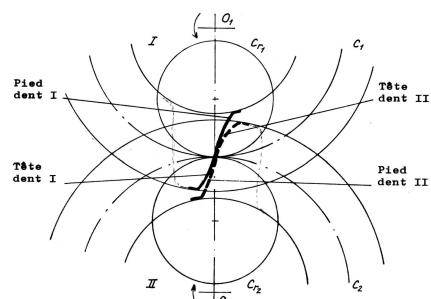
Condition 4

Les profils doivent être tels qu'il n'y ait pas d'interférences; c'est à dire que le contact entre les dents doit toujours s'effectuer tangentiellement et que les profils ne doivent pas pénétrer l'un dans l'autre.



Types de dentures

Profils cycloïdaux



Avantages

- Pratiquement, ces profils ne donnent pas lieu à d'interférence; ils permettent donc de réaliser des engrenages à petits nombres de dents.

- Le glissement est très faible.
- Les rayons de courbure des surfaces en contact sont du même côté des profils, ce qui conduit à une faible pression de contact.

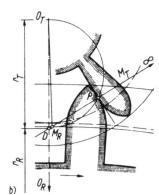
Inconvénients

- Le pied de la dent est étroit (résistance plus faible).
- Le taillage doit être effectué au moyen d'une fraise de forme unique.
- Grande sensibilité à la variation d'entraxe.

Avantages

- La base de la dent développante est plus large que celle de la dent cycloïde.
- Possibilité de réaliser le profil exact par génération.
- Le fonctionnement n'est pas altéré par une modification de l'entraxe; celui-ci n'a pas besoin d'être réalisé avec une grande précision.

Profil ogival



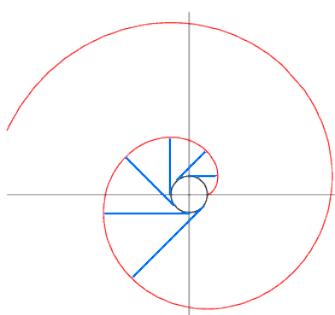
Avantages

- insensibilité aux variations d'entraxe.
- peu de pression sur les paliers.
- bon rendement.
- possibilité de faire des roues à très faible nombre de dents.
- permet de grands rapports de transmission.
- profils relativement simples à effectuer.

Inconvénients

- taillage par fraisage de forme : une fraise par module et par nombre de dents
- rapport de transmission instantané non constant.

Profil de développante du cercle



Méthode de construction

Planification

Suffisement de stress pour être booster mais pas trop pour limiter une bonne capacité à fonctionner.



"Les crises comme les défis nous font sortir de notre zone de confort et constituent un tremplin pour quelque chose de nouveau".

Conception

Mindmapping

The brain works by association and thinks in pictures and wholes. Mindmaps illustrate associative connections as well as the whole. Having a visual overview can help trigger additional thinking.

Six thinking hat

People have preferred thinking and communication styles and feel uncomfortable working outside their own style. By using the hats, these six different thinking styles are accepted and encouraged. This approach can help shy people contribute more effectively.

HAT	HEADLINE	USAGE
WHITE	Information	Asking for information from others.
BLACK	Judgment	Explaining why something won't work.
GREEN	Creativity	Offering possibilities, ideas.
RED	Intuition	Explaining hunches, feelings, gut senses.
YELLOW	Optimism	Being positive, enthusiastic, supportive.
BLUE	Thinking	Using rationalism, logic, intellect.

'With the White Hat on, I'd like to ask if anyone else knows about this.'

Brainstorming

Rules help the participants know how to behave. Idea generation requires broad thinking and encouraging a flow of ideas, no matter how good or bad they are - it's about the quantity.

6-3-5

In a group of 6 people (ideally). Have each person sketch 3 ideas on a piece of paper. After about 5 to 10 minutes each member exchanges papers with another. Next, everyone has a further 5 to 10 minutes to add to or improve their neighbours ideas. Repeat this 5 times, until all ideas have been seen and modified by all team members

Grille morphologique

Morphological Analysis works by using two common principles of creativity: decomposition and forced association. The problem gets broken down into component variables and possible values. The association principle is then used to 'force together' multiple combinations.

- Ausprägungen / Varianten
Expressions / Variantes

HAUPTBESTANDTEILE				
ZIELGRUPPE	GESCHÄFTSPERSONEN	JUGENDLICHE	ÄLTERE MENSCHEN	
ZU MARKIERENDE GEGENSTÄNDE	Schlüssel	MOBILTELEFON	PDA / LAPTOP	SPIELSACHEN
MARKIERUNGSKRITIK	METALLMARKE	KLEBEETIKETTE	MAGNET	AUFDRUCK
IDENTIFIKATION	EINDEUTIGE NUMMER	BARCODE	CHIP	RFID
RÜCKGABEWEG	PERSONLICHE RÜCKGABE → FINDER AN VERLÄUFIGER	VERSAND ÜBER EINE VERMITTLUNGSSTELLE	RÜCKGABE PER POST	
BELOHNUNG FÜR FINDER	KEINE BELOHNUNG	FIXE BELOHNUNG CHF 50	FREE WÄHLBARE BELOHNUNG	1/4 DES NEUPREISES
GÜLTIGKEIT DER DIENSTLEISTUNG	NUR SCHWEIZ	EUROPA	WELTWEIT	INNOVATIVES MODELL

Choix du concept

Voting

L'équipe vote sur la meilleure idée

1000 francs

Chacun reçoit 1000 CHF à investir dans les concepts.

Concept Evaluation process

Technical feasibility

- Reliability
- Complexity

Business viability

- Production costs
- (time, material costs, Innovation degree)

Customer desirability

- User acceptance
- Is there a market?

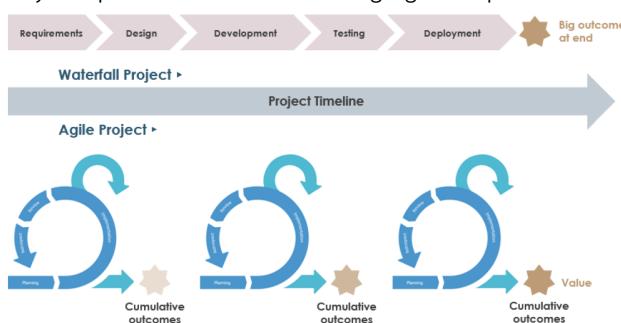
	Concept 1	Concept 2	Concept 3

Processus de développement de produit

Il est important d'investir beaucoup tout au début du processus pour partir dans la bonne direction.

Waterfall

Especially for large, complex projects with very specific and unchanging requirements.

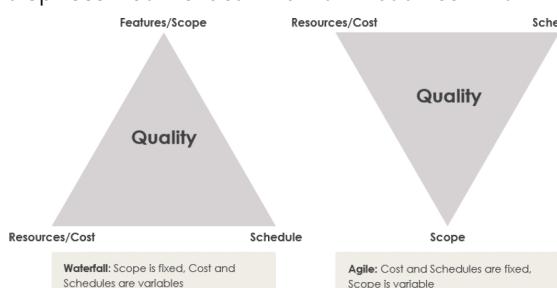


Avantage: A predictable and well-specified final product, Well-defined roles and responsibilities, Precise project plans and firm deadlines

Inconvénient: Lack of flexibility after a specification, Too long until bugs are discovered since testing doesn't occur until the large project is complete, Too many gaps between innovations reaching the market

Agile

A utiliser pour innover ou atteindre un nouveau marché potentiel. Dans des petites entreprises où chacun à un but commun (fort).

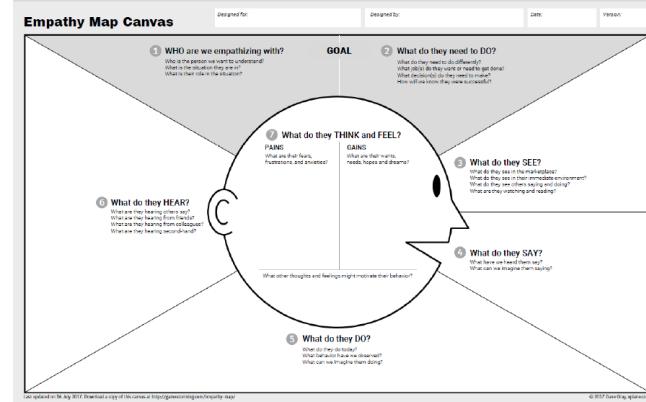


Avantage: participation forte du client, réponse rapide aux changements, beaucoup de tests, deadline flexibilité, rigid cadence

Inconvénient: Loose planning can lead to unpredictable finished product and date slippage, Relentless pace, Susceptible to a lack of focus

Design thinking

1. **Empathise** Se mettre à la place, comprendre les besoins et observé

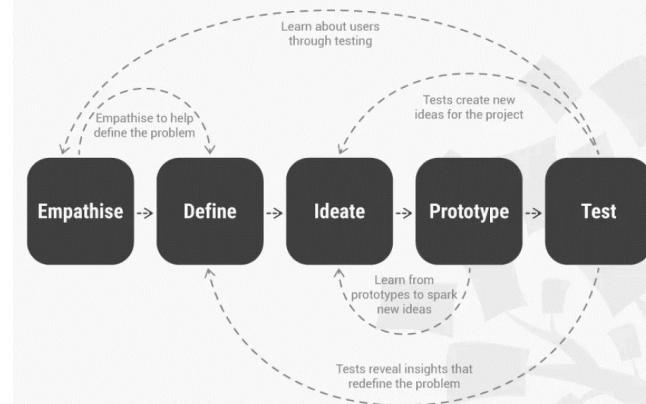


2. **Define** Rassembler les informations, analyser, définir le problème centré sur l'humain

3. **Ideate** Brainstorming, mindmapping, worst possible idea, Focaliser et condenser les idées

4. **Prototype** Faire plusieurs itération (agile workflow), mieux comprendre les contraintes, vision plus claire

5. **Test** Tester rigoureusement le produit complet en utilisant les meilleures solutions identifiées



Design overview

