

Éléments 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 \Leftrightarrow travail parallèle dans un groupe permet de créer des listes de pièces précises et exhaustives.

Représentation complète d'un produit

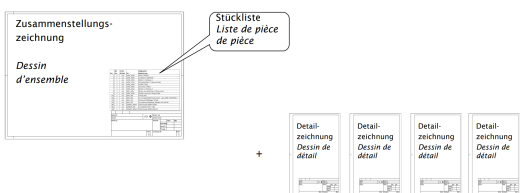
Variante 1

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.

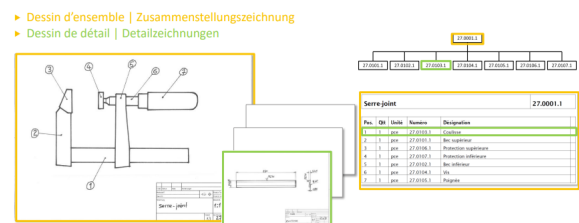


Numéros de dessins

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.).

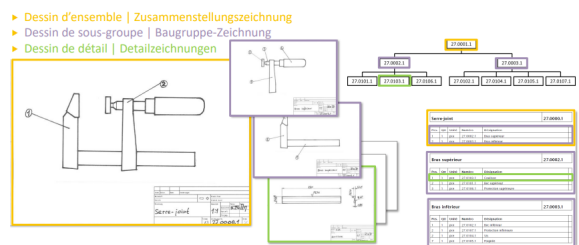
Structure horizontale

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 pastique 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 | | | | | | |
|--------------------------------|---|--|--|--------|---|---|
| Perçage 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 conducteurs, trempés con- 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

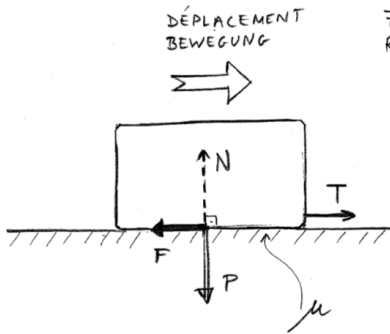
| | | | | | | |
|--|---|--|--------|-------------------|--|---|
| Par abrasion | | | | | | |
| Rectifiage Schleifen Grinding | consiste à « frotter » la pièce avec une meule fine pour améliorer l'état de surface | acier trempé | Ra 0.8 | petites à moyenne | - | - |
| Honage Honen Honing | consiste à « 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, Compos-ites, 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, Bio-mimétisme, Marquage au LASER |

Frottements

Trouver le coefficient de frottement statique avec un objet sur un plan incliné : $\mu_0 = \tan(\alpha_{\text{limite}})$

Si l'objet se déplace à vitesse constante alors le coefficient dynamique est $\mu = \tan(\alpha)$

Loi de coulomb

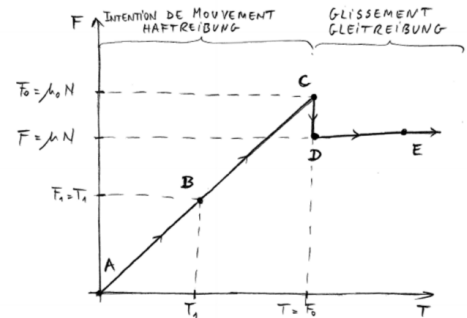


FORCE DE FROTTEMENT
REIBUNGSKRAFT

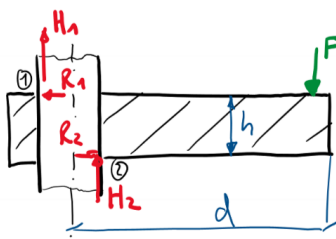
$$F = \mu N$$

COEFFICIENT DE FROTTEMENT
REIBUNGS-KOEFFIZIENT

FORCE NORMALE
NORMAL KRAFT



Arc-boutement



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

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

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

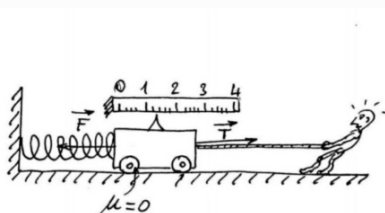
$$\rightarrow H = F/2 \leq R \cdot \mu_0$$

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

Il y a blocage si:

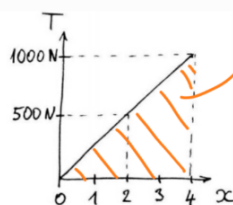
$$h \leq 2 \cdot \mu_0 \cdot d$$

Hystérésis

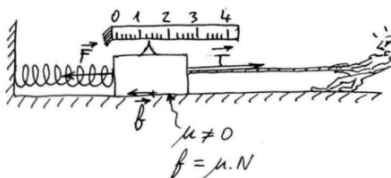


$$T = F$$

$$F = kx$$



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



SENS ①

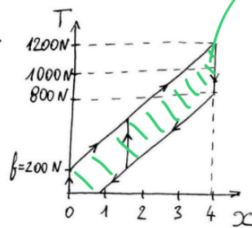
$$T = F + f$$

$$F = k \cdot x$$

SENS ②

$$T = F - f$$

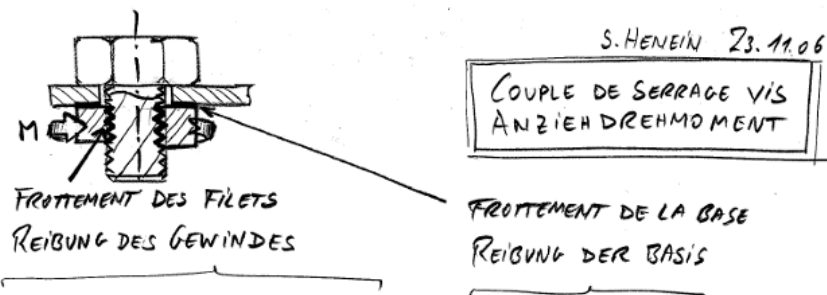
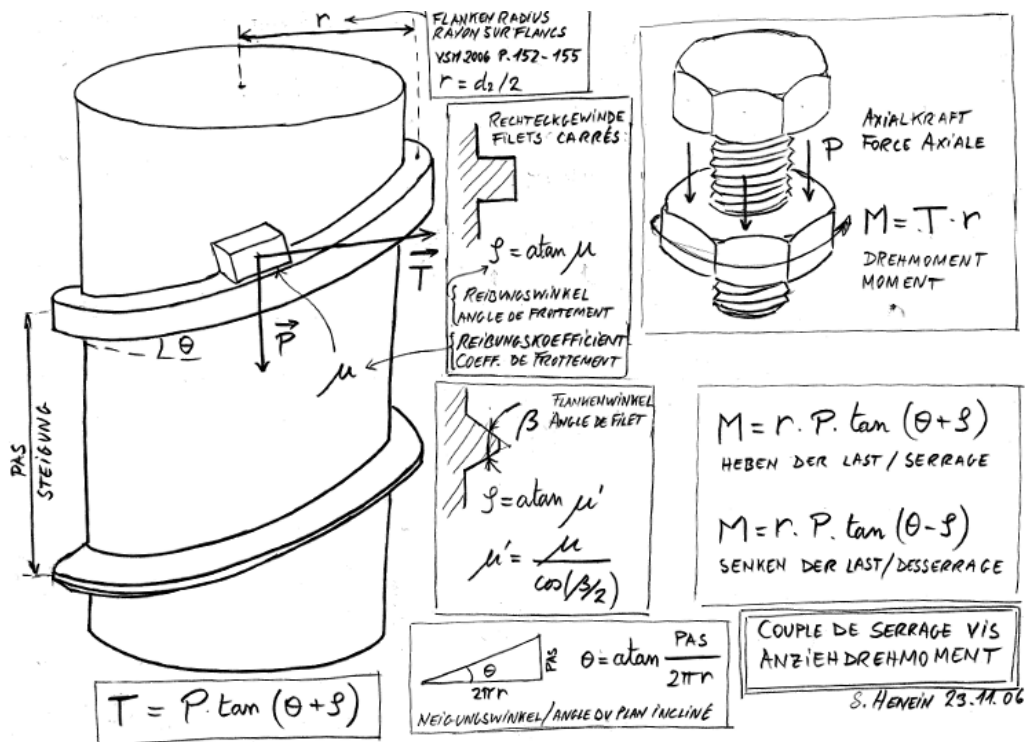
$$F = k \cdot x$$



(chaleur)
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



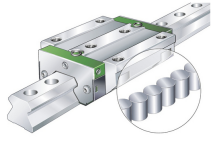
$$M = r \cdot P \cdot \tan(\theta \pm \phi) + \mu_b \cdot P \cdot r_m$$

θ → NEIGUNGSWINKEL / ANGLE DU PLAN INCLINÉ
 $\theta = \alpha \tan \frac{\text{PAS}}{2\pi r}$
 ϕ → REIBUNGSWINKEL / ANGLE DE FROTTEMENT
 $\phi = \alpha \tan \mu$
 μ → REIBUNGSKOEFFIZIENT DER BASIS / COEFF. FROTTEMENT DE LA BASE
 μ_b → REIBUNGSKOEFFIZIENT DER BASIS / COEFF. FROTTEMENT DE LA BASE
 r → FLANKENRADIUS : VSM 2006 P. 152-155 / RAYON SUR FLANGES : $r = d_2/2$
 r_m → REIBUNGSRADIUS / RAYON DE FROTTEMENT
 $r_m = \frac{2}{3} \frac{r_o^3 - r_i^3}{r_o^2 - r_i^2}$

MOMENT DE SERRAGE OU DESERRAGE
 DREHMOMENT HEBEN ODER SENKEN DER LAST

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:

$$L = (C/P)^3 \cdot 10^6 \text{ m} \quad L = \text{nominal life (m)}$$

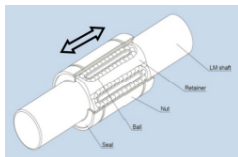
Operational life calculation in hours

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

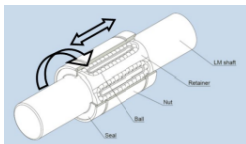
L_h = nominal life (h)
 s = stroke length (m)
 n = stroke frequency (min⁻¹)
 v_m = average traversing speed (m/min)

Douilles à recirculation de billes

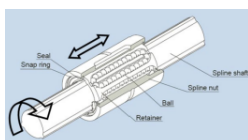
Douilles pour mouvements linéaires uniquement :



Douilles pour mouvements linéaires et de rotation :



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



Douilles ouvertes



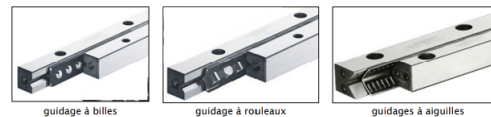
Il faut encore distinguer les douilles auto-alignantes.

Conception

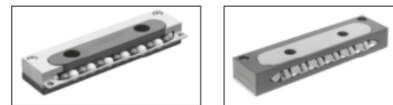
Les règles à respecter sont environs les mêmes que pour les chariots à recirculation de billes. Le parallélisme des axes de guidage et des logements des douilles doivent être scrupuleusement respectés.

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

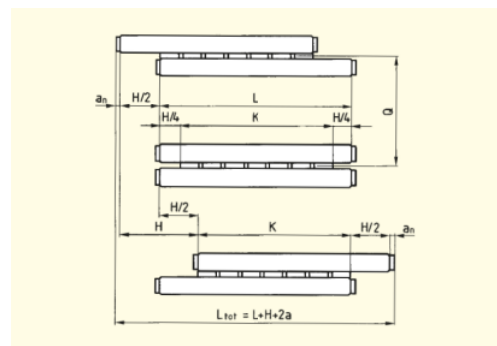


Guidages à billes pour axes cylindriques



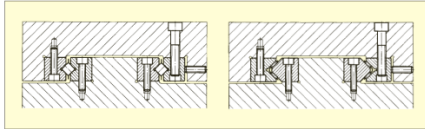
Conception

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.



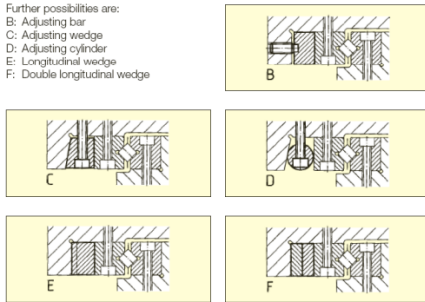
L'utilisation de ces guidages est relativement délicate car ils doivent être soumis à une certaine précontrainte. Celle-ci sera réalisée à l'aide de vis de réglage avec appui direct, ou indirect.

Assemblage avec vis de réglage directement en contact avec le rail



Détails d'autres possibilités

Further possibilities are:
 B: Adjusting bar
 C: Adjusting wedge
 D: Adjusting cylinder
 E: Longitudinal wedge
 F: Double longitudinal wedge



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

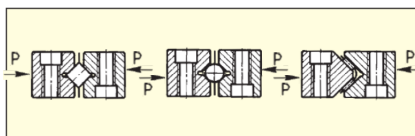
C_{tot} = capacité en N des billes/rouleaux qui prennent la charge

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

Procédure de calcul

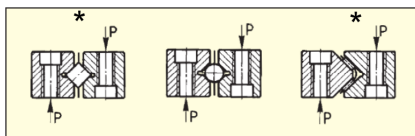
Répartition homogène de la charge

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 où se trouve la force (voir diagramme du fournisseur)
3. Calculer la force de réaction
4. Calculer la durée de vie avec $C = C_{bille} * R_{T_{tot}}$ 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

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

Number of rolling elements per cage KBS

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

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_c = 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_{Tmin} = Correction factor dependent on rolling element

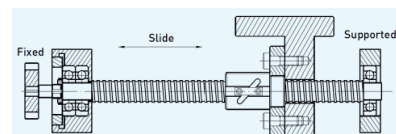
δ_A = Deformation in μm

Vis à billes

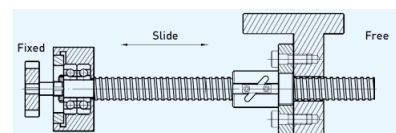


Conception

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 lorsque :

- ▷ 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 privilégie les roulements. Les paliers réduisent beaucoup la complexité et le coût d'une construction.

| Paliers lisses Gleitlager | Critères de choix Auswahl-Kriterien | Roulements Wälzlager |
|-----------------------------|--|---|
| Ø L | Dimensions d'implémentation Einbaumaße | Ø L |
| | Prix Preis | |
| | 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 Notlauf-eigenschaften & Selbstschmierung | Lubrification nécessaire Schmierung nötig |
| | Mouvements combinés Kombinierte Bewegungen Rotation - Translation | Uniqu. Rotation (ou limite) Nur Rotation (oder begrenzt) |
| | Sensibilité aux chocs Stoß-Empfindlichkeit | |
| | Absorption des forces dans le sens axial et radial Kraftaufnahme in axialer und radialer Richtung | |
| | Précision dans le sens axial et radial Präzision in axialer und radialer 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

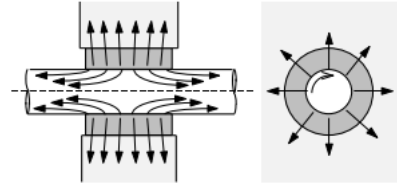
- ▷ même caractéristique que les paliers en carbone,
- ▷ résiste à des températures plus élevées.

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 :



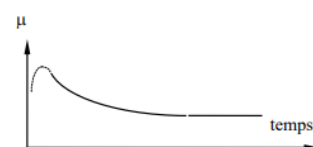
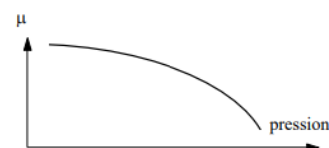
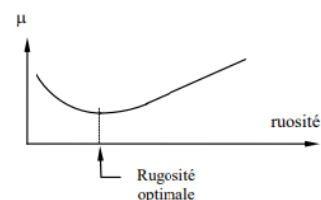
Un état stable en température peut être atteint. Il dépend de :

- ▷ 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 p_v

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

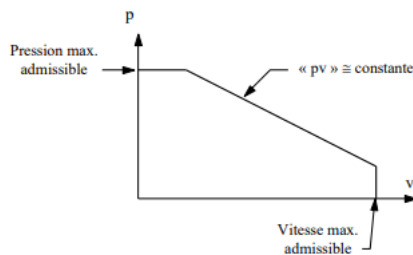
La valeur p_v dépend de la température ambiante et de la lubrification.

$$p_v = p * v$$

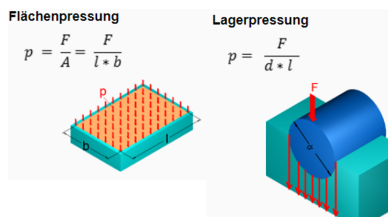
$$v = R * \omega = R * \frac{2 * \pi * N}{60}$$

p : pression dans le palier $MPa = N/mm^2$ $1Pa = 1N/m^2$

v : vitesse de déplacement



Calcul pression



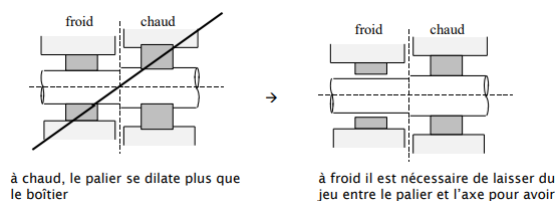
Puissance et énergie thermique

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 :

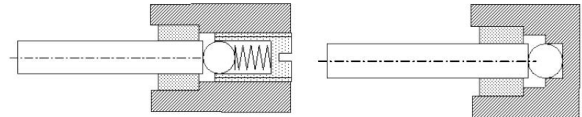
- ▷ type de palier,
- ▷ pression,
- ▷ vitesse,

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

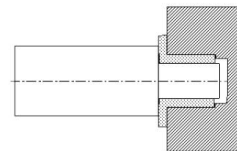
La durée de vie ne peut pas être calculée facilement à cause de la rapide évolution et la variété des paliers.

Conception

Inspirations | Inspirationen



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



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

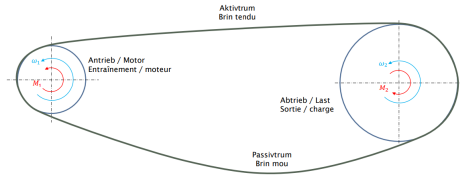
10.15 Tableau comparatif des paliers lisses

| | 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 Al ₂ O ₃ ou ZrO ₂ |
| 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'O ₂ | 1350 - 1700 |
| dilatation thermique <i>Wärmedehnung</i> (μm/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 Al ₂ O ₃ : 21 |
| propriété électrique | isolant (év. faiblement conducteur) | conducteur | conducteur | conducteur | isolant |
| coût | bon marché | bon marché | moyen | dépend de la quantité | dépend de la quantité |

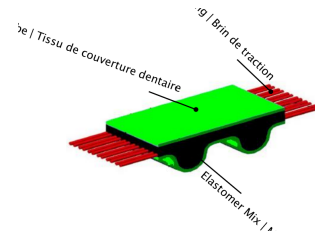
Courroies

Fonctionnement

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

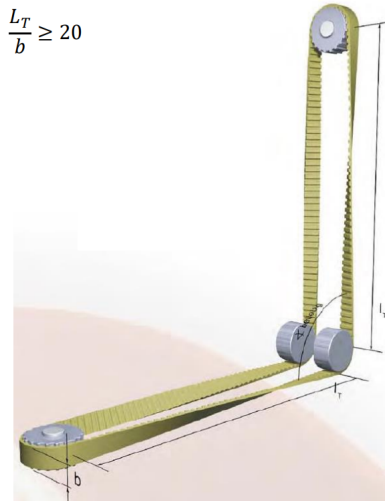


- ▷ Entraînement linéaire,
- ▷ Laminage de film,
- ▷ Convoyeur



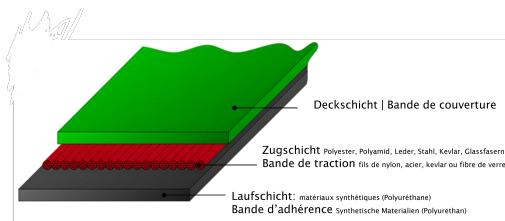
Catégorisation

| | Flachriemen Courroies plates | Keilriemen Courroies trapézoïdales | Zahnriemen Courroies crantées | Ketten Chaînes |
|--|--|---|--|---|
| Geeignete Drehzahlen Vitesses appropriées | Sehr hoch Très hautes | Hoch Hautes | Hoch Hautes | Tief Faibles |
| 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 |



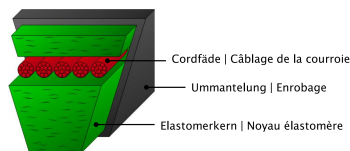
$$\frac{L_T}{b} \geq 20$$

Courroies plates

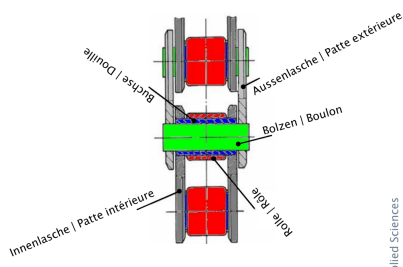


- ▷ La courroie n'a pas besoin d'être guidée latéralement, par contre les poulies doivent être bombées.

Courroies trapézoïdales



Chaînes



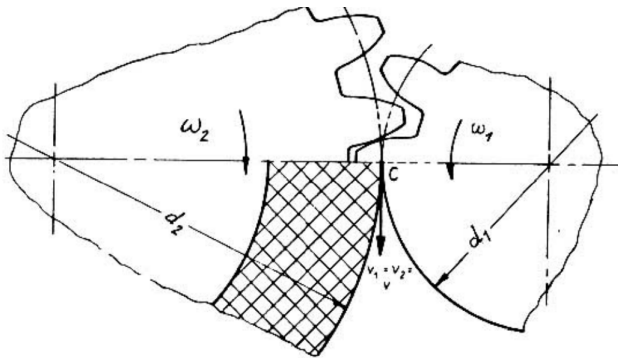
Courroies crantées

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.

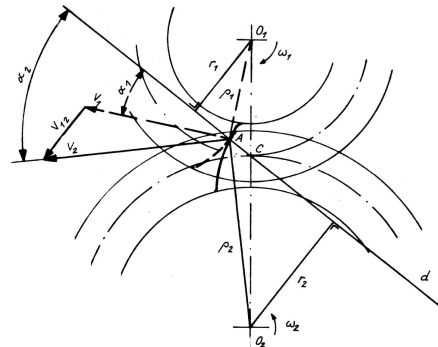


Condition 2

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.

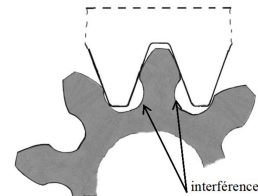
Condition 3

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 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

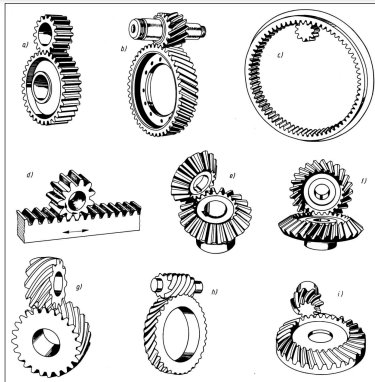


fig. 2 Diverses formes d'engrenages.

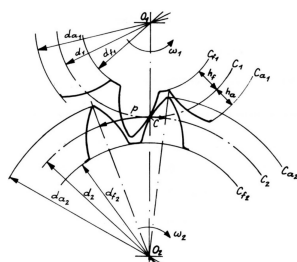
Conditions de fonctionnement

Condition 1

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

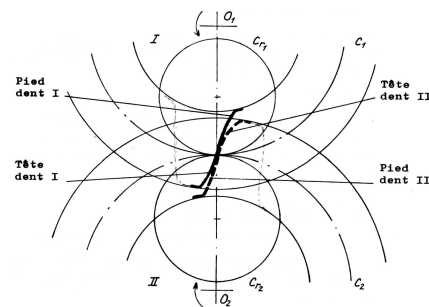
c = surface primitive
 c_s = surface de tête
 c_f = surface de pied
 d = diamètre primitif
 d_s = diamètre de tête
 d_f = diamètre de pied
 p = pas
 z = nombre de dents

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.



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.

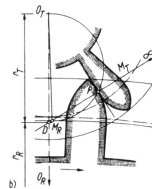
Inconvénients

- ▶ 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



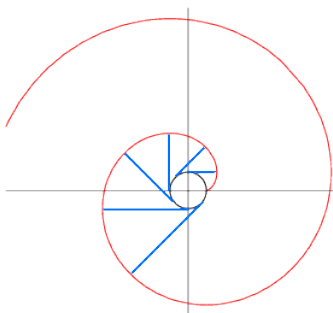
Avantages

- ▶ 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.

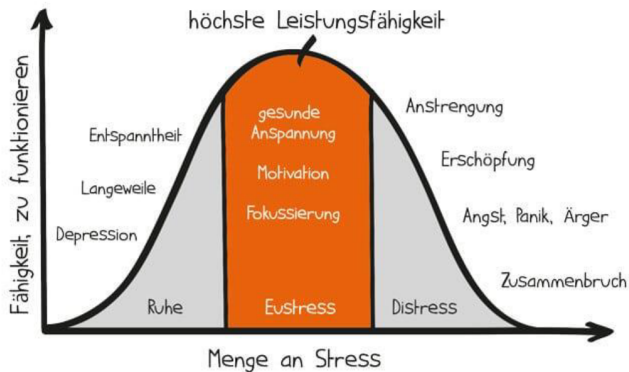
Profil de développante du cercle



Méthode de construction

Planification

Suffisamment 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

Suchfelder der Ideenfindung
Zones de recherche d'idées

| HAUPTBESTANDTEILE | GESCHÄFTLEUTE | JUGENDLICHE | ÄLTERE MENSCHEN | |
|-------------------------------|---|---|----------------------------|-----------------------|
| ZIELGRUPPE | SCHLÜSSEL | MOBILTELEFON | PDA / LAPTOP ETC. | SPIELSACHEN |
| ZU MARKIERENDE GEGENSTÄNDE | SCHLÜSSEL | MOBILTELEFON | PDA / LAPTOP ETC. | SPIELSACHEN |
| MARKIERUNGART | METALLMARKE | KLEBEETIKETTE | MAGNET | AUFDRUCK |
| IDENTIFIKATION | EINDEUTIGE NUMMER | BARCODE | CHIP | RFID |
| RÜCKGABEWEG | PERSÖNLICHE RÜCKGABE → FINDER AN VERLIERER | RÜCKGABE ÜBER EINE VERMITTLUNGS- STELLE | RÜCKGABE PER POST | |
| BELÖHNUNG FÜR FINDER | KEINE BELÖHNUNG | FIXE BELÖHNUNG CHF 50 | FREI WÄHLBARE BELÖHNUNG | 1/4 DES NEUPREISES |
| GÜLTIGKEIT DER DIENSTLEISTUNG | NUR SCHWEIZ | EUROPA | WELTWEIT | |

KLASSISCHES MODELL 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?

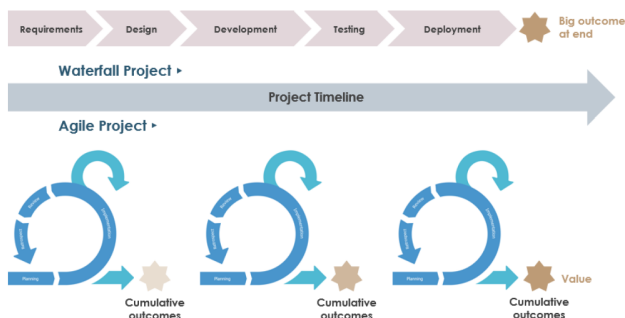
| | Concept 1 | Concept 2 | Concept 3 |
|--|-----------|-----------|-----------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |

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.

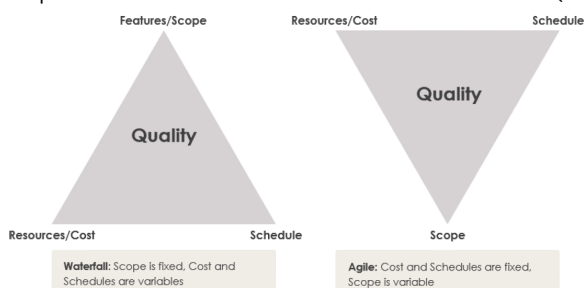


Avantage: A predictable and well-specified final product, Well-defined roles and responsibilities, Precise project plans and firm deadlines

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 ou chacun à un but commun (fort).

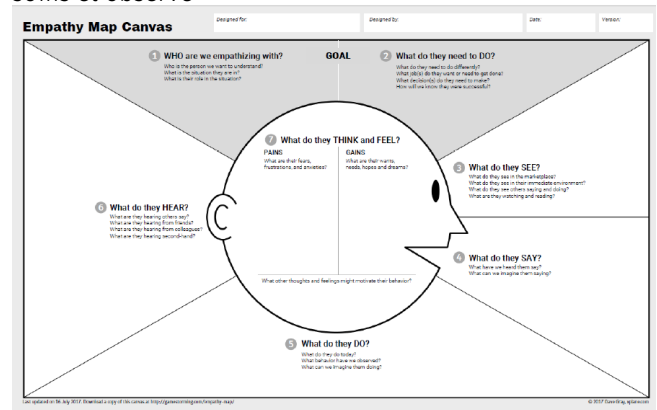


Avantage: participation forte du client, réponse rapide aux changements, beaucoup de tests, deadline flexibilité, rigid cadence

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

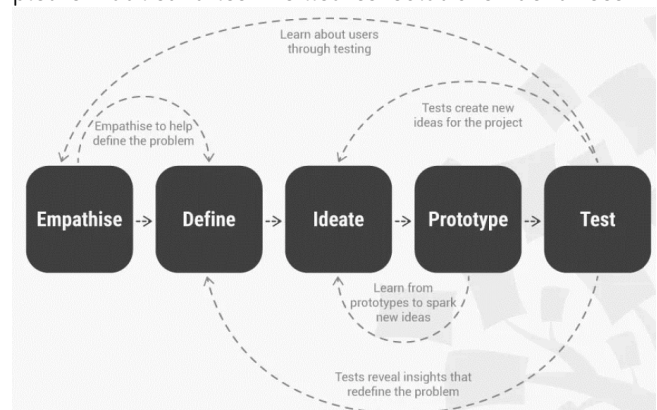


2. **Define** Rassembler les informations, analyser, définir le problème centré sur l'humain

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

