

Conception & Analyse

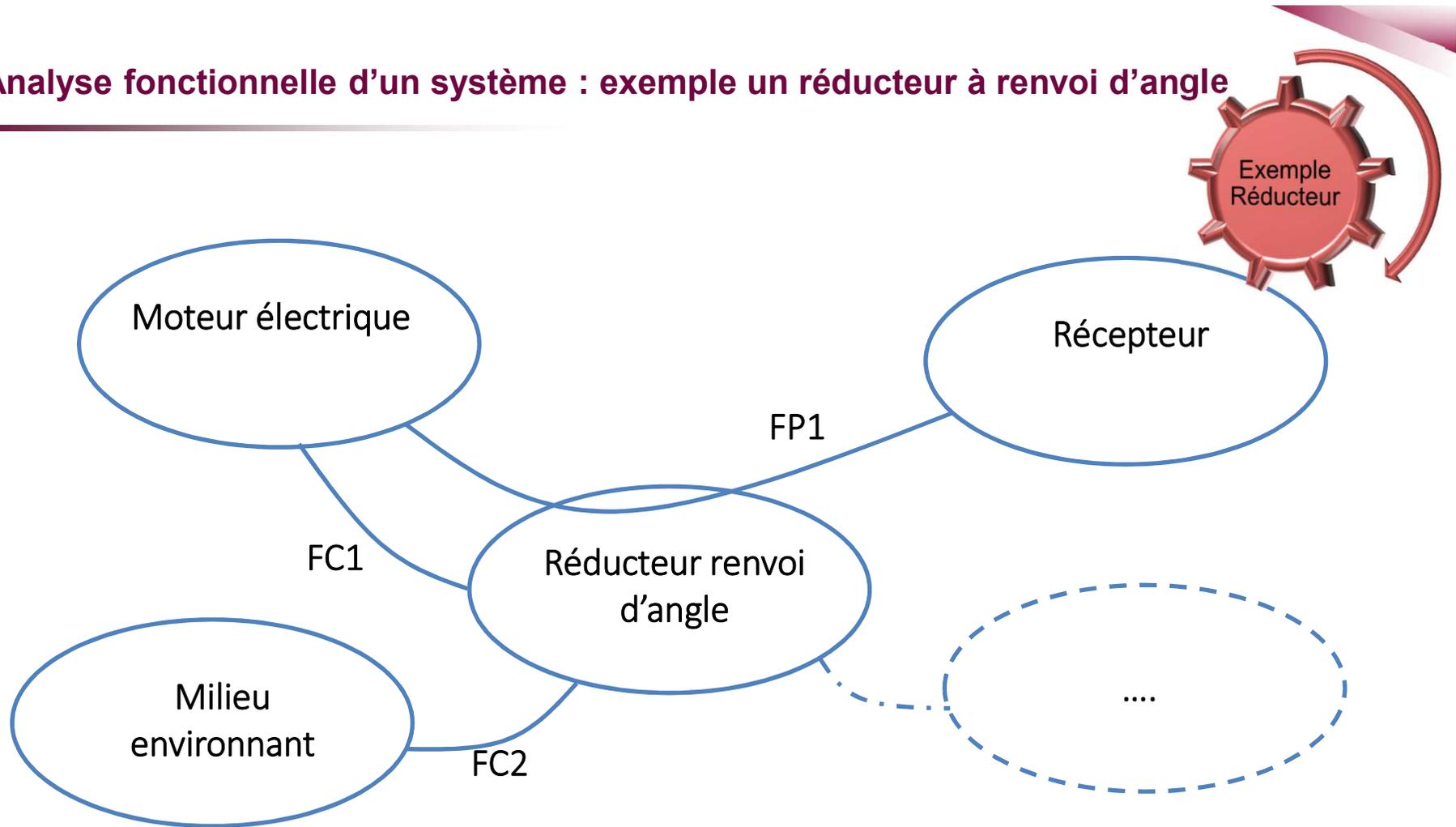
Démarche de conception

Équipe pédagogique CONAN

Objectifs

- Passer du modèle au réel : à partir d'un **schéma cinématique**, concevoir un système mécanique :
 - Définir les **fonctions** à remplir
 - Identifier les **surfaces fonctionnelles** et composants permettant de remplir ces fonctions
- Appliquer une démarche de conception de liaison basée sur les fonctions attendues
- Choisir et décrire les surfaces de mise en position
- Choisir et décrire les éléments de maintien en position
- *Tenir compte des pertes énergétiques au sein d'une liaison afin d'en améliorer dès la conception les performances environnementales en phase d'usage*
- *Proposer une lubrification et une étanchéité compatibles avec les performances attendues*

Analyse fonctionnelle d'un système : exemple un réducteur à renvoi d'angle



FP1 : Transmettre une puissance mécanique entre un moteur électrique et un récepteur mécanique

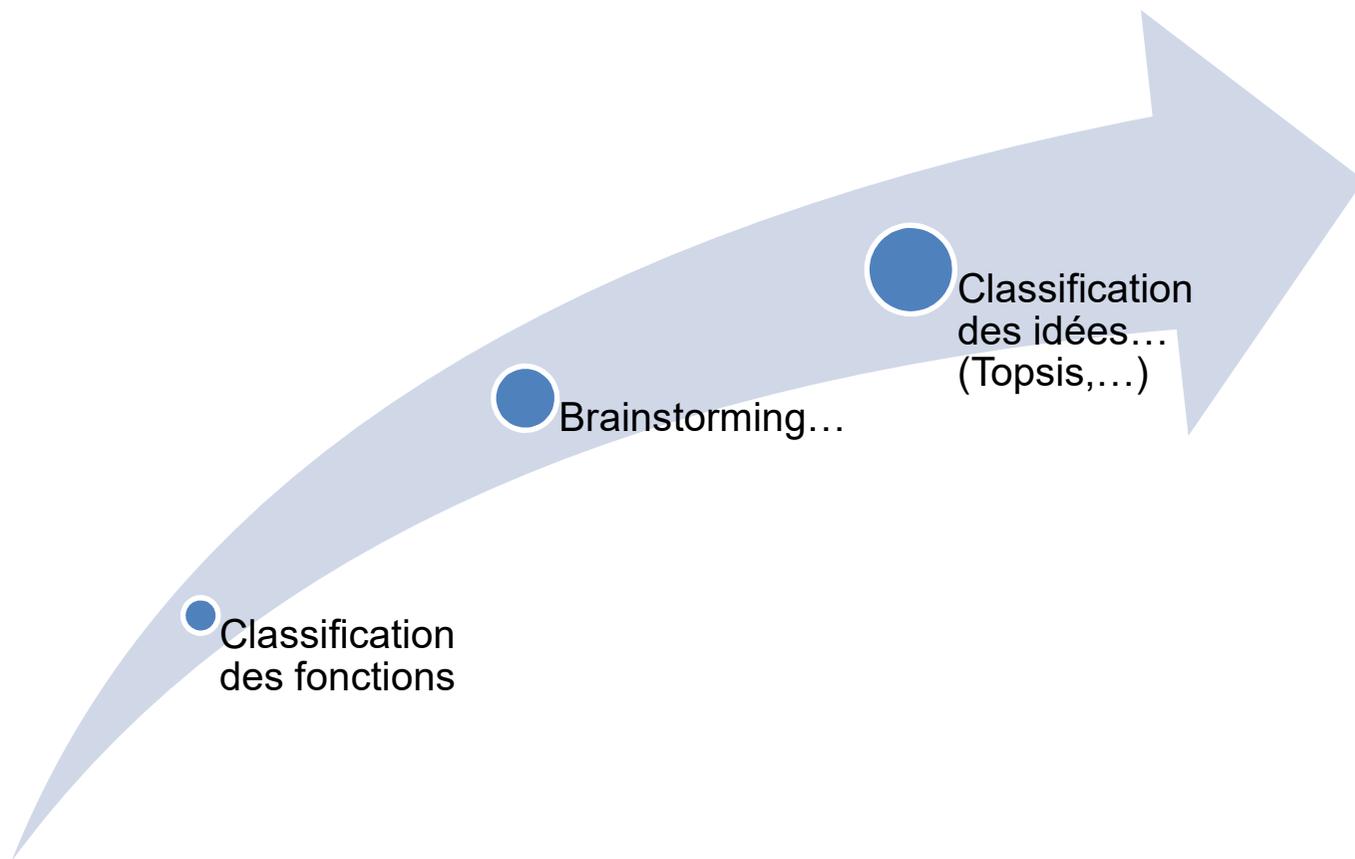
....

FC1 : S'adapter à la transmission par courroie du moteur

FC2 : Assurer une étanchéité du réducteur

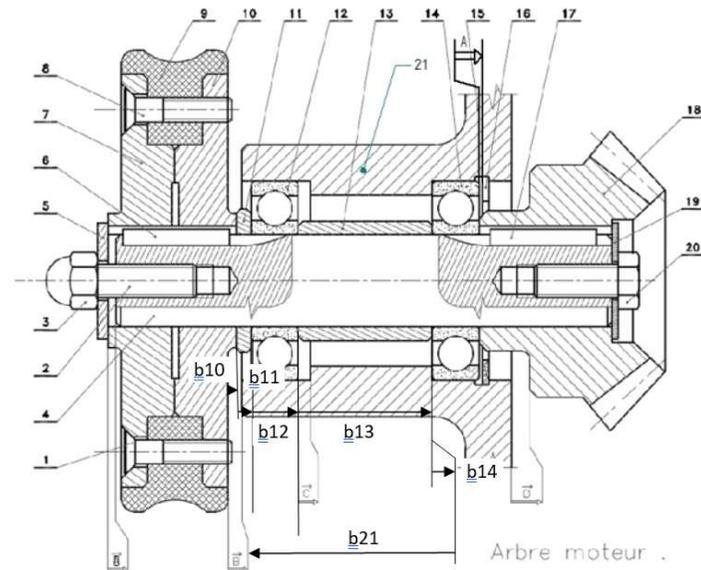
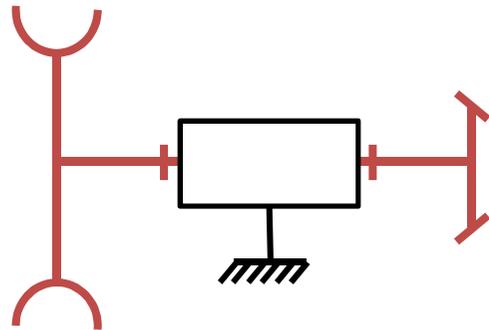
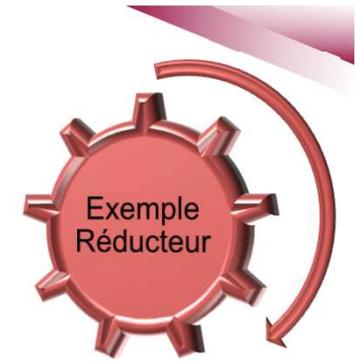
....

Analyse fonctionnelle d'un système : exemple un réducteur à renvoi d'angle



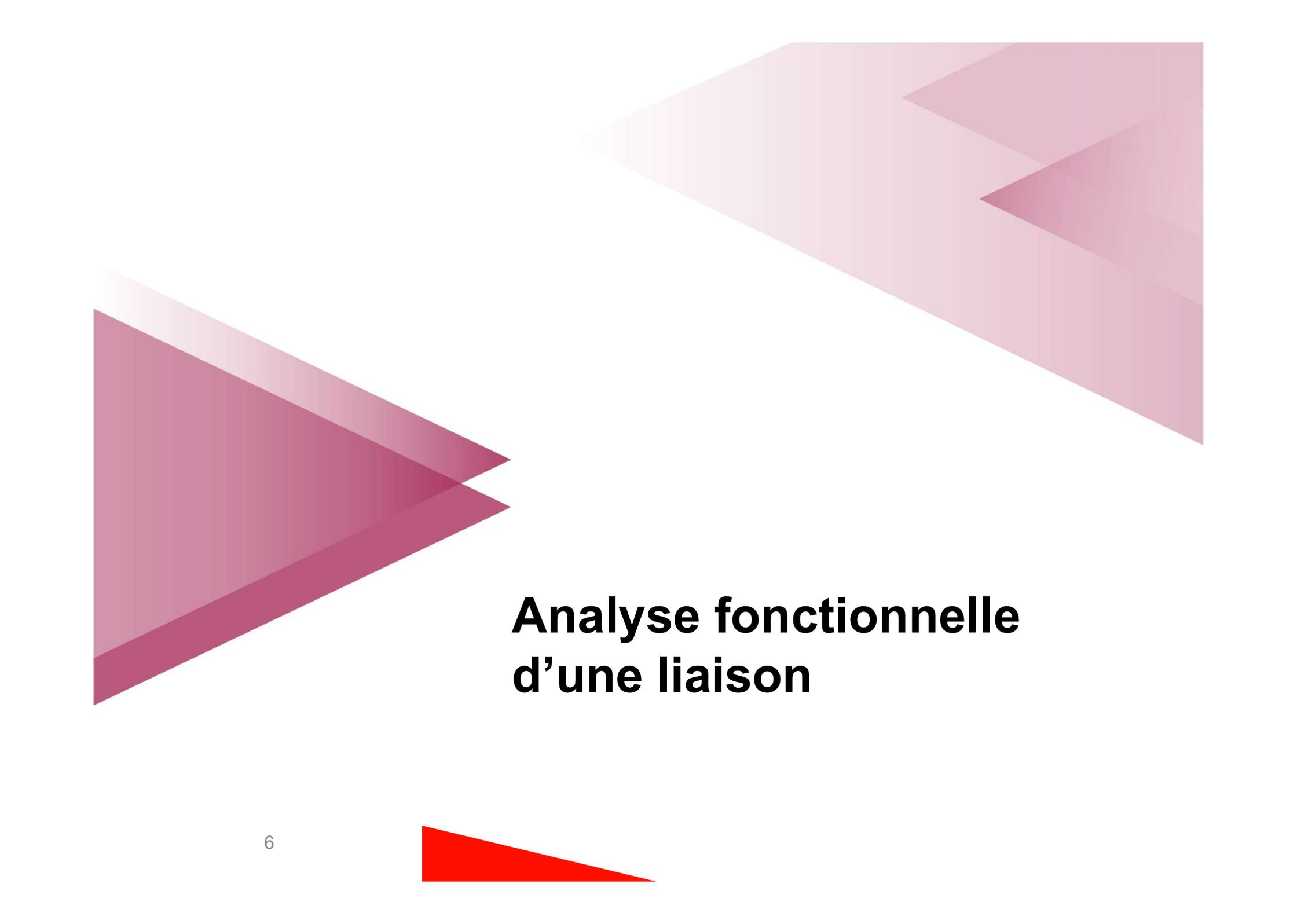
Objectifs

Démarche de conception



Exigences attendues minimales d'une conception :

- Fonctionnement cinématique
- Fonctionnement en puissance (efforts, vitesses)
- Fabrication
- Montabilité

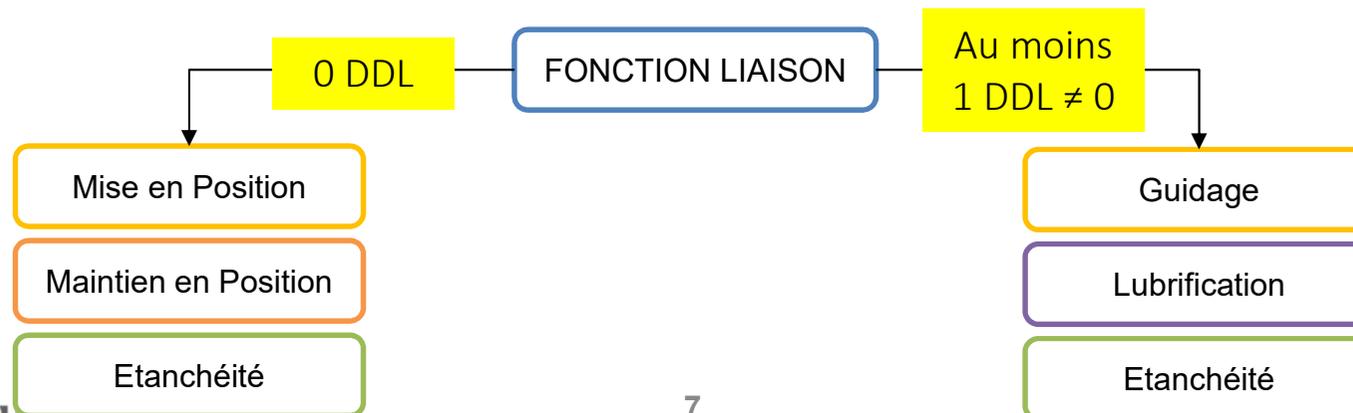


Analyse fonctionnelle d'une liaison

Fonctions d'une liaison

La fonction liaison résulte de la réalisation de plusieurs sous-fonctions décrites par plusieurs critères et niveaux :

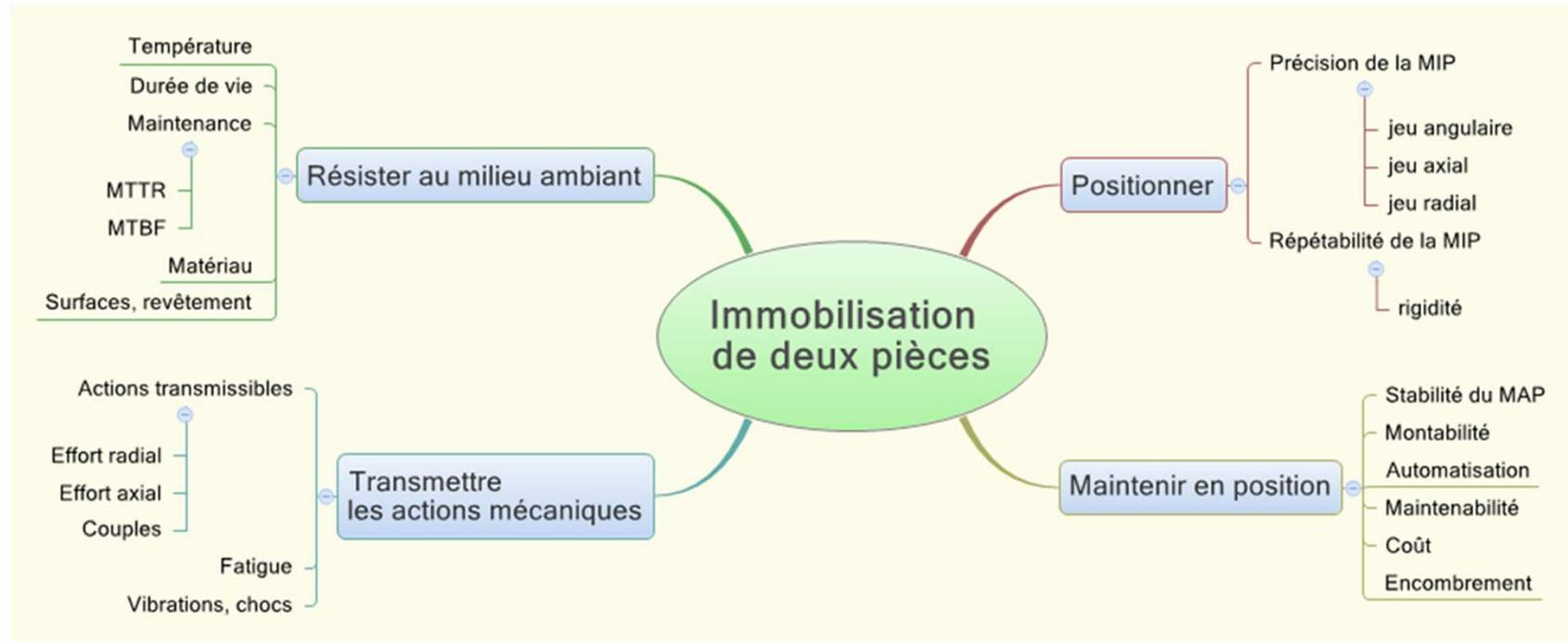
- Liaison complète : Mise en Position (MIP) complète ou partielle et maintien en position (MAP). *Défauts tolérés ? Dilatation ? Hyper ou isostatisme ?*
- Liaison autre que complète : Guidage : trajectoire d'une pièce par rapport à une autre. *Efforts supportés ? Précision du guidage ? Rattrapage du jeu ?*
- Rendement / lubrification : limiter les frottements, l'usure des pièces, augmenter la durée de vie et les performances environnementales. *Pression de contact ? Vitesse relative ? Température ? Matériaux ? Etat des surfaces ?*
- Protection et étanchéité : Contrôle les fuites de l'intérieur vers l'extérieur (fluide sous pression, particules d'usure...) ou empêche les éléments étrangers de pénétrer à l'intérieur. *Qu'est ce qui est à contrôler ? Sa pression ? Sa température ?*



Cahier des charges de liaisons complètes

La fonction liaison résulte de la réalisation de plusieurs sous-fonctions décrites par plusieurs critères et niveaux :

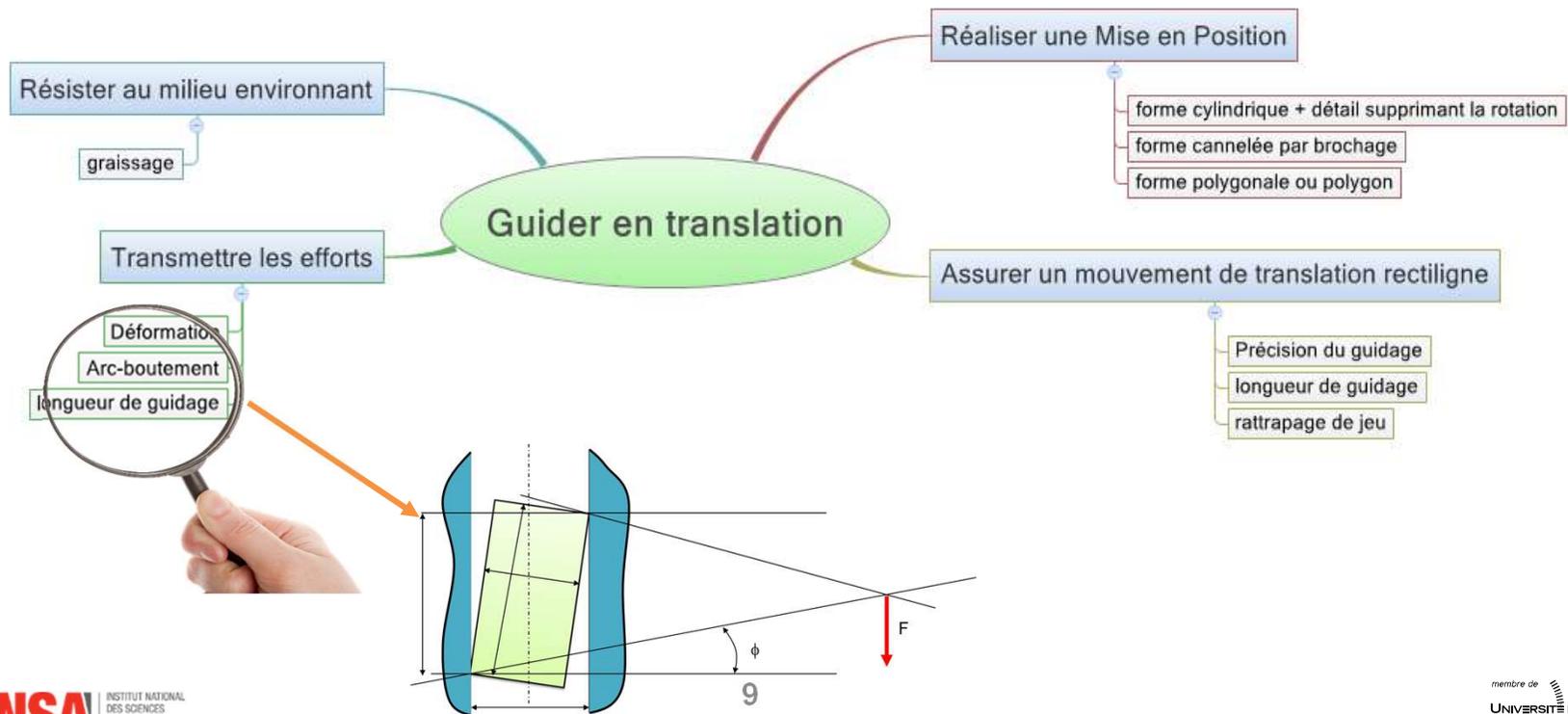
- Liaison complète : Mise en Position (MIP) complète ou partielle et maintien en position (MAP). *Défauts tolérés ? Dilatation ? Hyper ou isostatisme ?*



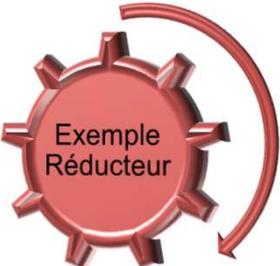
Cahier des charges de liaisons à ddl non nul

- Liaison autre que complète : Guidage : trajectoire d'une pièce par rapport à une autre. Efforts supportés ? Précision du guidage ? Rattrapage du jeu ?

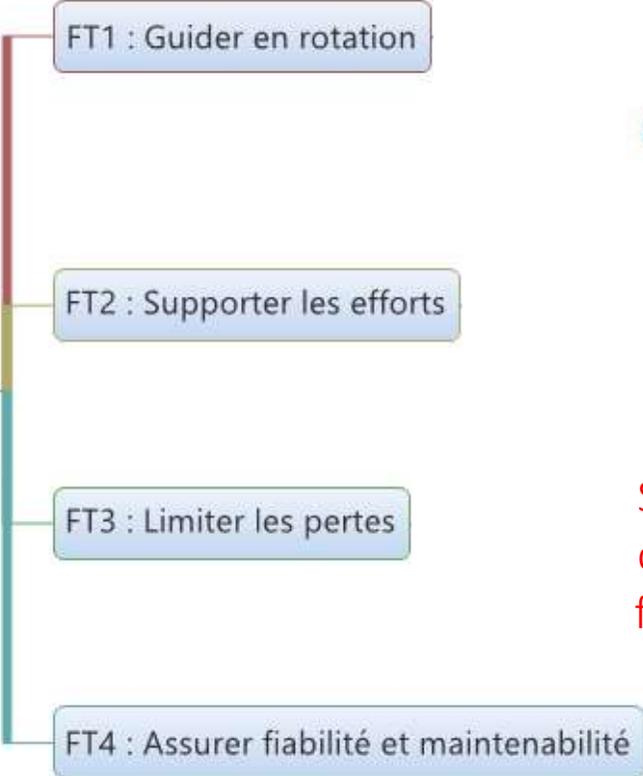
Exemple pour une liaison glissière :



Cahier des charges de liaisons

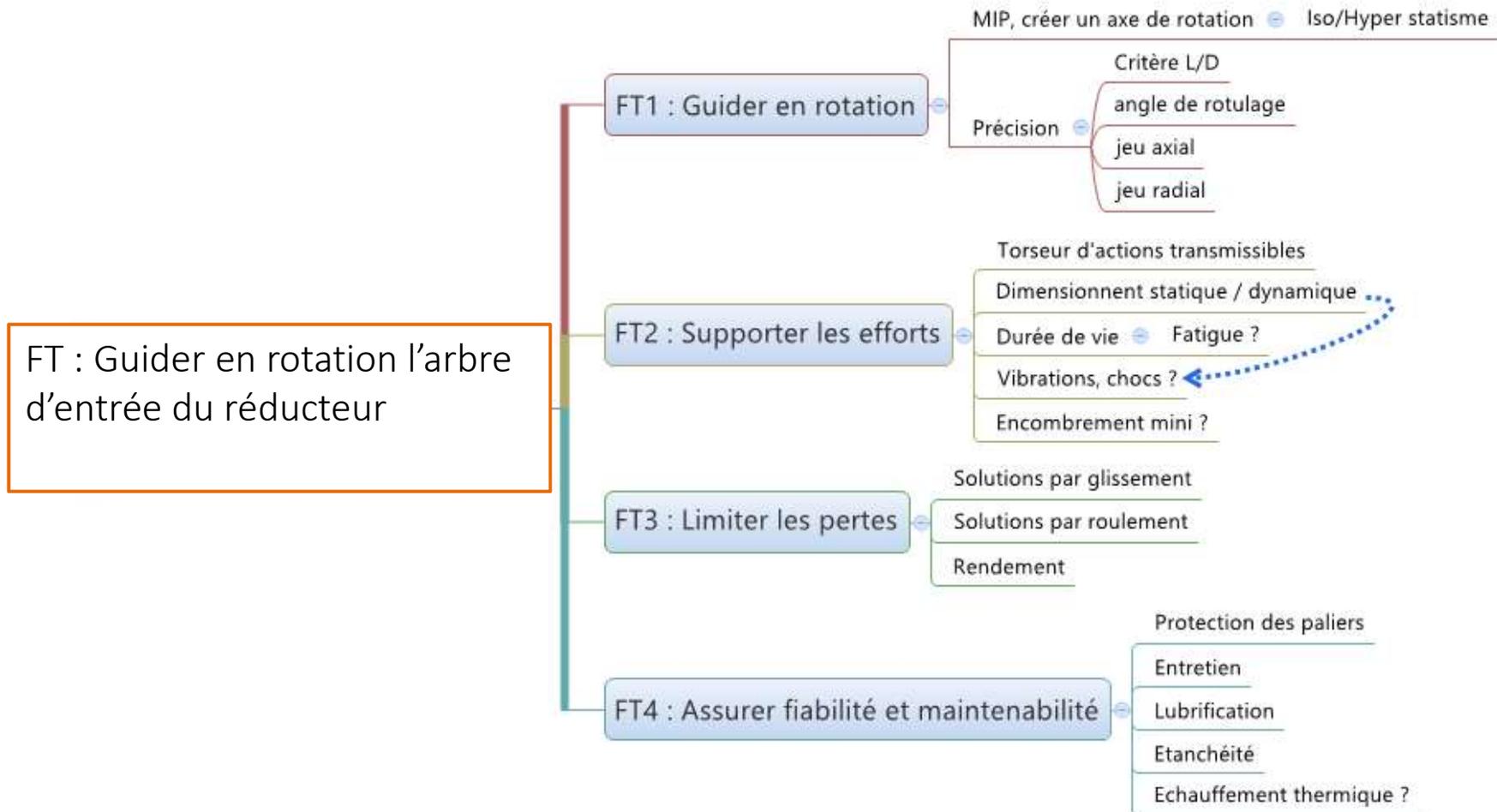
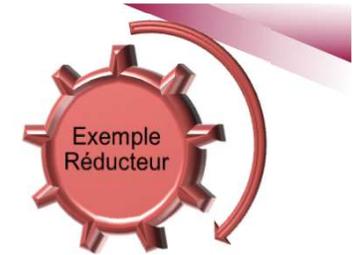


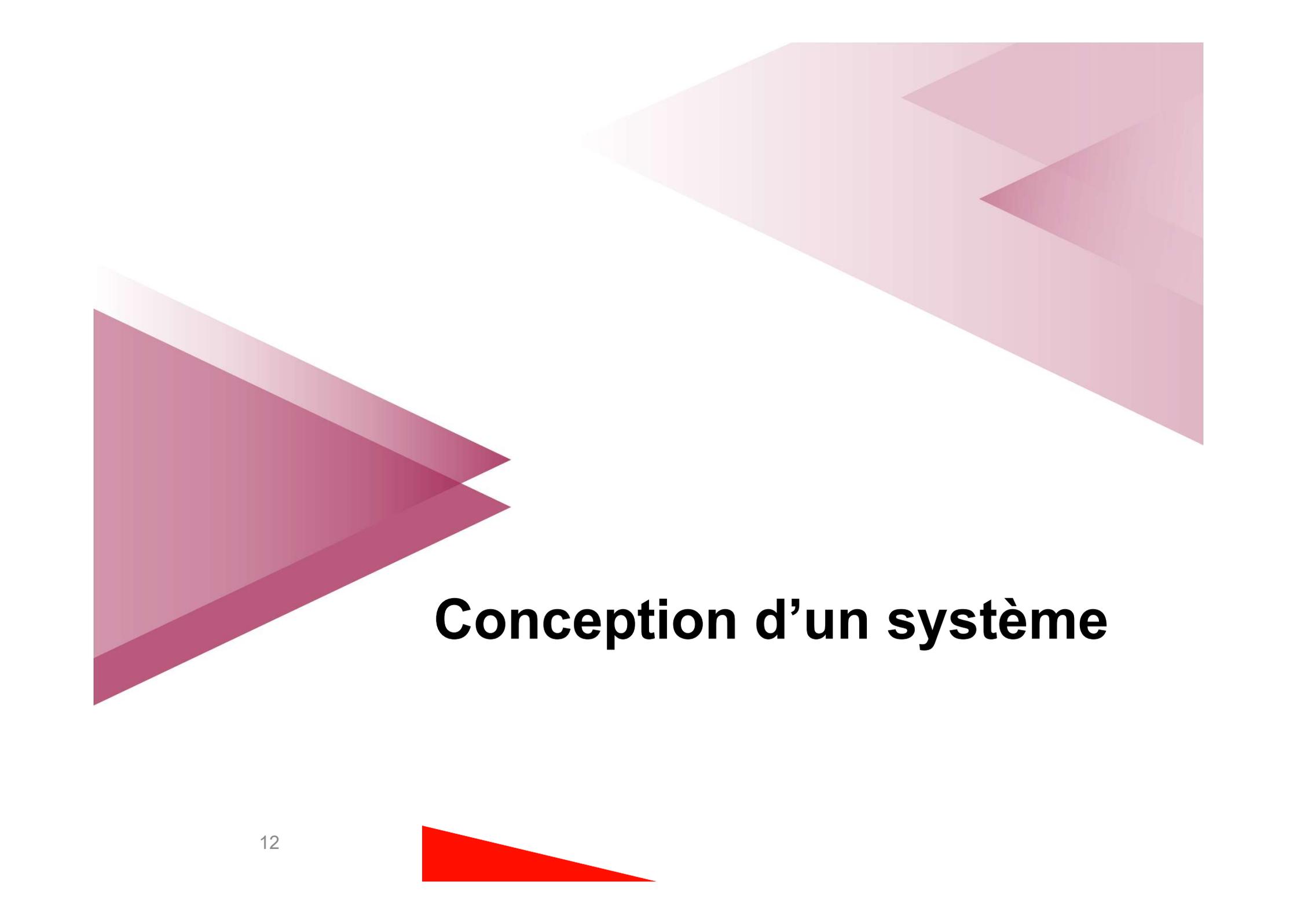
FT : Guider en rotation l'arbre d'entrée du réducteur



Selon quels critères se déclinent chacune des fonctions techniques ?

Cahier des charges de liaisons





Conception d'un système

Décomposition des CLASSES D'ÉQUIVALENCE en pièces

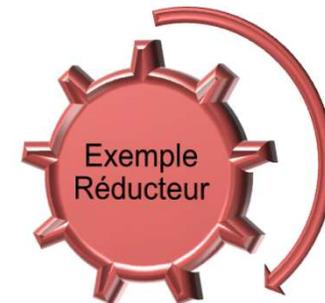
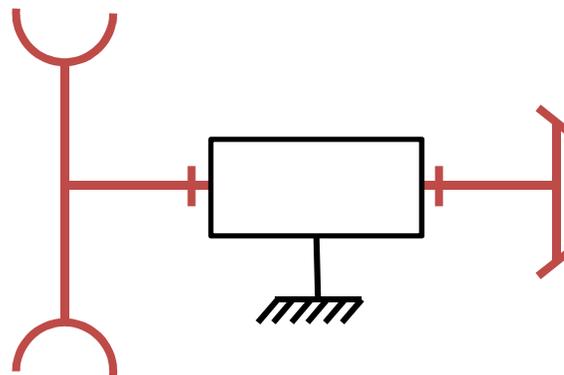
L'étude du graphe des liaisons ou du schéma cinématique minimal fait apparaître les liaisons du mécanisme. La réalisation de ces liaisons implique de **décomposer les classes d'équivalences cinématiques en pièces assemblées entre elles** (pour montage, maintenance, économie, usinabilité...). Le concepteur réfléchit **dans l'ordre** :

- **Aux exigences de position des pièces** : les blocages précis sont obtenus par obstacles durant la mise en position. Les blocages restants soit par obstacles soit par adhérence.
- Aux moyens de maintien en contact selon la nature des efforts (statique, dynamique, vibrations etc.)
- Aux dimensions des formes : à valider par un calcul de résistance des matériaux



Comment concevoir le sous ensemble de l'arbre d'entrée?
Une ou plusieurs pièces?

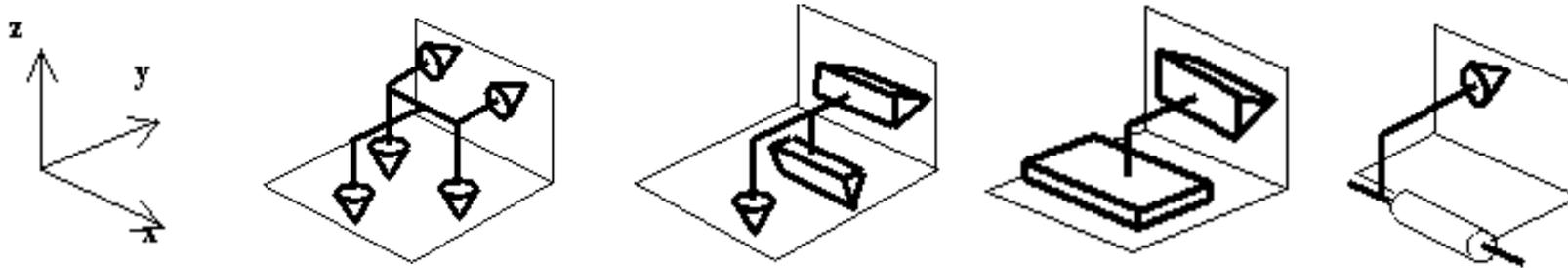
Schéma cinématique minimal



Décomposition des LIAISONS en groupes de liaisons parallèles

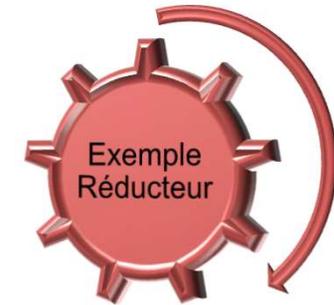
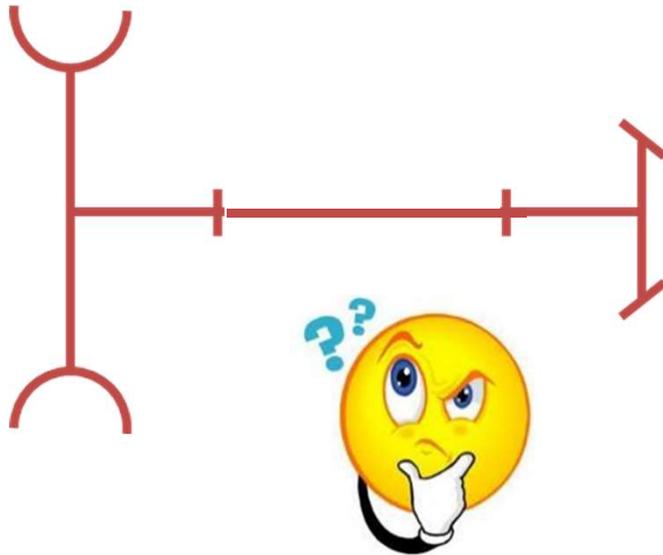
Les liaisons entre classes d'équivalence peuvent aussi nécessiter d'être décomposées **en liaisons parallèles**, notamment pour :

- Localiser les zones de contact et les efforts (isostatisme recherché)
- Multiplier les zones de contact, répartir les charges et diminuer les déformations locales (hyperstatisme de liaison)
- Obtenir le torseur cinématique adéquat (combinaison de liaisons complémentaires)
- Faciliter le montage, localiser les jeux et les réglages
- Faciliter l'utilisation d'éléments standards (ex : roulements)

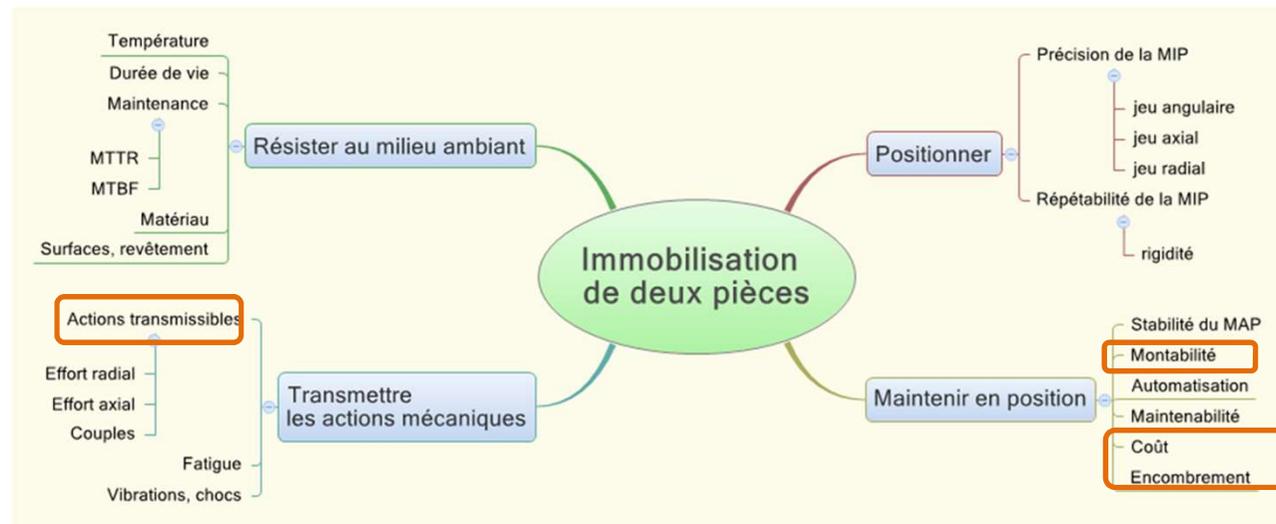


Exemple de décomposition d'une liaison glissière. Le cas de gauche permet de localiser les contacts, le cas de droite de mieux répartir les charges

Décomposition des CLASSES D'ÉQUIVALENCE en pièces

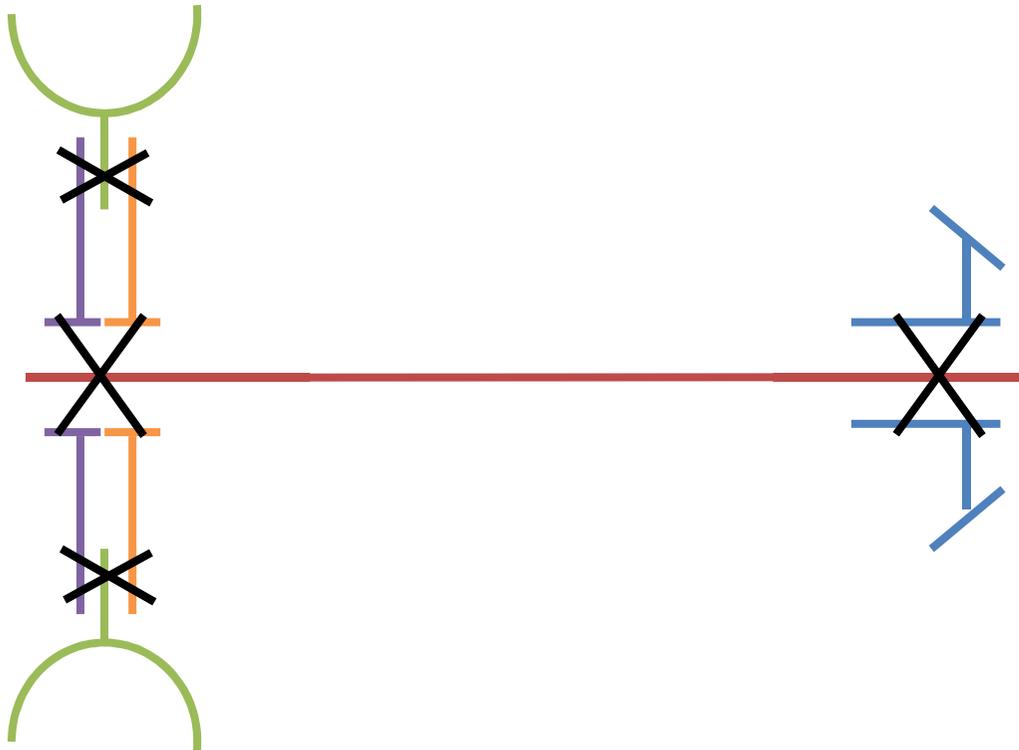
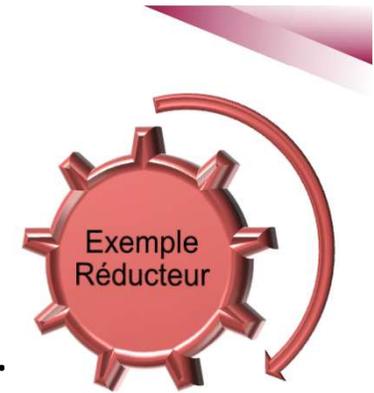


Comment concevoir le sous ensemble de l'arbre d'entrée? Combien de pièces?



Décomposition des CLASSES D'ÉQUIVALENCE en pièces

Schéma technologique ou d'architecture du système :
les modèles de liaison associés aux éléments de contacts sont précisés.



Choix d'éléments de MIP et MAP et d'éléments de contacts

Les éléments standards facilitent l'utilisation de **solutions éprouvées, fiables et peu coûteuses**. Les validations nécessaires sont moins complexes (choix dans un catalogue, un abaque), les conditions de montage connues, les tolérances maîtrisées d'où un processus de conception accéléré. Attention par contre au copier / coller...

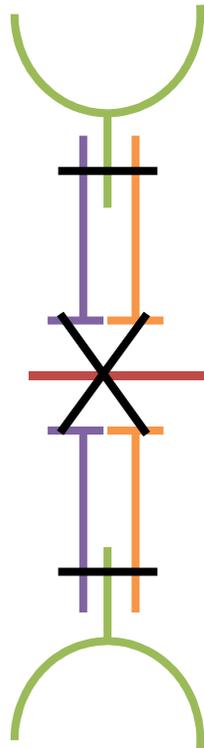
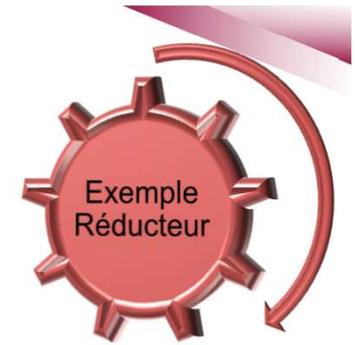
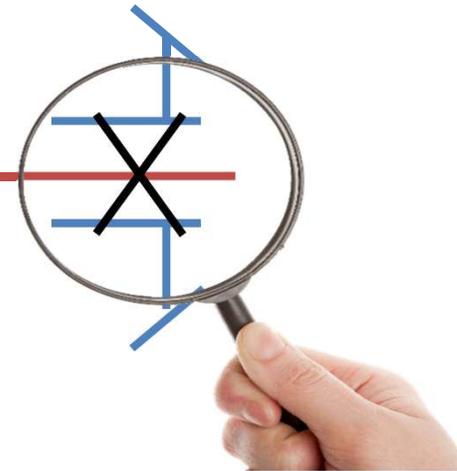
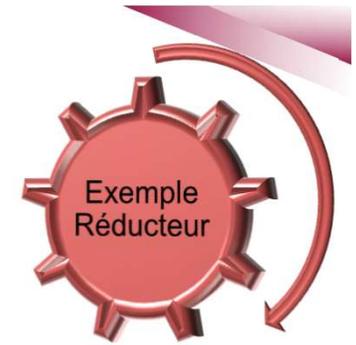


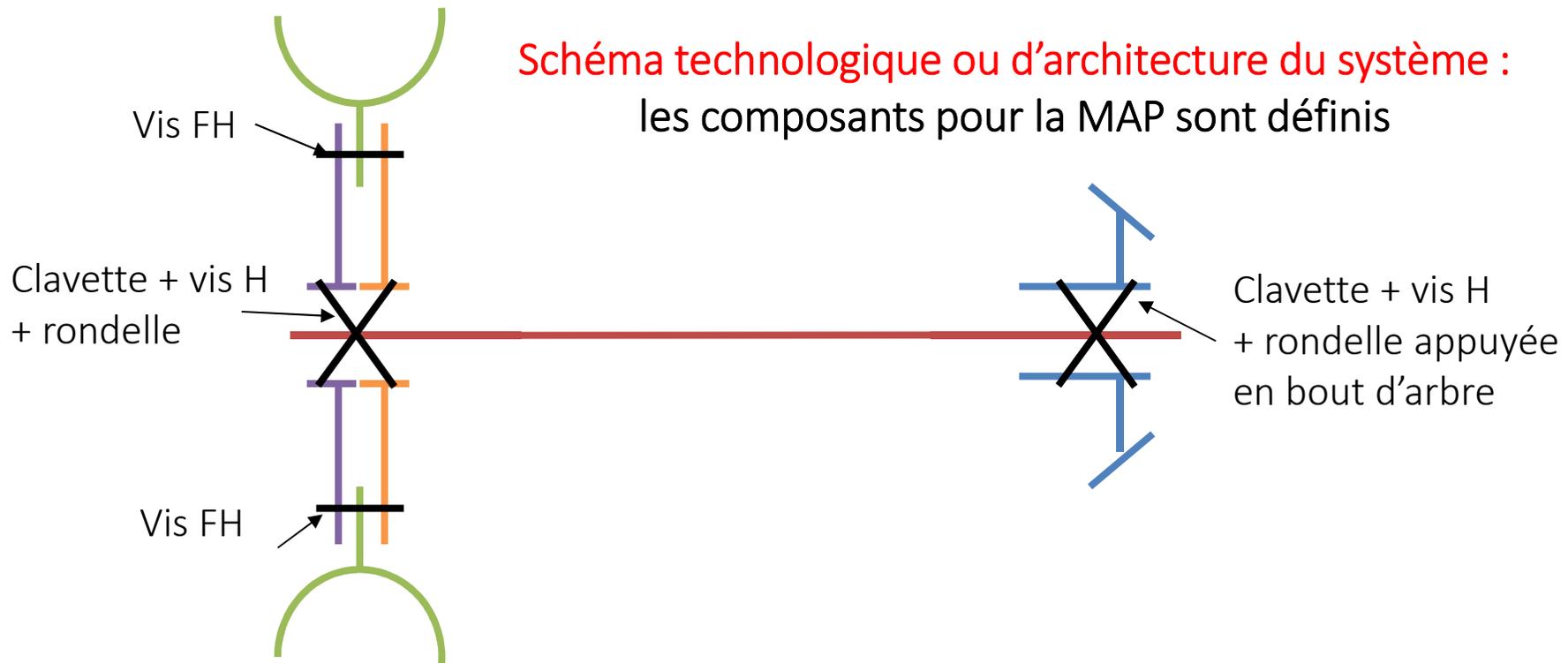
Schéma technologique ou d'architecture du système :
les composants pour la MAP sont définis



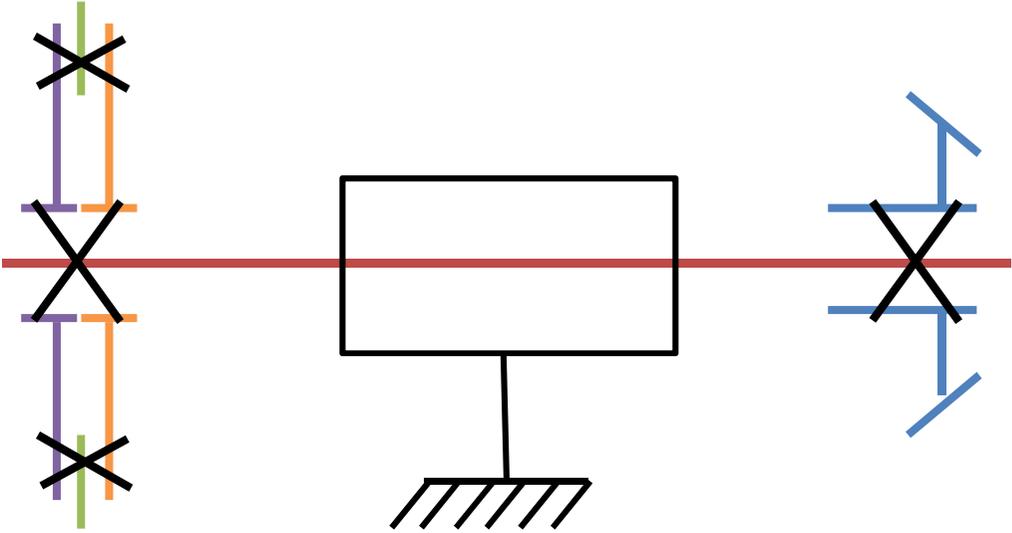
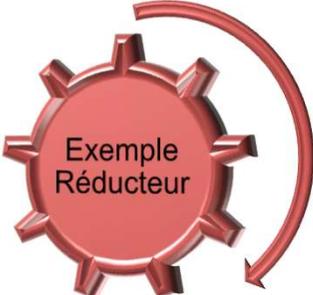
Choix d'éléments de MIP et MAP et d'éléments de contacts



Les éléments standards facilitent l'utilisation de **solutions éprouvées, fiables et peu coûteuses**. Les validations nécessaires sont moins complexes (choix dans un catalogue, un abaque), les conditions de montage connues, les tolérances maîtrisées d'où un processus de conception accéléré. Attention par contre au copier / coller...



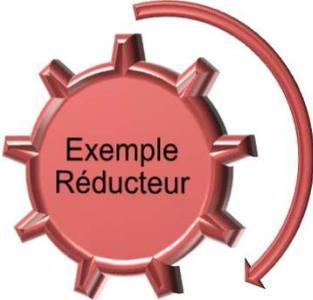
Choix du modèle architectural pour la liaison pivot



Comment concevoir la liaison pivot ?

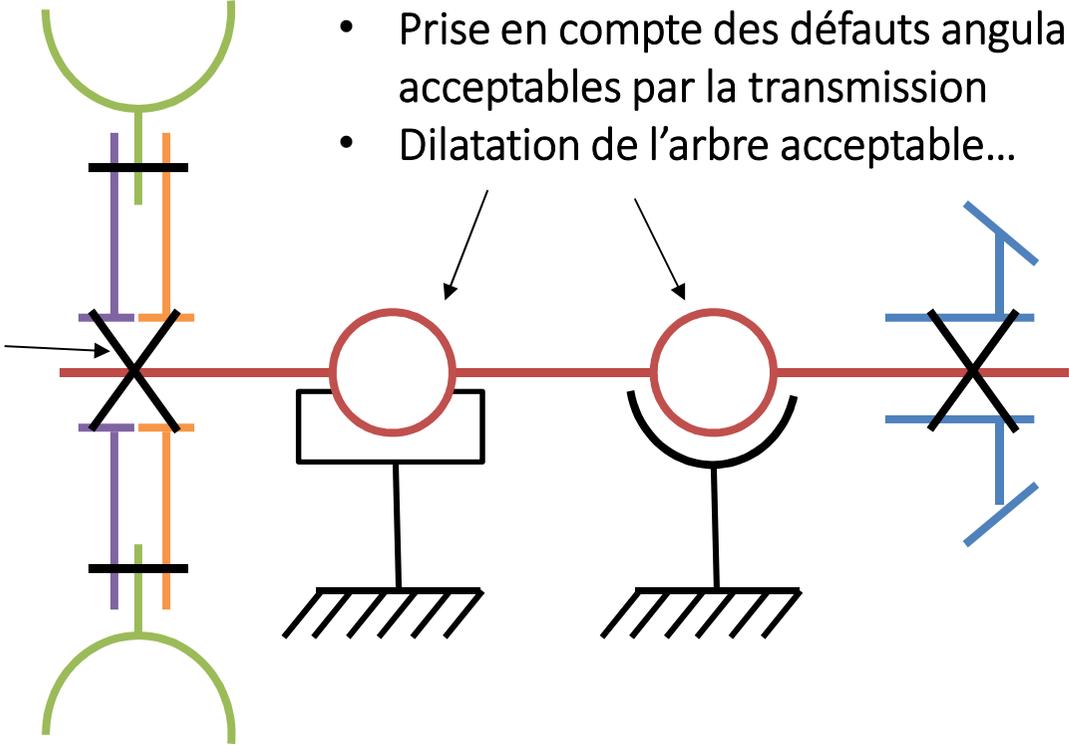


Choix du modèle architectural pour la liaison pivot



Modèle Isostatique =>

- Durée de vie augmentée
- Prise en compte des défauts angulaires acceptables par la transmission
- Dilatation de l'arbre acceptable...



Fonctions guidage et mise en position : précision de la liaison

Exemple de démarche guidée par la précision pour le choix d'une liaison pivot

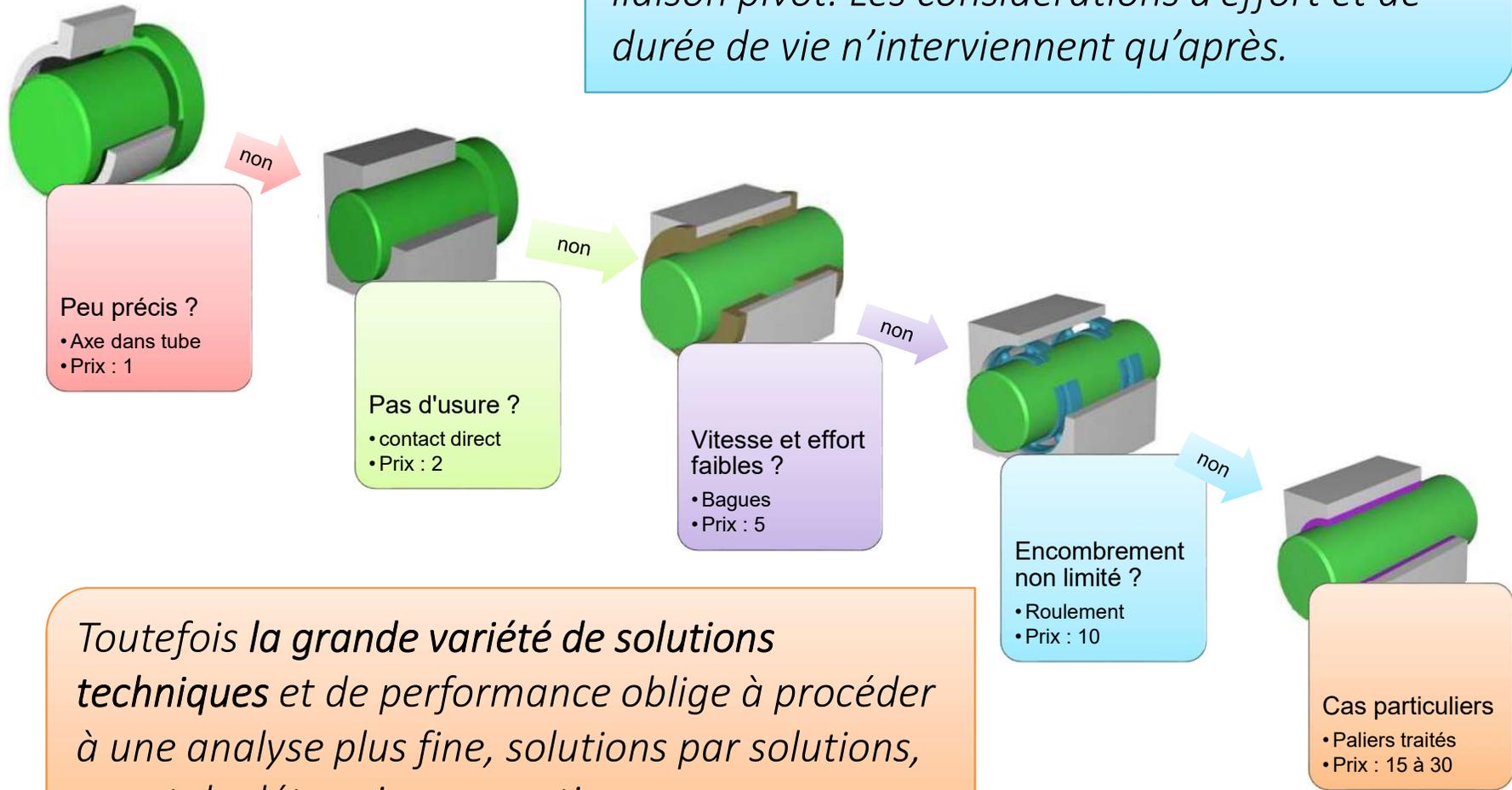


Exemple de démarche guidée par la précision pour le choix d'une liaison glissière



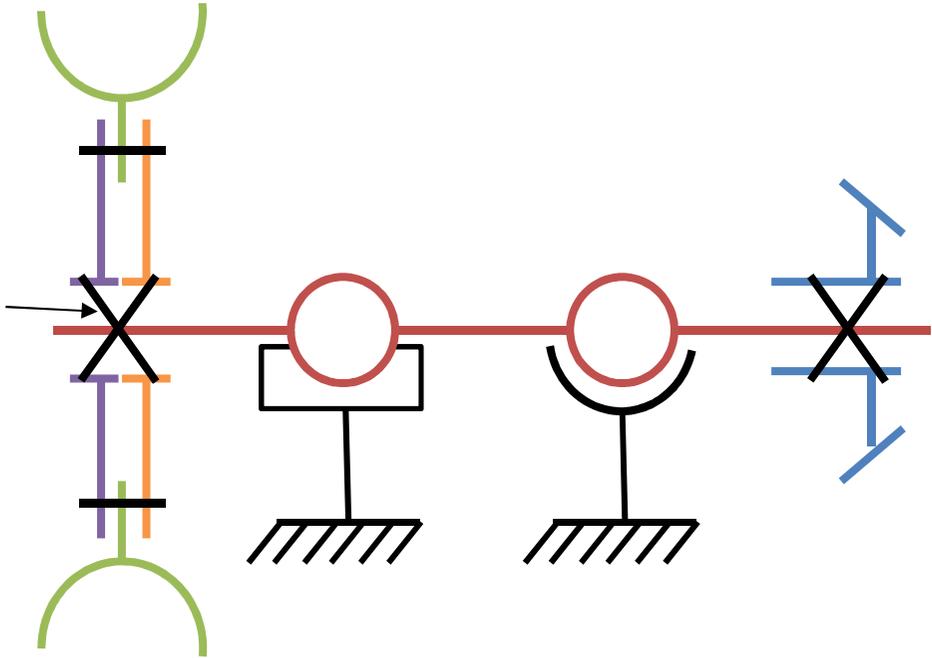
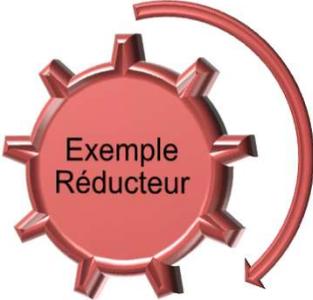
Choix constructifs possibles liaison pivot

La précision exigée pilote la conception d'une liaison pivot. Les considérations d'effort et de durée de vie n'interviennent qu'après.



Toutefois la grande variété de solutions techniques et de performance oblige à procéder à une analyse plus fine, solutions par solutions, avant de déterminer un optimum...

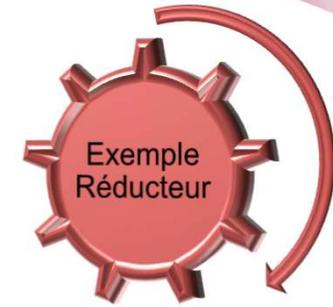
Choix du modèle architectural pour la liaison pivot



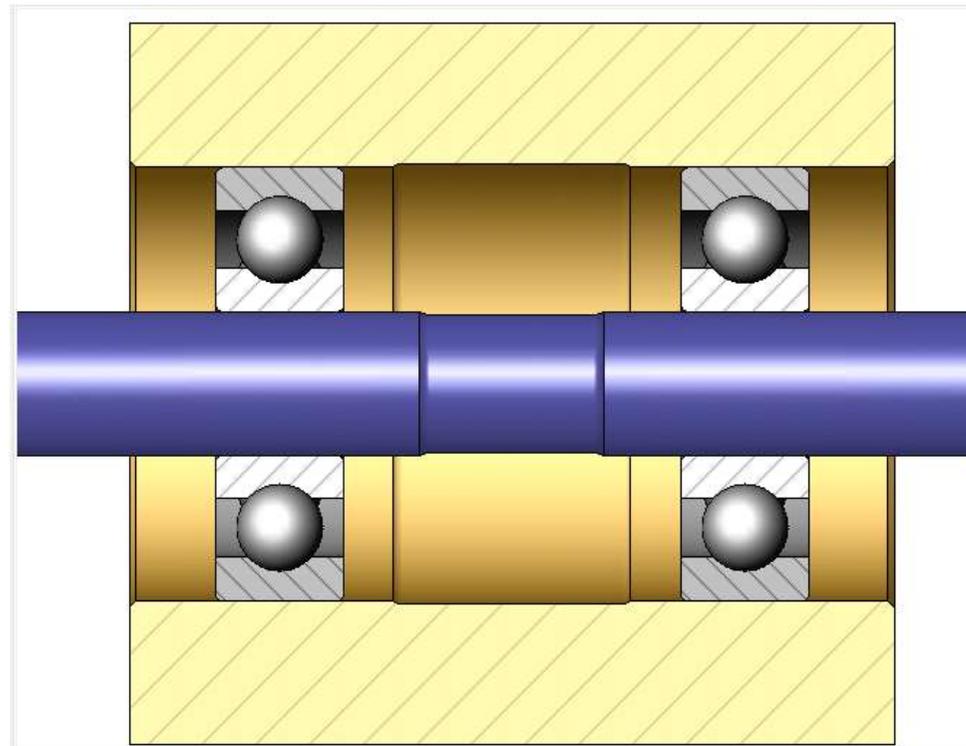
Quel composant prendre pour la rotule?
Quel composant prendre pour la linaire annulaire?

Démarche détaillée de la liaison pivot

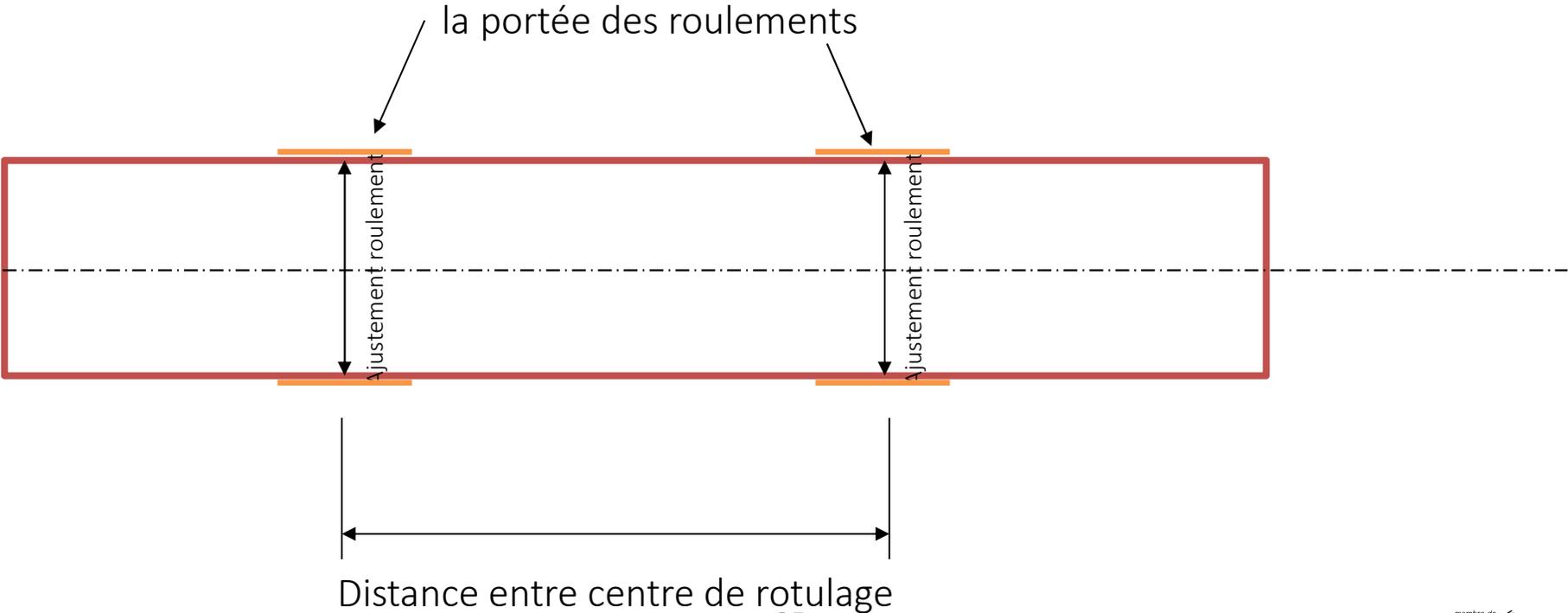
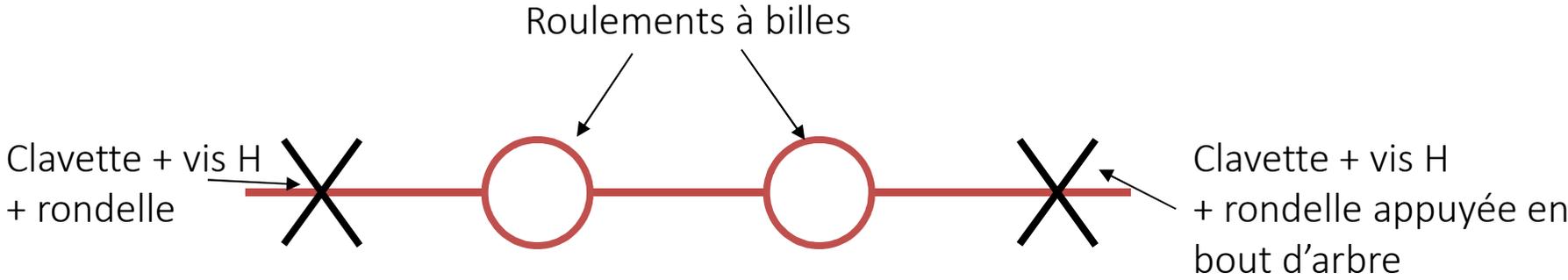
Choix et placement des éléments de contacts : deux roulements à billes 20x42, qui permettent d'assurer la transmission des efforts radiaux et axiaux.



Quid des exigences de précision (jeu radial et jeu axial) ?

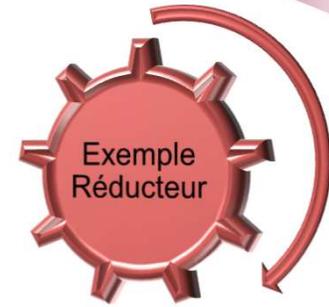


Démarche détaillée de la liaison pivot



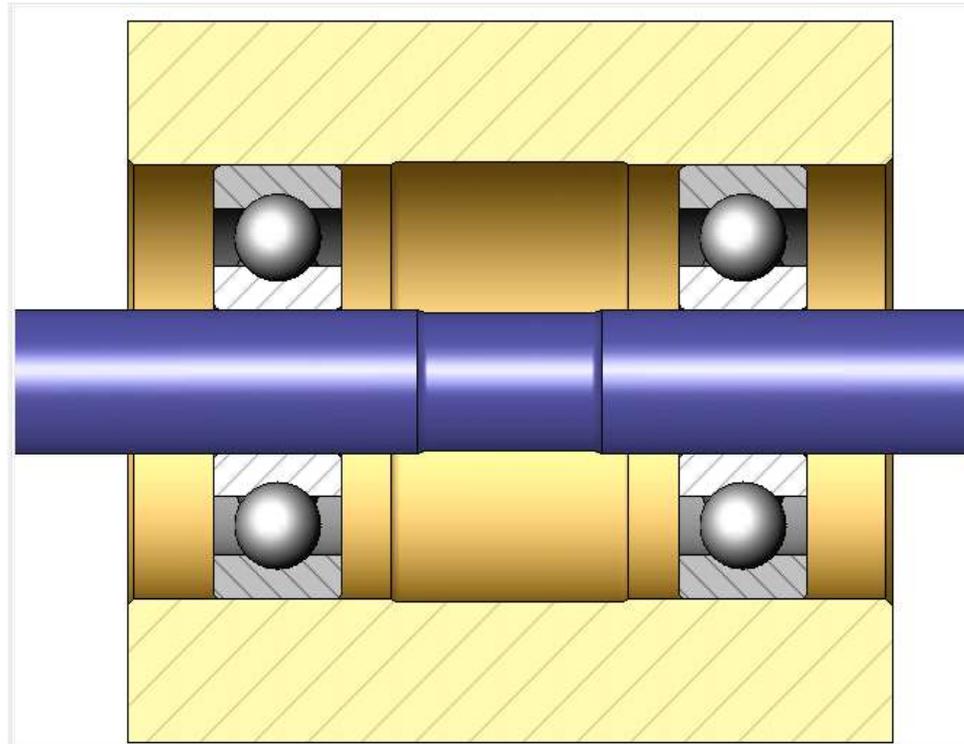
Démarche détaillée de la liaison pivot

Choix et placement des éléments de contacts : deux roulements à billes 20x42, qui permettent d'assurer la transmission des efforts radiaux et axiaux.



Quid des exigences de précision (jeu radial et jeu axial) ?

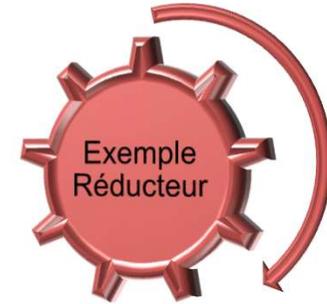
→ longueur de guidage à déterminer, ici roulements espacés de 60 mm.



Une fois les roulements choisis et placés, dessin de l'arbre et épure générale du corps autour des roulements.

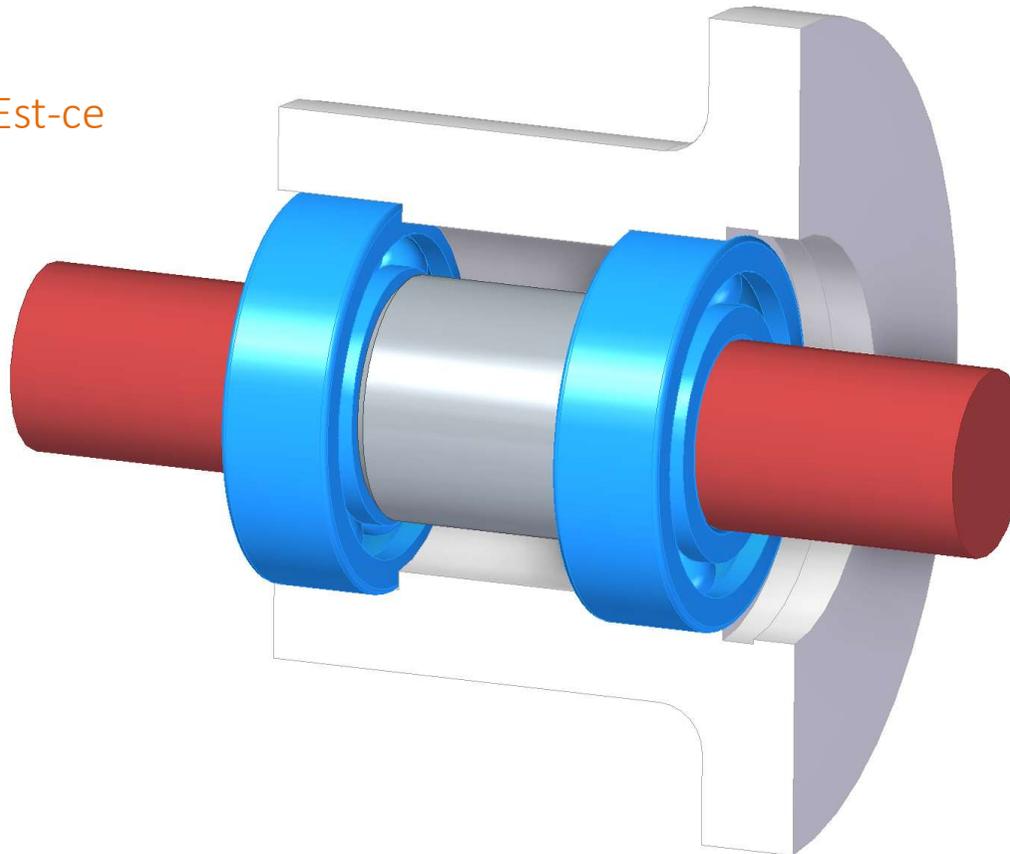
Démarche détaillée de la liaison pivot

- ✓ Roulements choisis et positionnés
- ✓ Epures de l'arbre et du corps faites
- Quid des arrêts axiaux ?



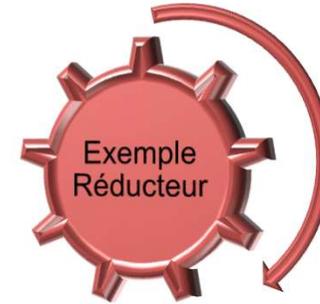
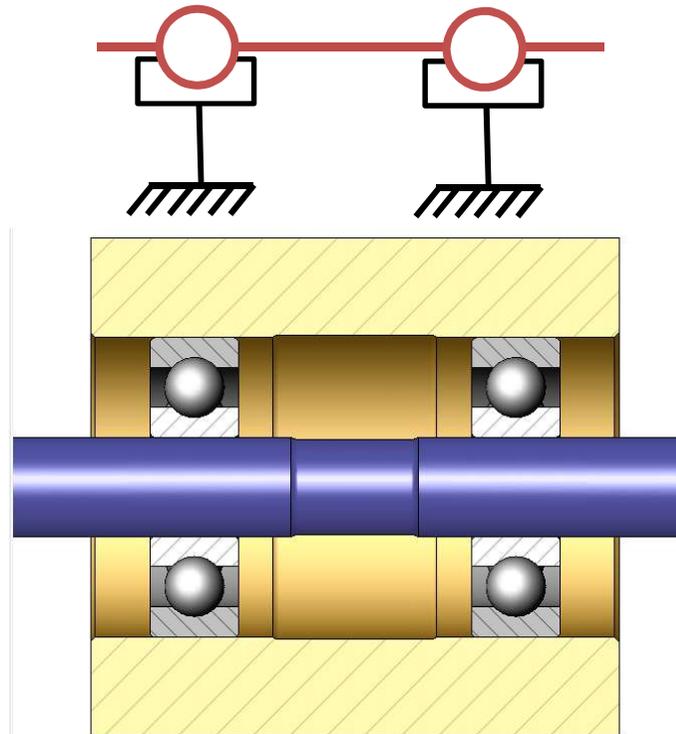
Ajout d'une entretoise et d'épaulements sur le corps? Est-ce suffisant?

→ Logiciel PYVOT



Démarche détaillée de la liaison pivot

1^{er} essai

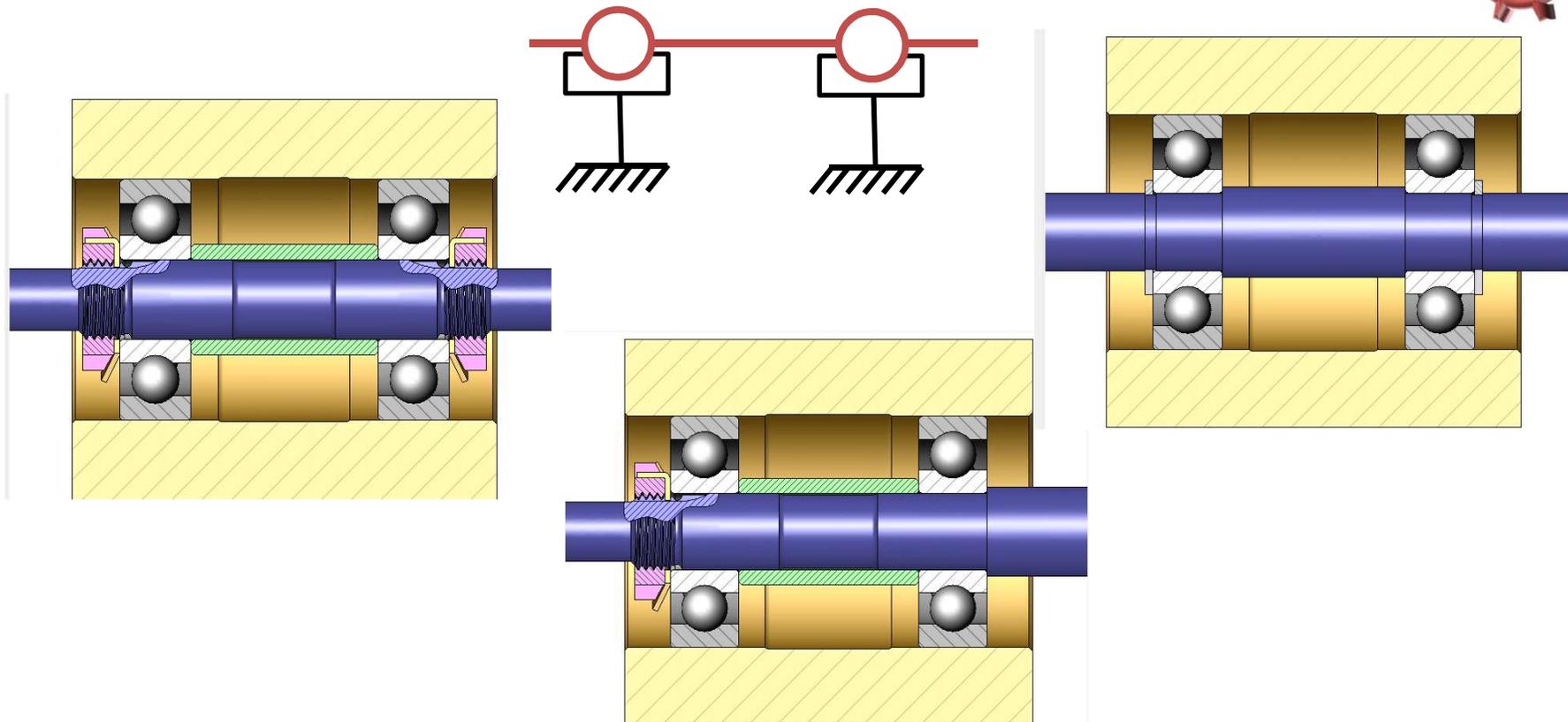
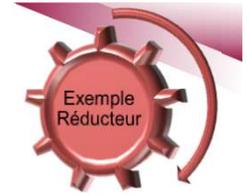


Implantation des roulements. Modèle retenu => 2 linéaires annulaire.

Conditions de montage :

- Monter serrées et bloquer les bagues qui tournent / direction charge (voir cours roulements)
- Montage isostatique

Démarche détaillée de la liaison pivot



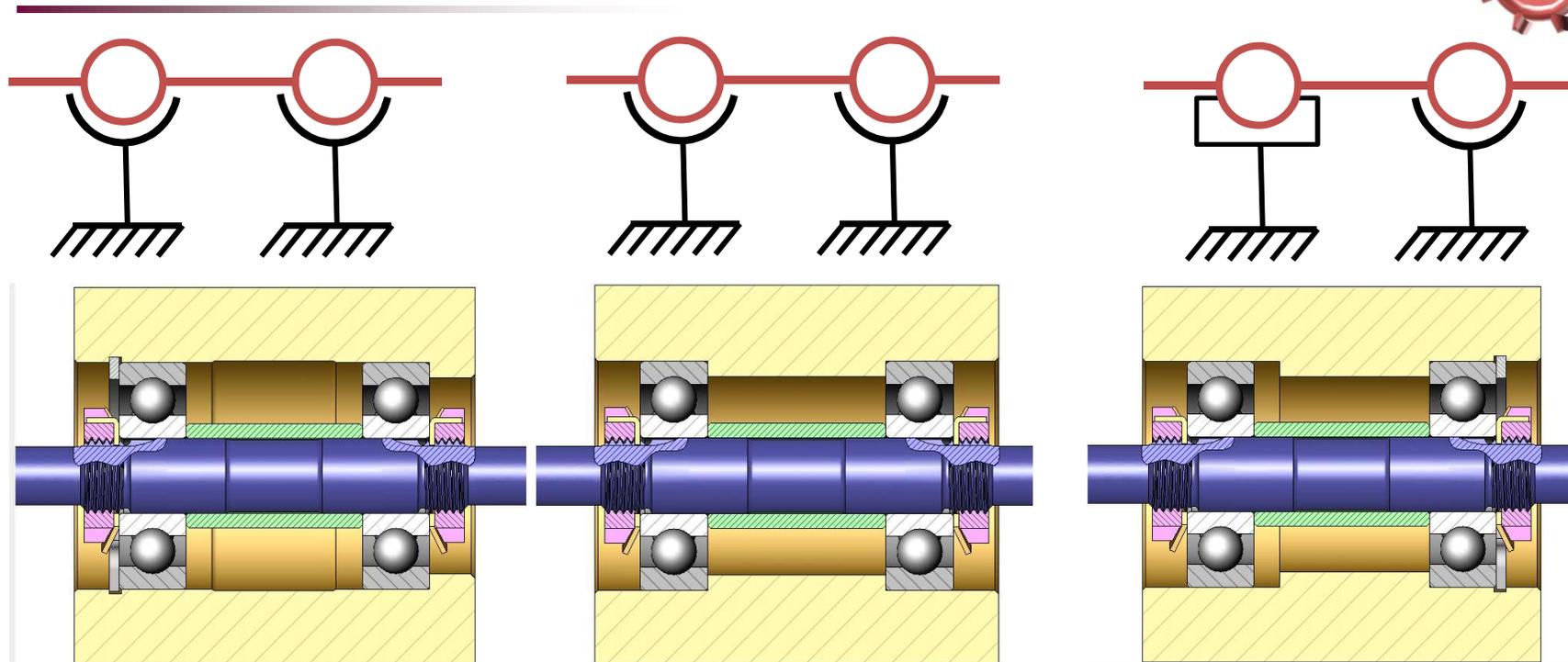
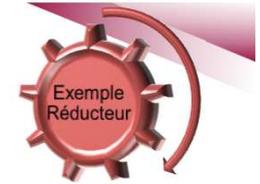
Implantation des roulements. Modèle retenu => 2 linéaires annulaire.

Conditions de montage :

- Monter serrées et bloquer les bagues qui tournent / direction charge (voir cours roulements). Ici cela s'appliquera aux bagues intérieures.
- Montage isostatique

Démarche détaillée de la liaison pivot

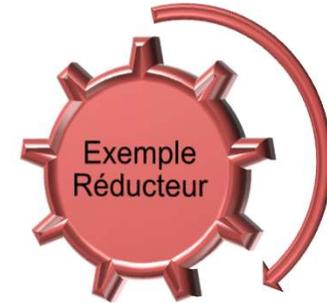
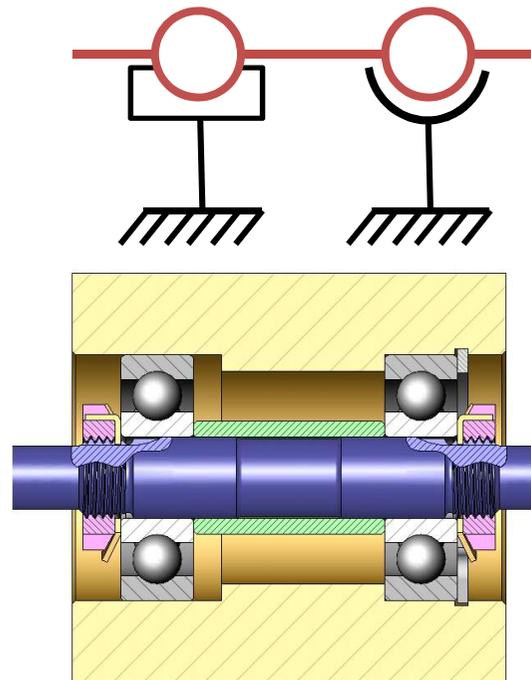
2nd essai



Conditions de montage :

- Monter serrées et bloquer les bagues qui tournent / direction charge (voir cours roulements). Ici cela s'appliquera aux bagues intérieures.
- **Supprimer les ddl en translation du guidage**
- Montage isostatique

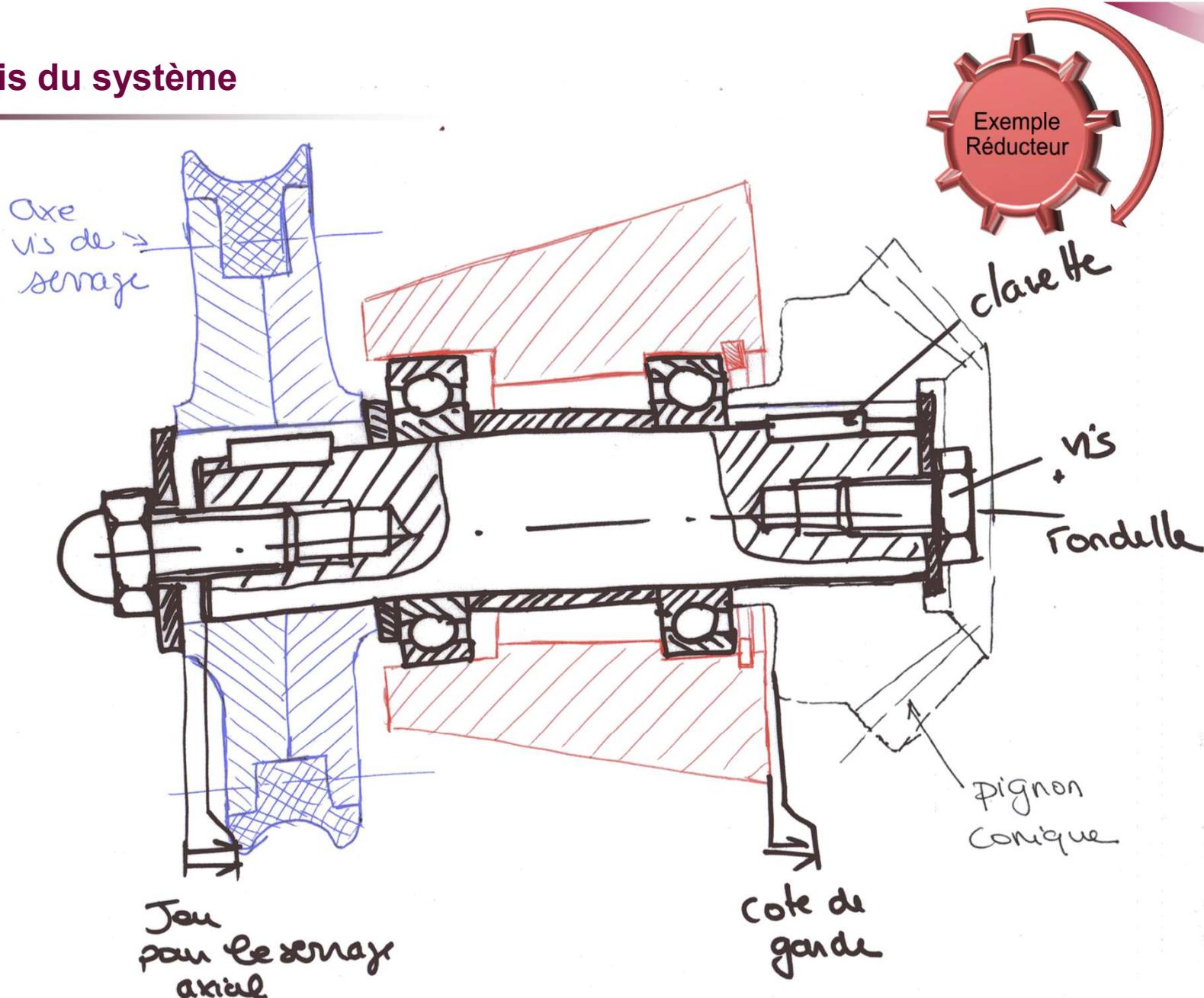
Démarche détaillée de la liaison pivot



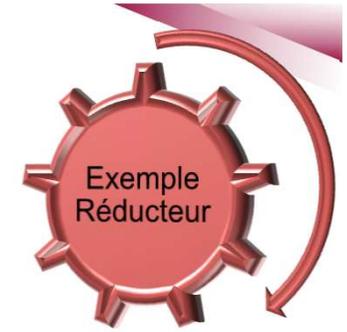
Implantation des roulements. Modèle retenu => 1 linéaire annulaire + 1 rotule
Conditions de montage :

- Monter serré et bloqué les bagues qui tournent / direction charge (voir cours roulements). Ici cela s'appliquera aux bagues intérieures.
- Supprimer les ddl en translation du guidage
- **Montage isostatique**

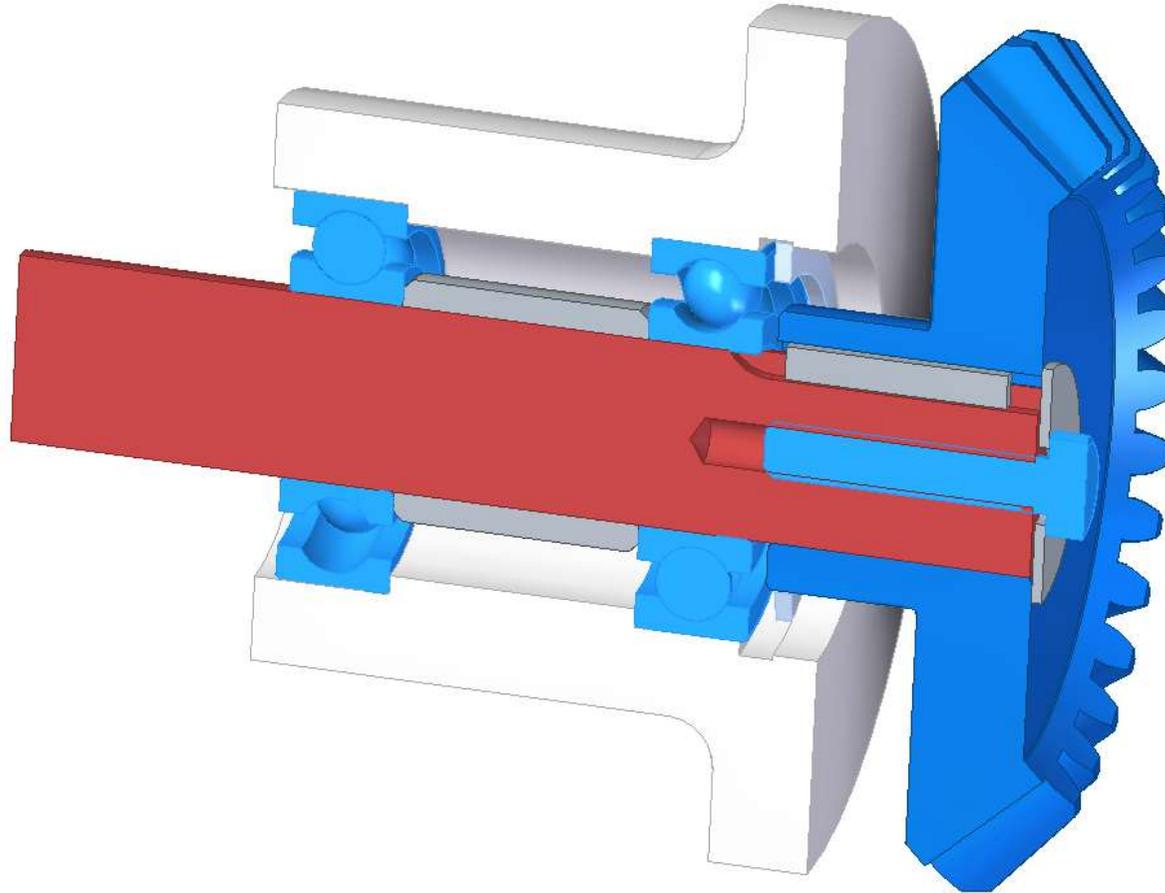
Croquis du système



Démarche détaillée



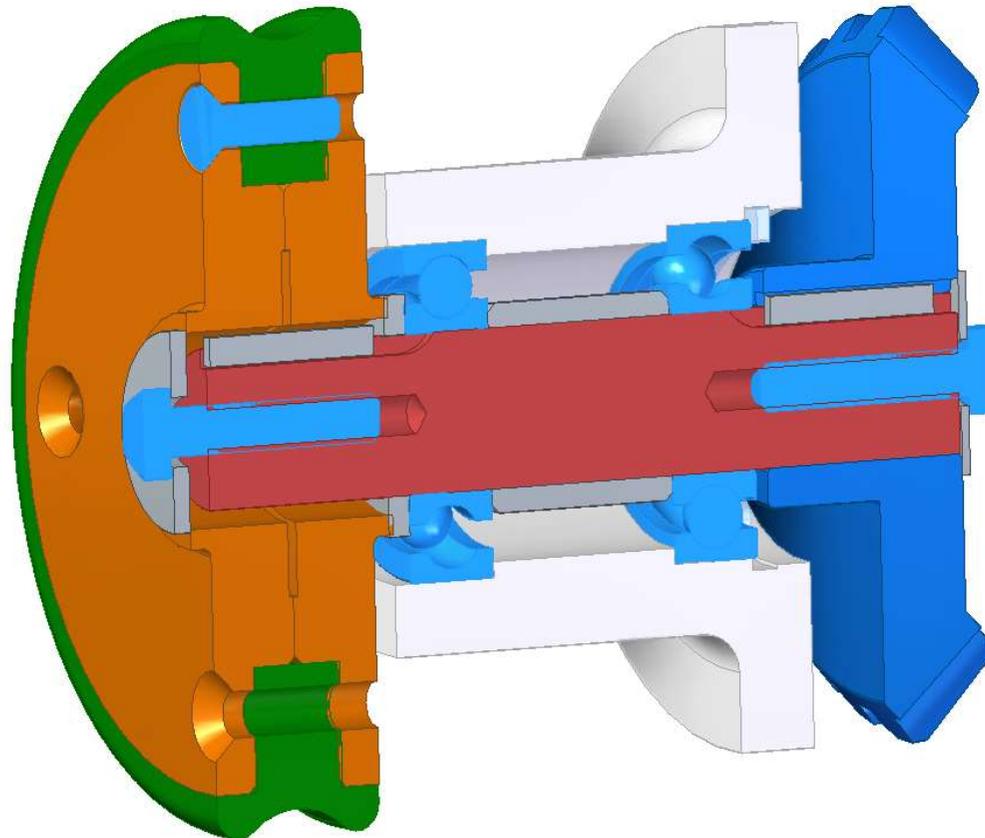
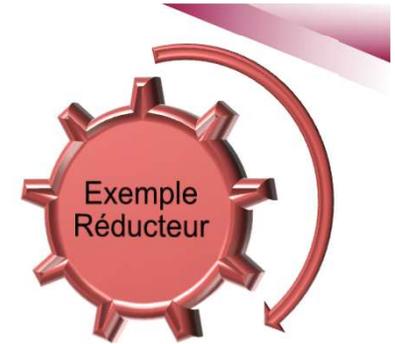
Ajout du pignon conique : liaison encastrement par clavette + vis + rondelle



Installation des jeux fonctionnels : jeu de la rainure de clavette côté pignon, serrage de la clavette côté arbre, réserve de taraudage, de perçage...

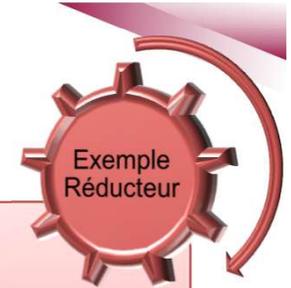
Démarche détaillée

Ajout de la poulie : liaisons encastrement par vis + clavette + rondelle.

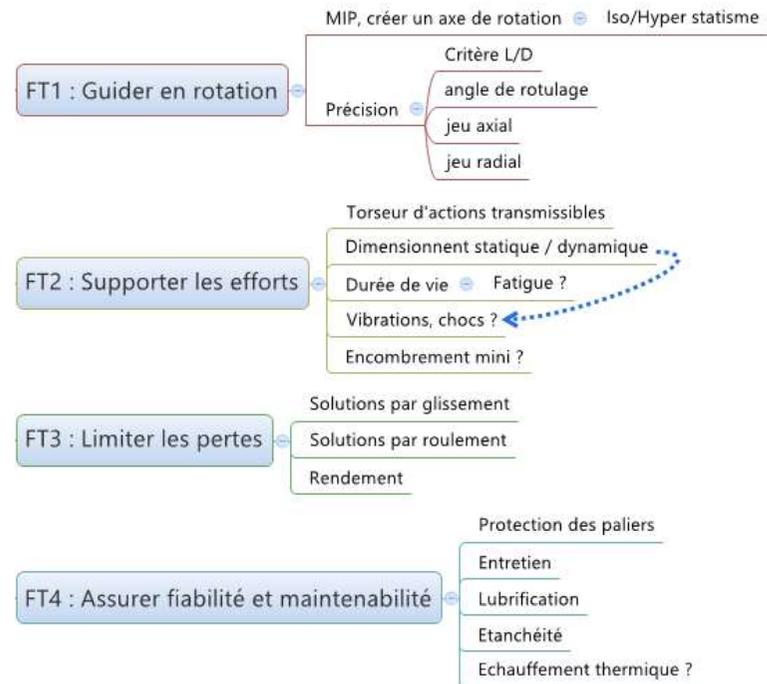
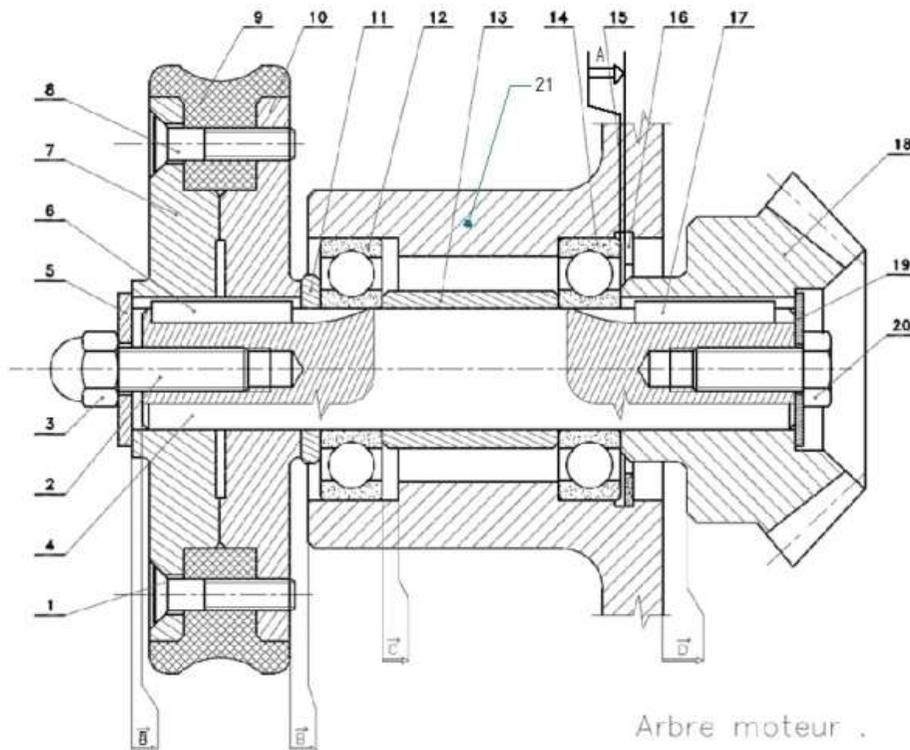


Installation des jeux fonctionnels : jeu de la rainure de clavette côté pignon, serrage de la clavette côté arbre, réserve de taraudage, de perçage, jeu entre la rondelle et l'arbre.

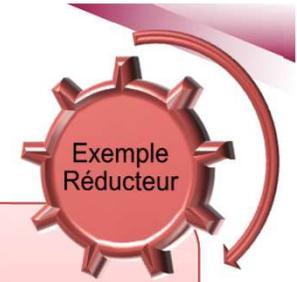
Check list



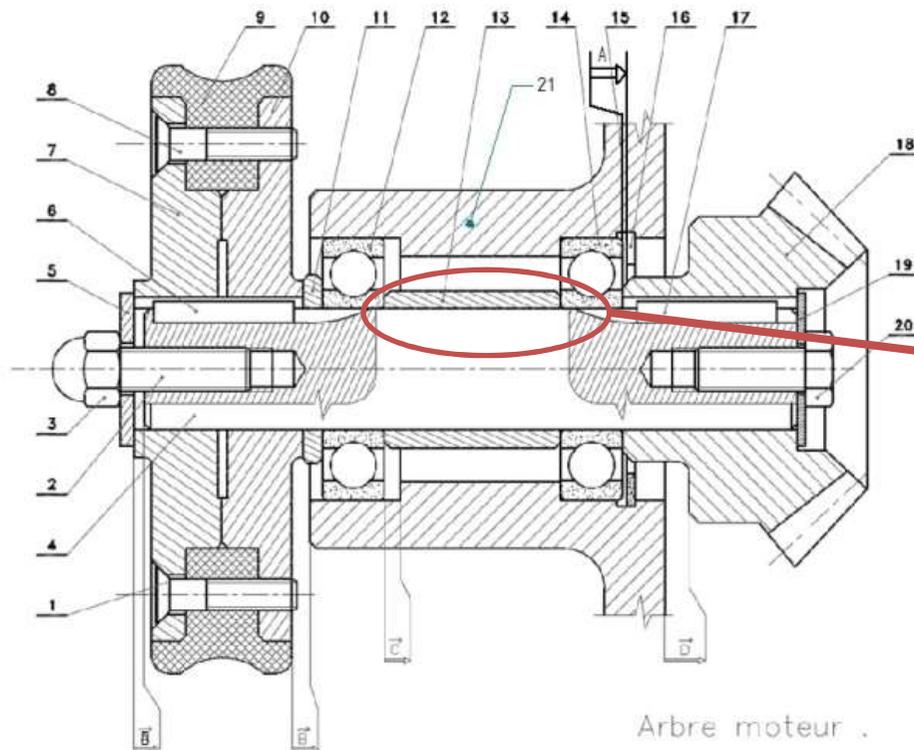
Le travail préparatoire d'analyse du système étant fait (schéma cinématique, découpage en pièces, choix des éléments de contact) **avec plus ou moins d'approfondissement**, il est nécessaire de vérifier que tous les critères du cahier des charges soient validés.



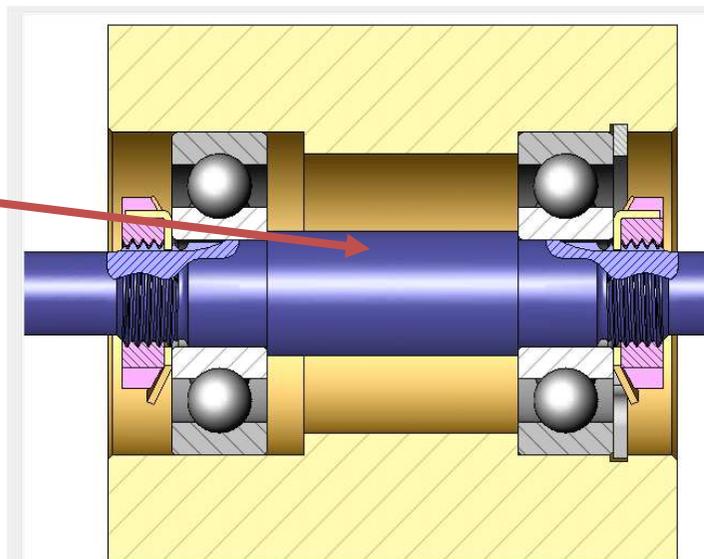
Version corrigée



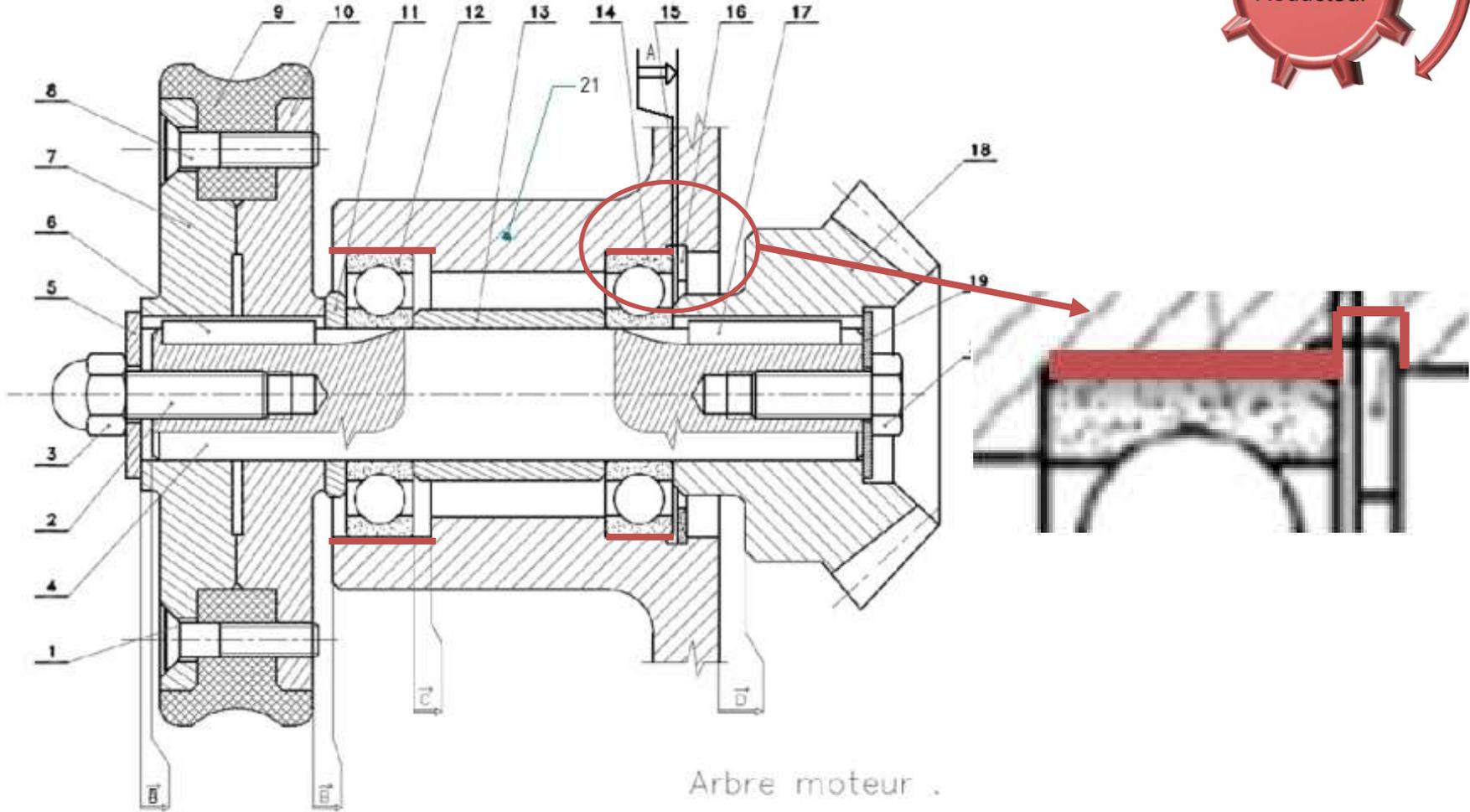
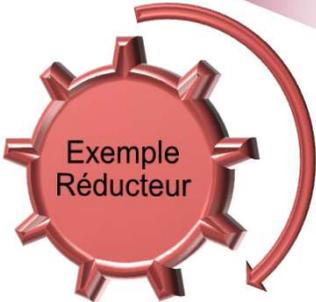
Le travail préparatoire d'analyse du système étant fait (schéma cinématique, découpage en pièces, choix des éléments de contact) avec plus ou moins d'approfondissement, il est nécessaire de vérifier que tous les critères du cahier des charges soient validés.



Nouvelle solution avec pivot

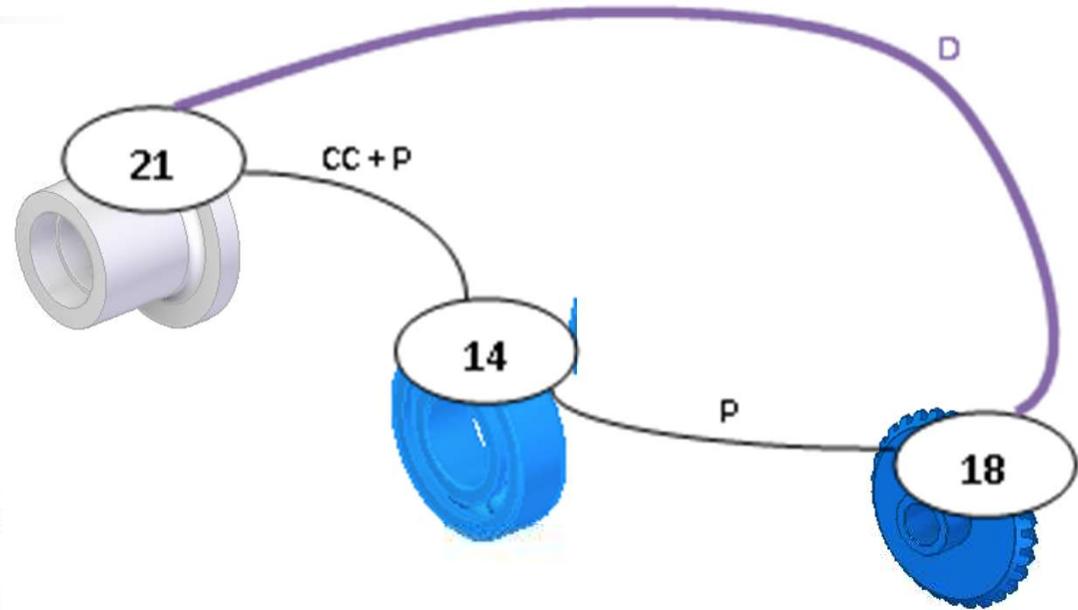
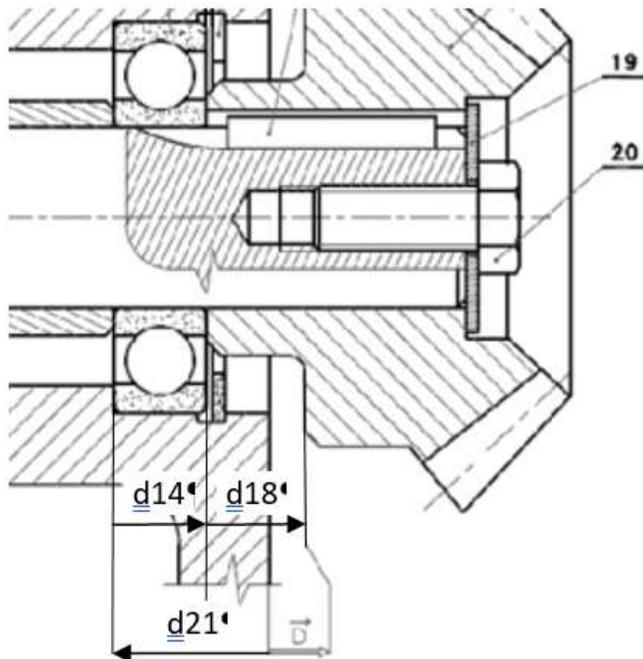


Commentaires sur le bâti



Etude d'une boucle linéaire

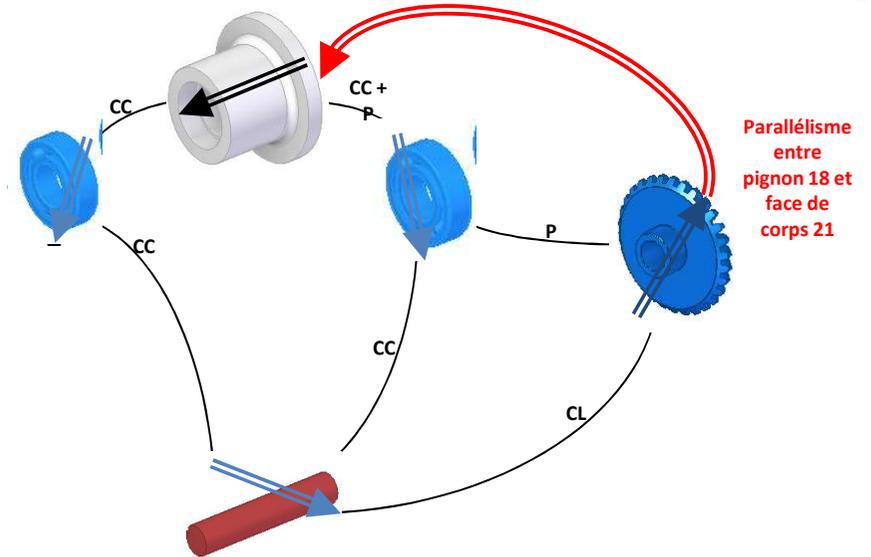
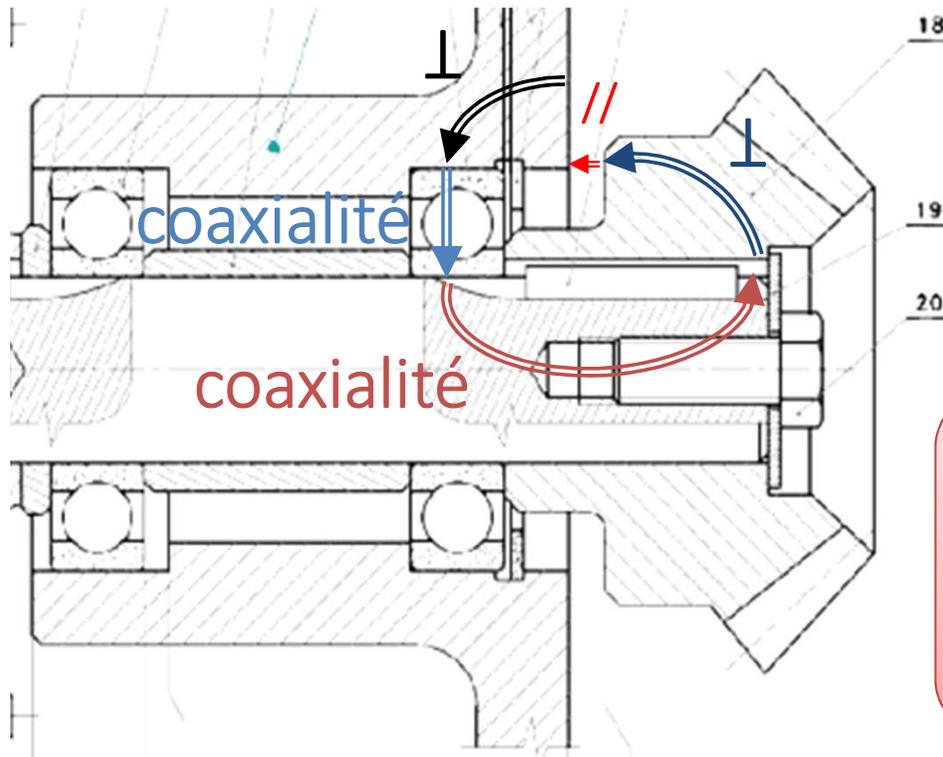
Le graphe fait apparaître le chemin 21 > 14 > 18 d'où les cotes d_{21} , d_{14} , d_{18} et la chaîne de cotes



La cote d_{14} est une cote constructeur dont la tolérance est connue. Les cotes d_{18} et d_{21} sont des cotes de fabrication. Le jeu J_d est imposé par l'expérience du concepteur (ex : 5 mm entre pièces mobiles, 2 mm entre pièces fixes)

Etude d'une boucle géométrique

L'exigence de parallélisme entre le pignon et le corps se traduit par la boucle de contact suivante :

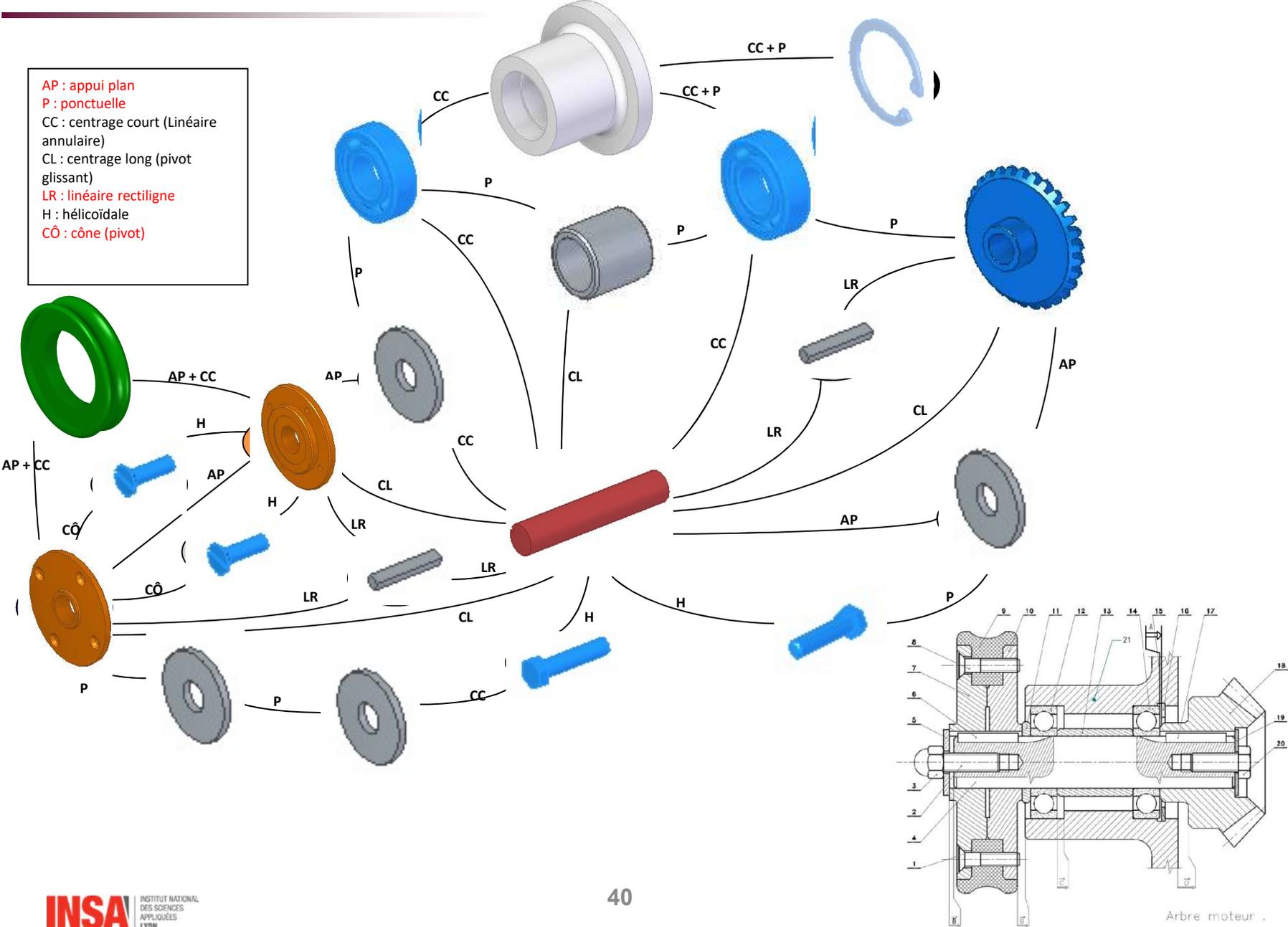


La boucle fait apparaître :

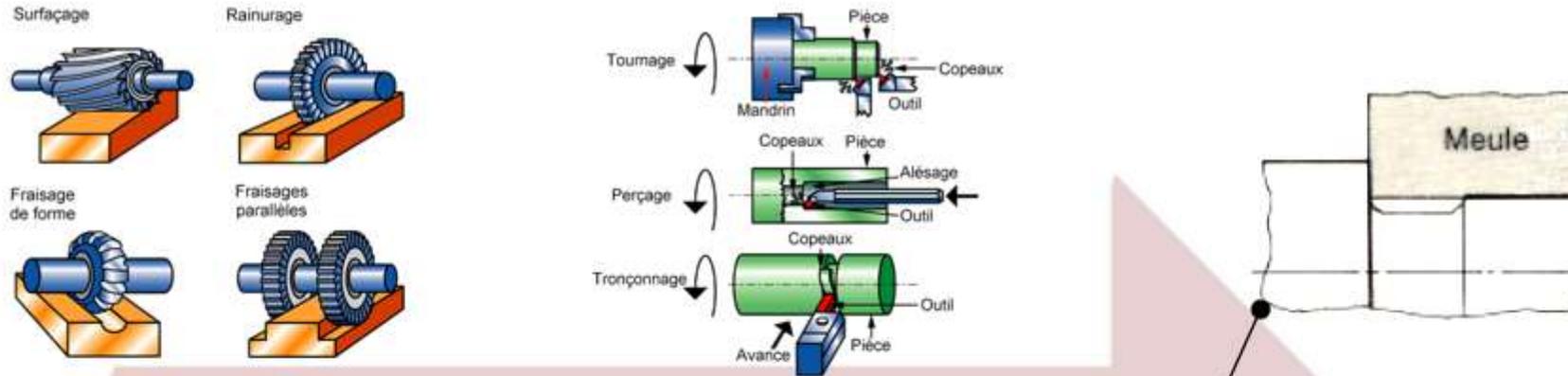
- Une perpendicularité sur le corps
- Une coaxialité sur les roulements
- Une coaxialité sur l'arbre
- Une perpendicularité sur le pignon

Graphe de contact de la poulie de renvoi

- AP : appui plan
- P : ponctuelle
- CC : centrage court (Linéaire annulaire)
- CL : centrage long (pivot glissant)
- LR : linéaire rectiligne
- H : hélicoïdale
- CÔ : cône (pivot)



Conception des pièces usinées : éléments à prendre en compte



Choix du ou des procédés

- Prix
- Qualité
- série
- ...

Accessibilité des outils

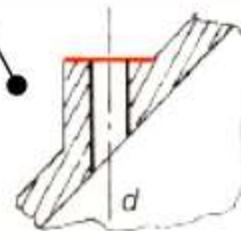
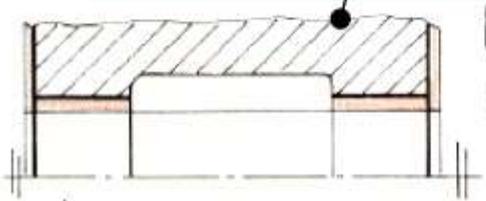
- Coaxialité sans démontage
- Alésage débouchant
- Attaque normale des forêts
- ...

Engagement et dégagement d'outils

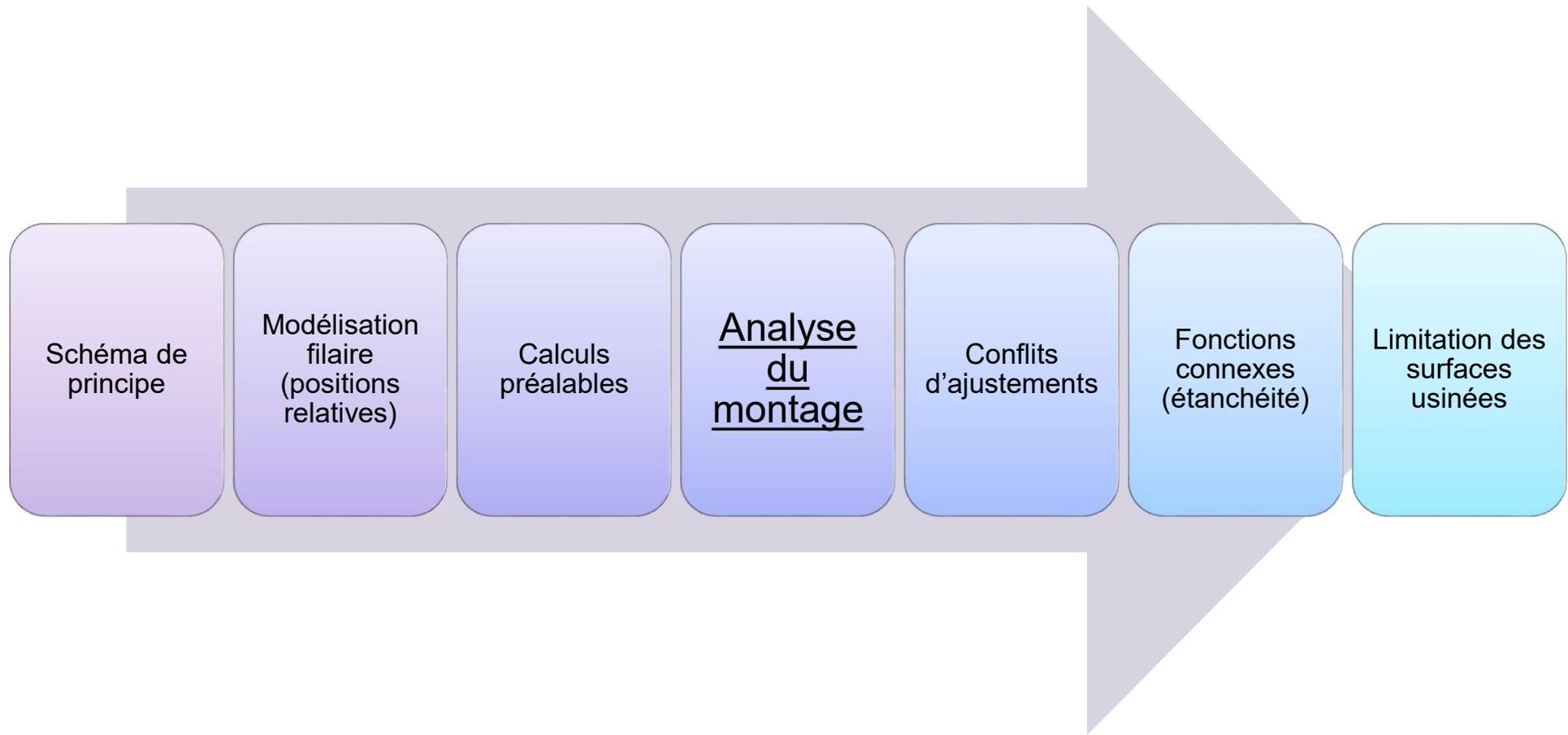
- Chanfreins
- gorges de dégagement

Limite des surfaces usinées

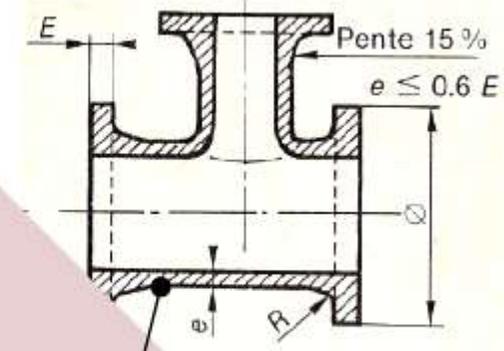
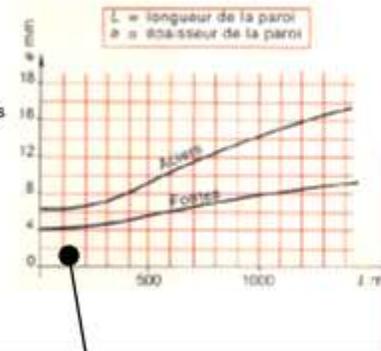
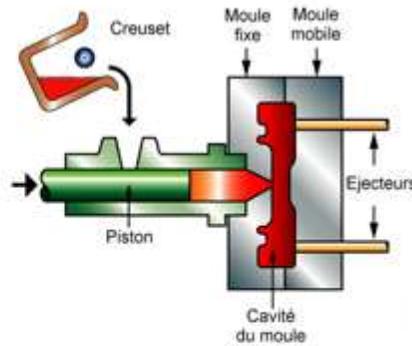
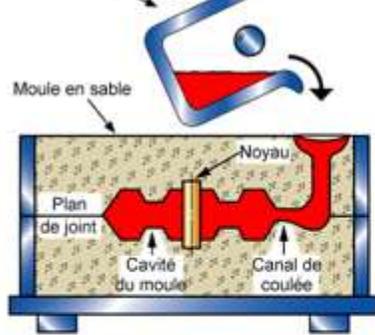
- Dégager arbres et alésages
- Evider surfaces planes
- Bossage et lamage
- ...



Conception des pièces usinées : trame de conception



Conception des pièces moulées : éléments à prendre en compte



Choix du procédé et de l'alliage

- Prix
- Etats de surface
- Série
- Fonderie sable, coquille sous pression, coulée gravitaire...

Choix du plan de joint

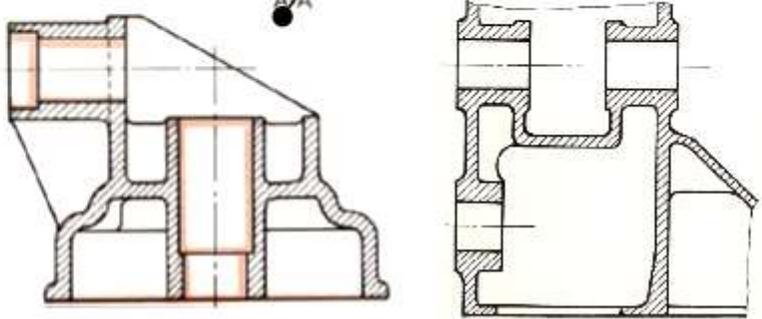
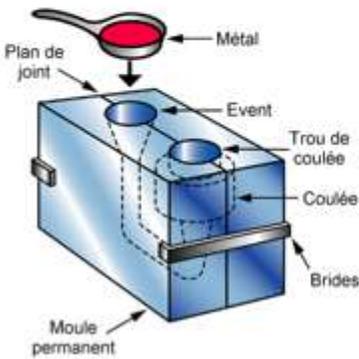
- Plus grande section de la pièce ou plan de symétrie
- Limiter le nombre de noyaux
- Facilite la sortie du modèle
- ...

Épaisseur de la pièce

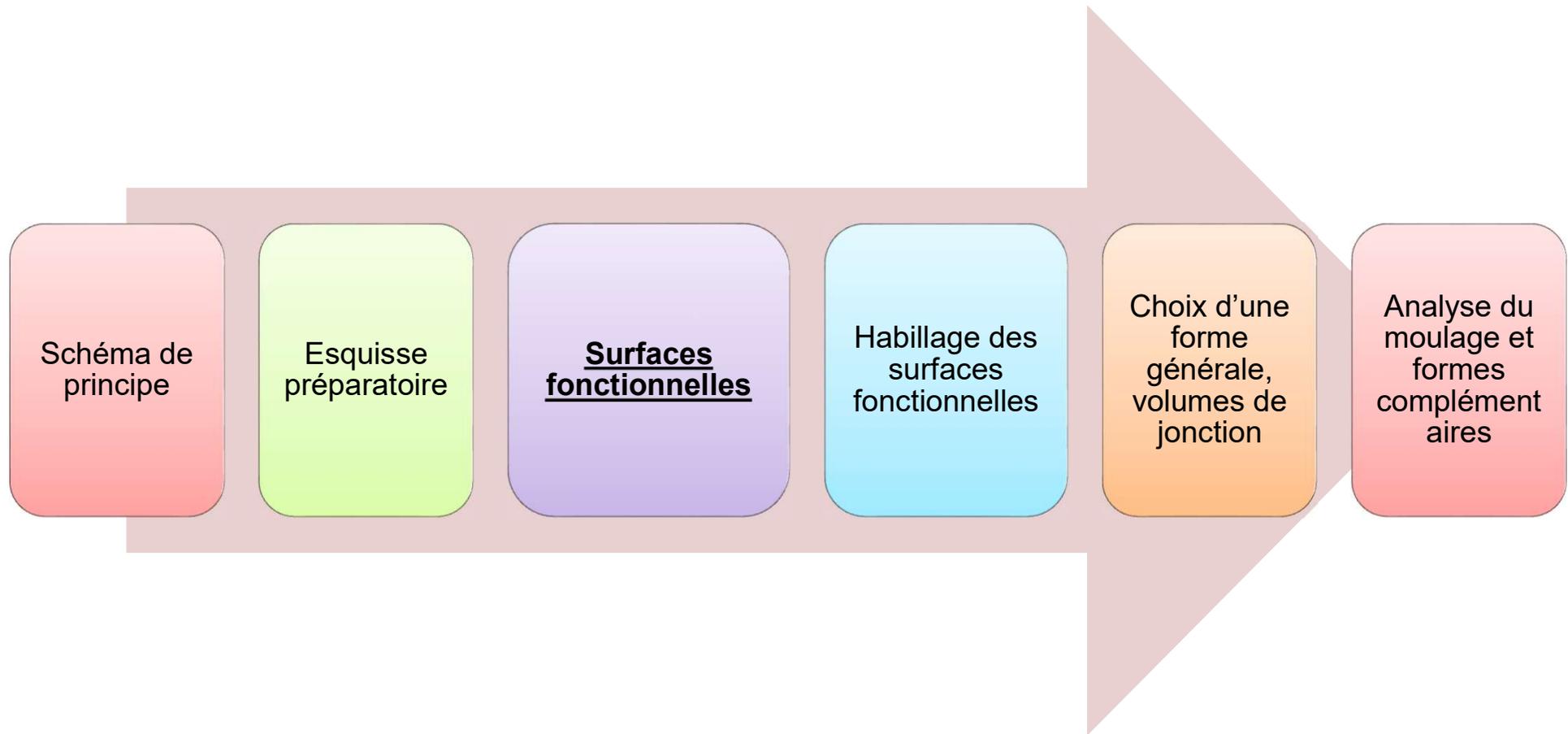
- Épaisseur minimale
- + Surépaisseur d'usinage
- + Dépouilles extérieures et intérieures
- Épaisseur constante (moulage coquille et injection)

Tracé de la pièce

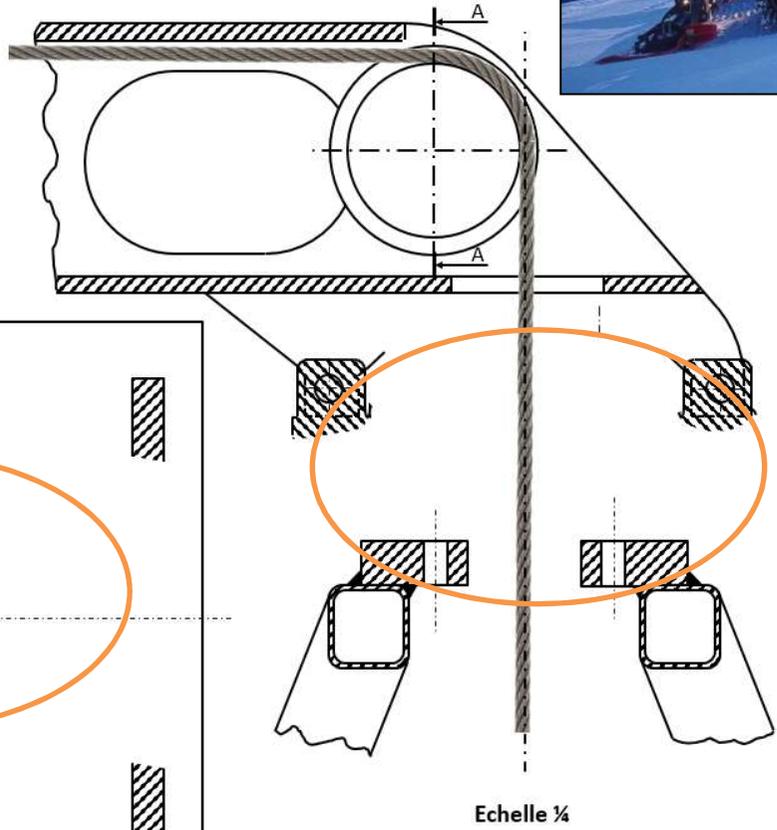
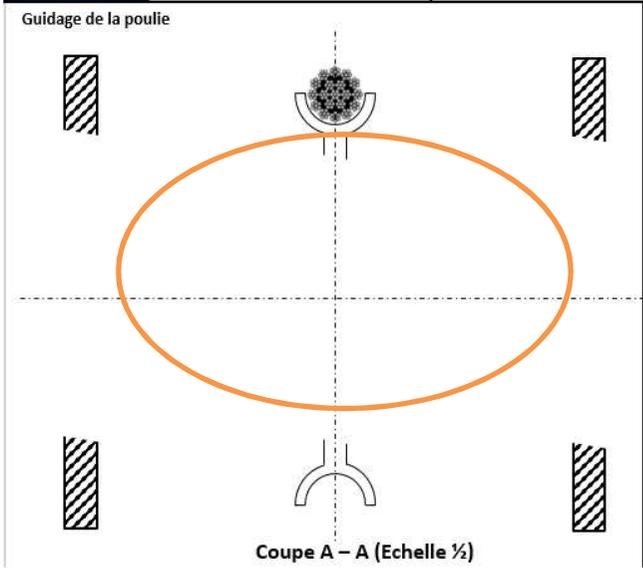
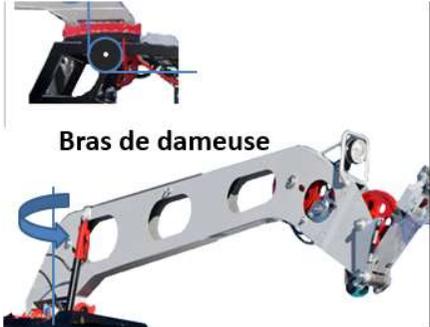
- Raccordement des épaisseurs
- Raccordement des parois (conçus et arrondis)
- Allègement des parties massives (nervures)
- Facilite le refroidissement



Conception des pièces moulées :



Fil rouge



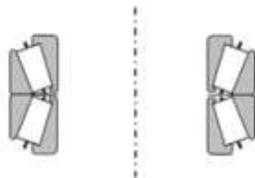
Zone à concevoir



Fil rouge

Reconception du bras de traction de la dameuse :

Le bras de la dameuse permet de guider le câble tracteur vers le tambour d'enroulement. Ce bras doit pouvoir tourner autour d'un axe vertical sur 360° tout en laissant passer le câble au niveau de l'axe de rotation. Les efforts sont importants et la place est limitée pour réaliser ce guidage. Afin d'obtenir une rigidité maximale, le guidage est construit à partir de deux roulements à rouleaux coniques jointifs. (Voir croquis ci-dessous).



Par ailleurs des poulies guident le câble le long du bras. Ces poulies subissent essentiellement des actions radiales et sont guidées par roulements à billes à contact radial. Le montage doit privilégier la simplicité de mise en œuvre et le coût.

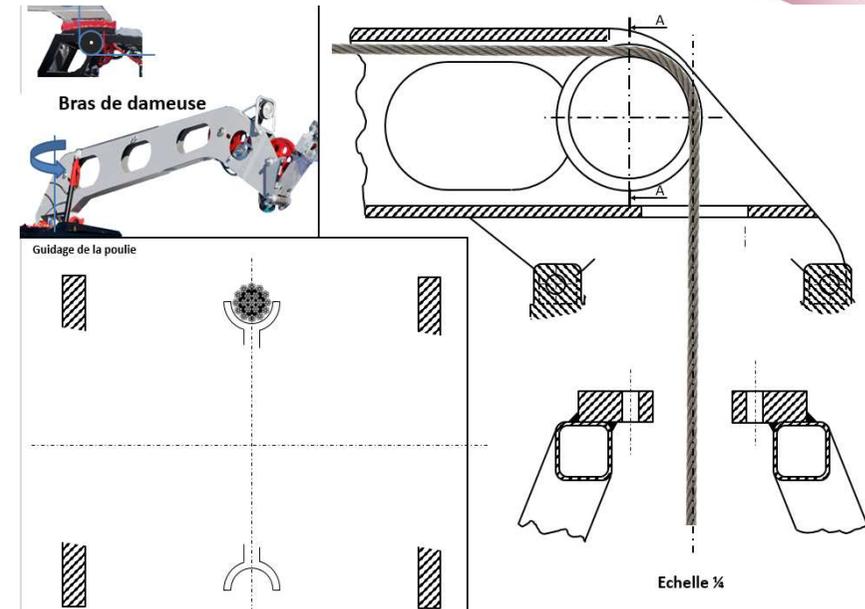
Le bras est réalisé en mécanosoudage mais une pièce spécifique telle que la pièce de liaison entre le bras le guidage vertical est moulée.

Les conditions d'utilisation nécessitent une attention particulière à l'étanchéité vis-à-vis du milieu extérieur.

Enfin l'entretien de toutes les liaisons de l'engin est facilité par la mise en place de graisseurs.

Fil rouge

Il est important de reprendre la démarche énoncée dans le cours avant de commencer le dessin!
(Analyse du cahier des charges, schéma cinématique minimal, architectural, croquis, ...),



Consignes pour la reconception :

1. Sur le calque pré-imprimé, concevoir le guidage en rotation vertical du bras par rapport à la dameuse.

Il est nécessaire d'être vigilant aux points suivants :

- diamètre intérieur minimal des roulements à rouleaux coniques : 170 mm ;
- diamètre extérieur minimal des roulements à rouleaux coniques : 260 mm ;
- protection maximale des joints vis-à-vis des conditions extérieures (par neige, chicanes, etc) ;
- Installation de conduites facilitants le graissage des roulements.

2. Sur le calque pré-imprimé, concevoir le guidage en rotation de la poulie du bras la plus proche du tambour.

Il est nécessaire d'être vigilant aux points suivants :

- Conception d'un guidage permettant une installation simple du guidage sur le bras ;
- Guidage en rotation avec roulements à billes à contact radial (diamètre intérieur = 55mm et diamètre extérieur=100mm) ;
- Installation de conduites facilitants le graissage des roulements.

Nouvel exemple : arbre de pompe

- On souhaite concevoir une pompe dont le schéma cinématique minimal est proposé :

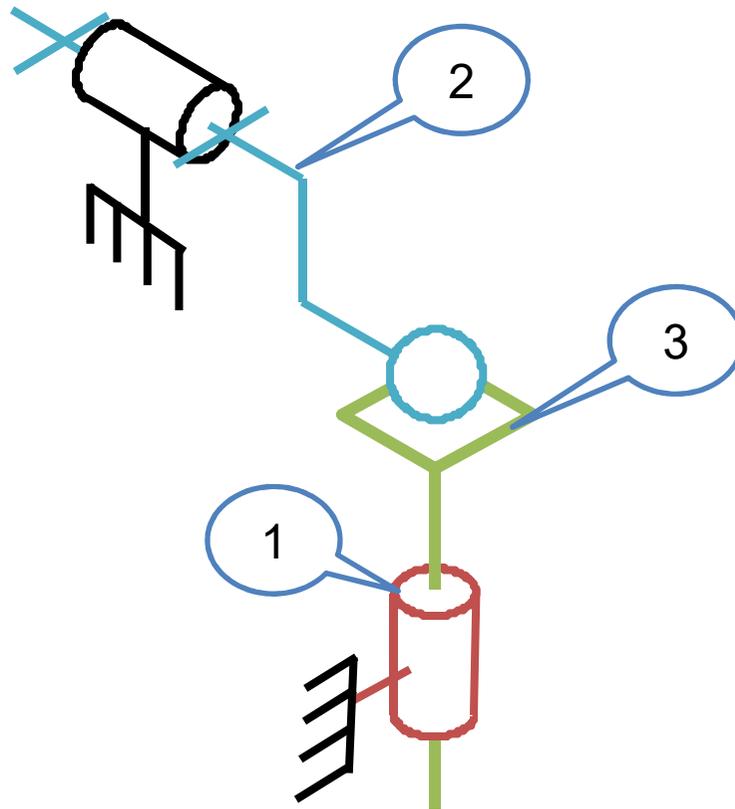
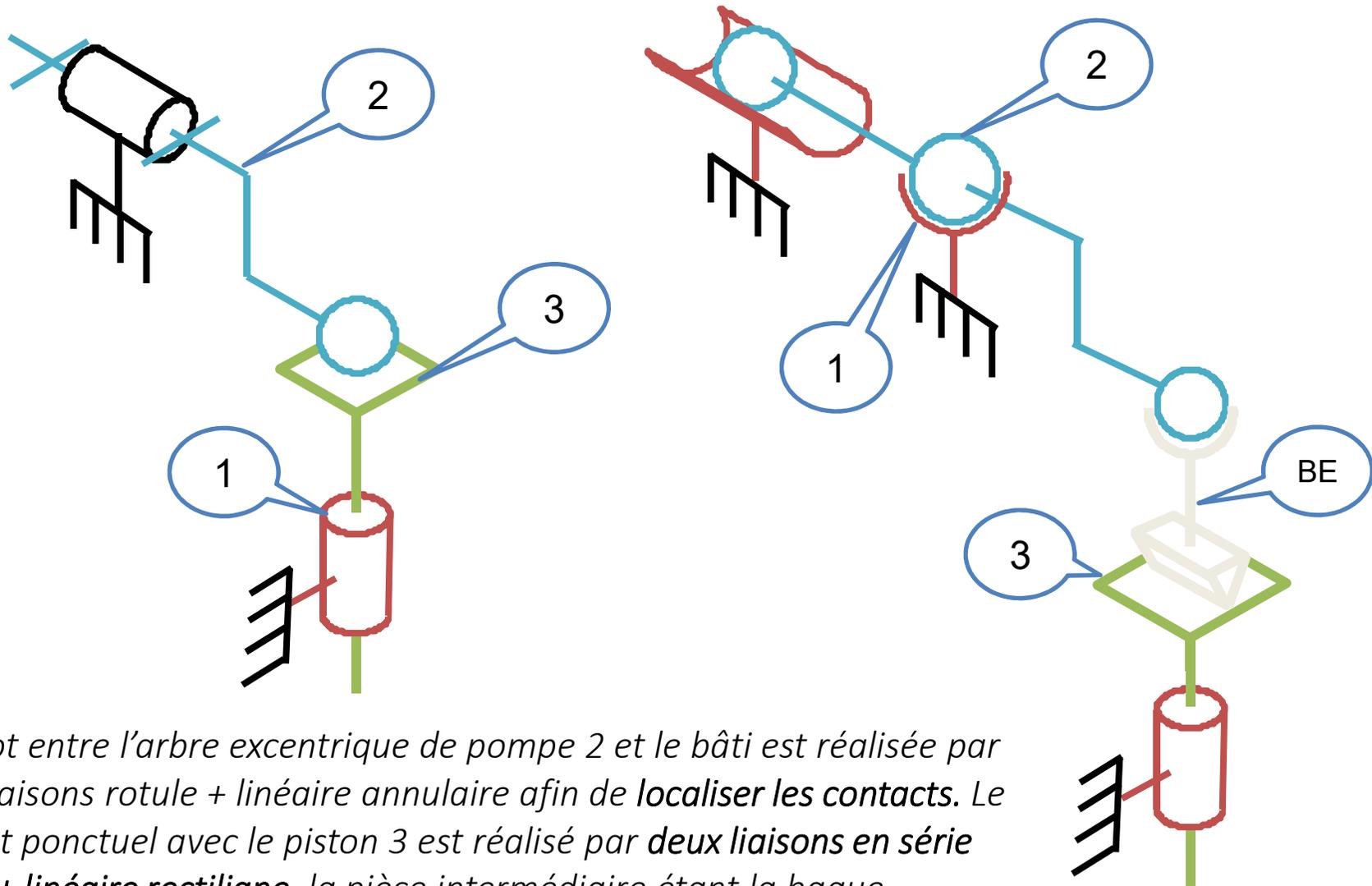


Schéma cinématique architectural ?

Nouvel exemple : arbre de pompe

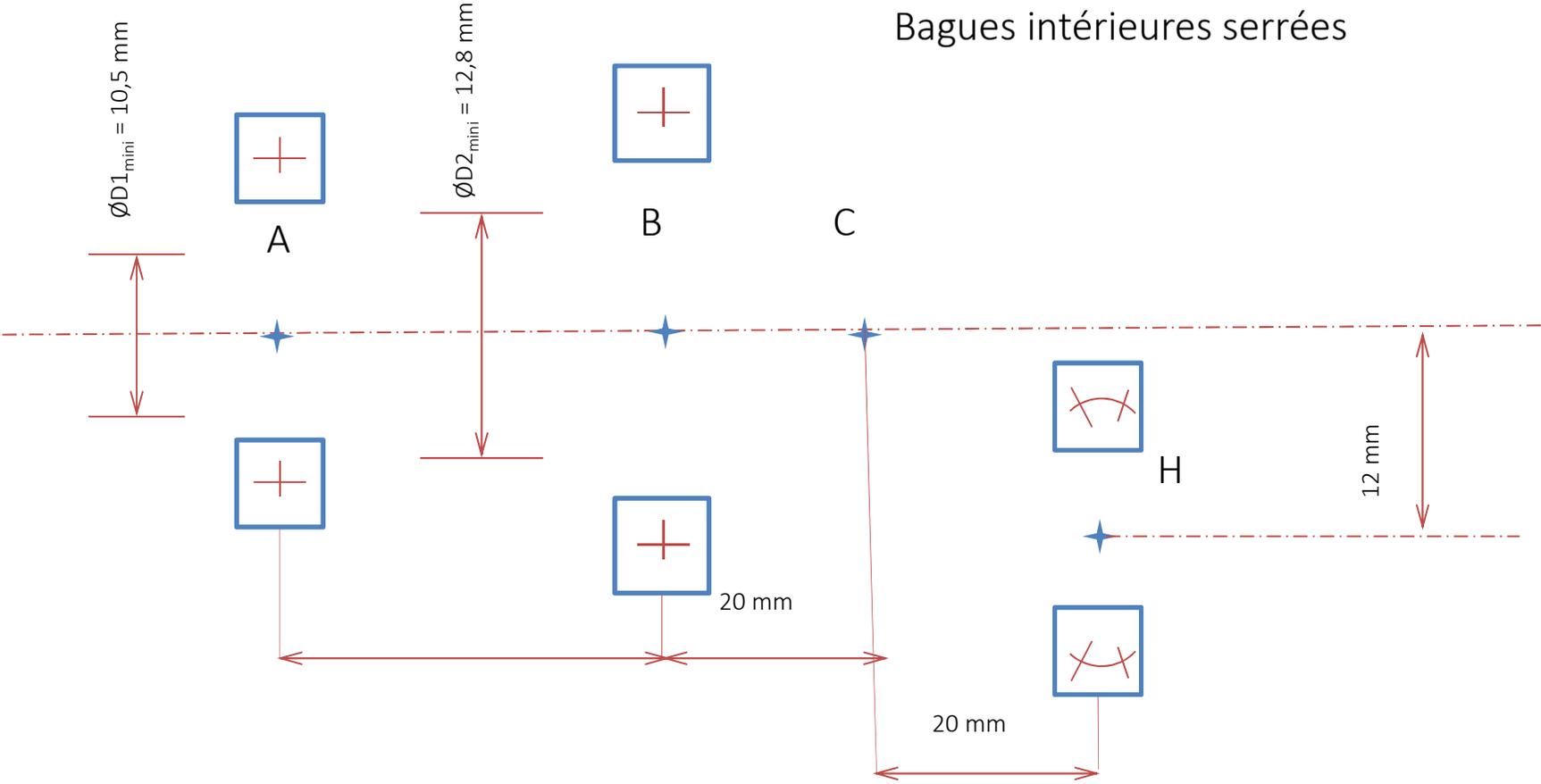


La pivot entre l'arbre excentrique de pompe 2 et le bâti est réalisée par deux liaisons rotule + linéaire annulaire afin de localiser les contacts. Le contact ponctuel avec le piston 3 est réalisé par deux liaisons en série rotule + linéaire rectiligne, la pièce intermédiaire étant la bague extérieure d'un roulement rotule. Ceci afin de mieux répartir les efforts.

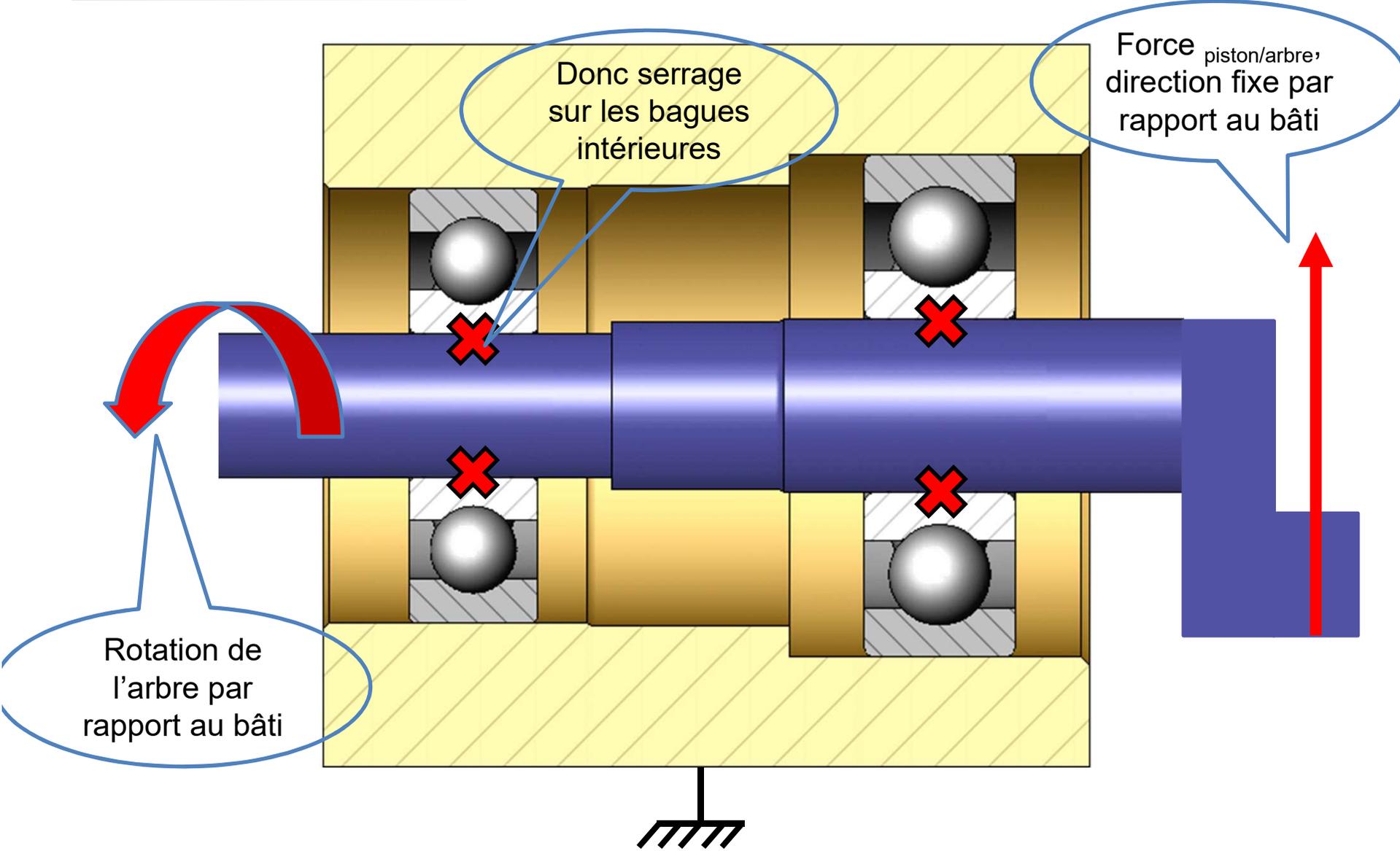
Trame générale pour l'arbre de pompe

Infos supposées connues :

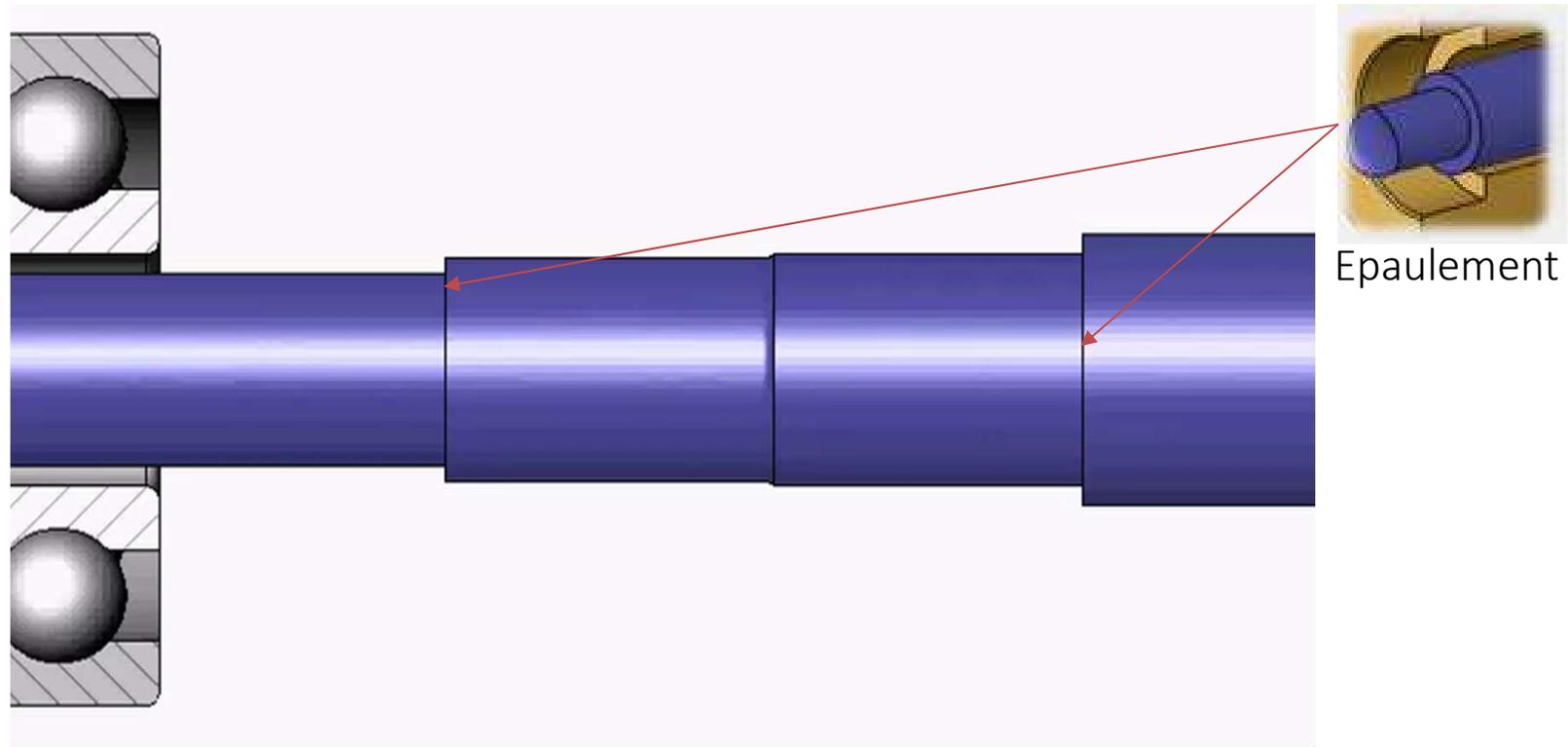
- Roulements choisis (distance, diamètre)
- Galet choisi
- Diamètre d'arbre connu (dimensionné)
- Bagues intérieures serrées



Serrage radial des roulements

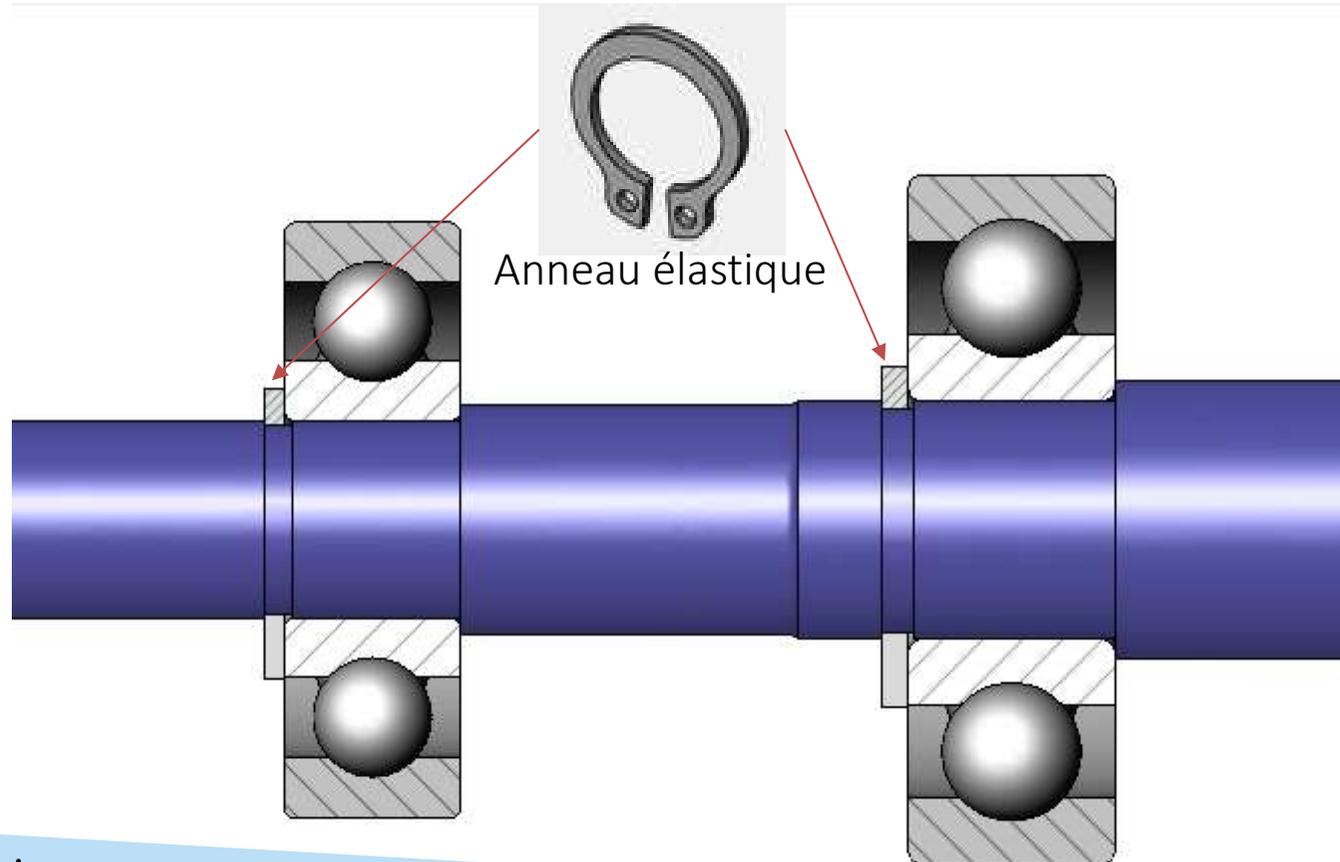


Choix des arrêt axiaux



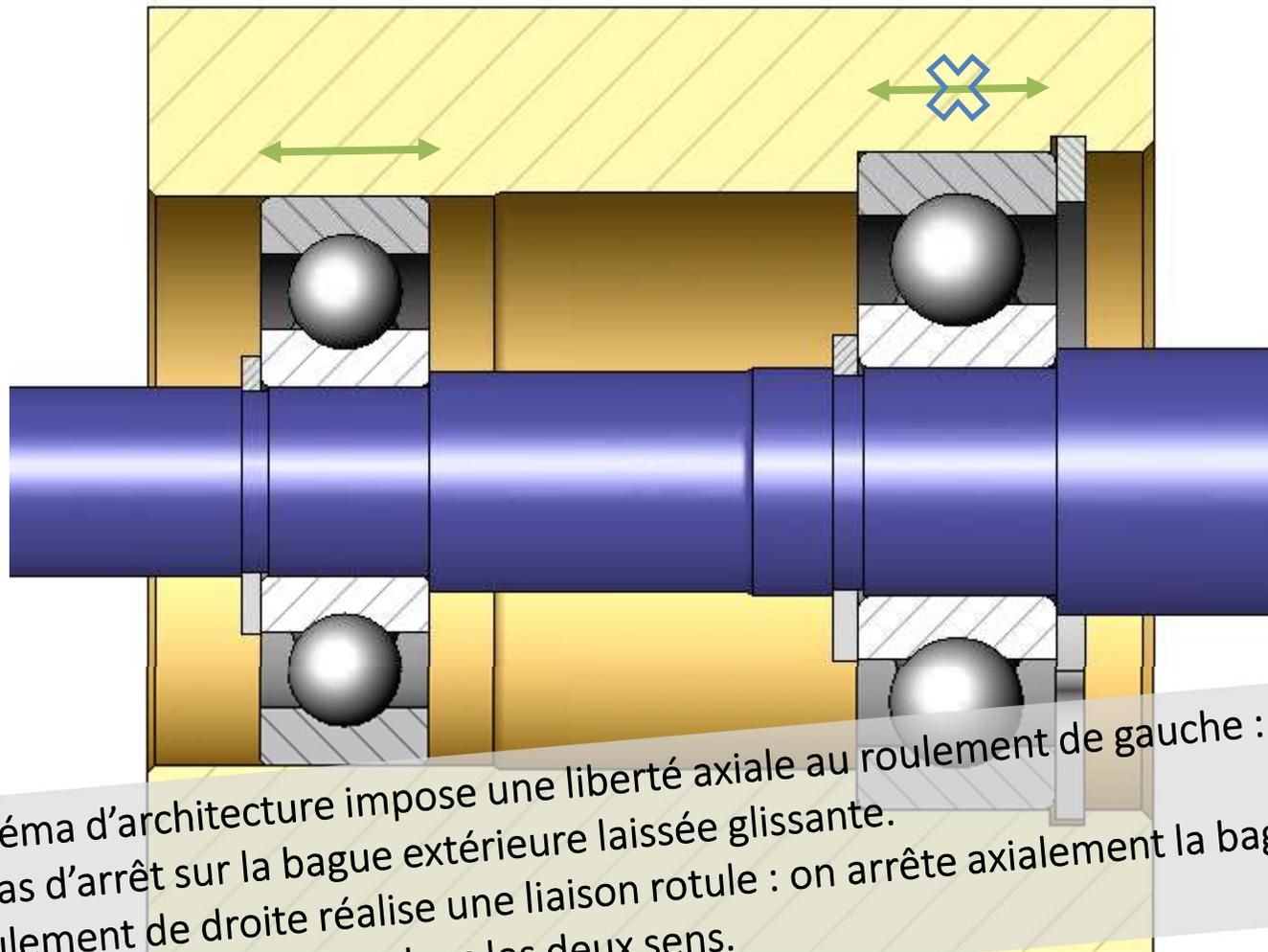
Le serrage des bagues intérieures nécessite un outillage spécifique (presse...). Il est préférable des les monter en une fois et afin de les positionner correctement de placer un épaulement dans le sens opposé au montage.

Choix des arrêts axiaux



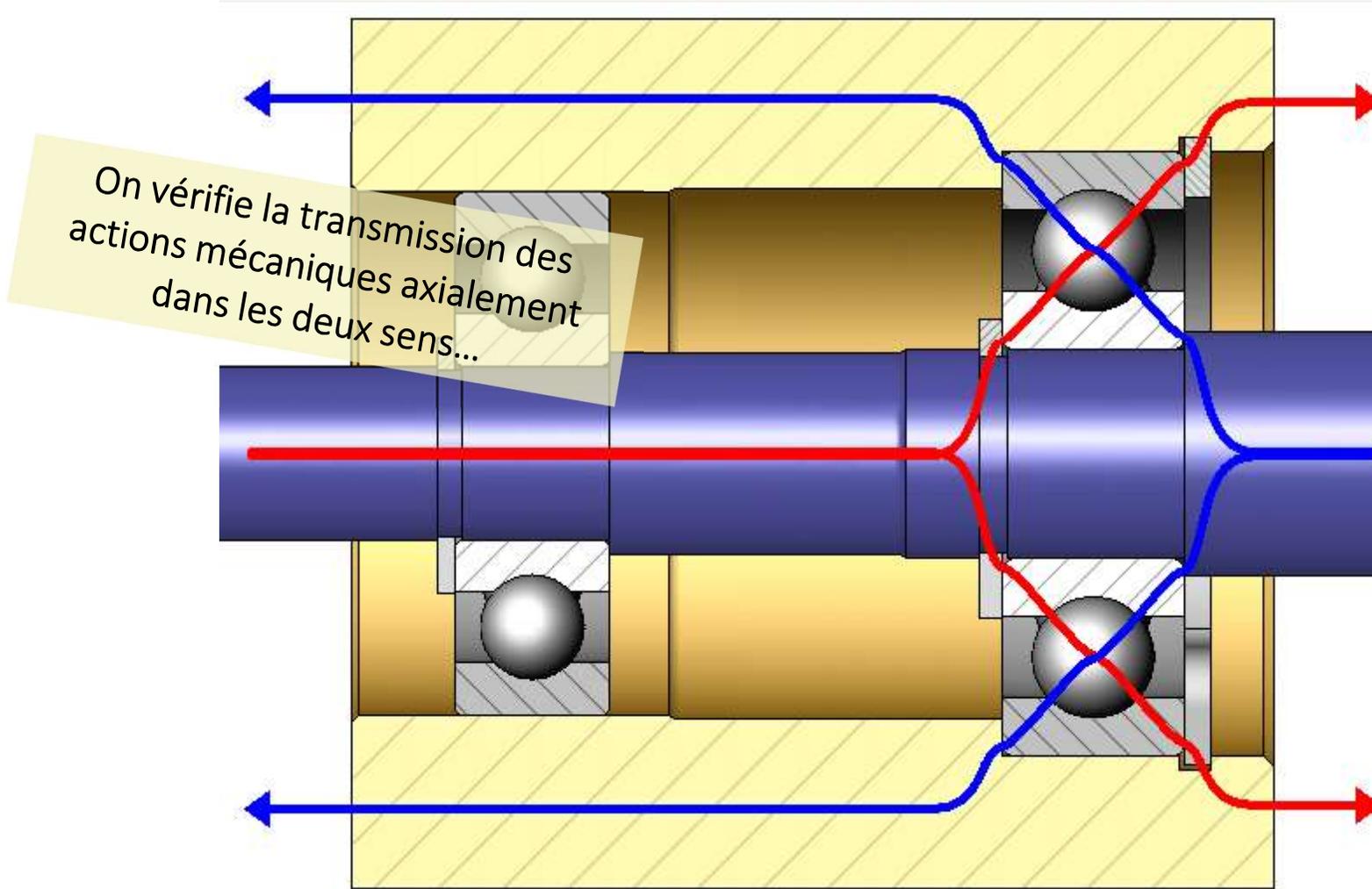
Afin d'éviter qu'un effort axial parasite (chocs notamment) ne viennent déplacer un roulement sur sa portée, il est conseillé d'arrêter axialement les bagues montées serrées dans les deux sens.

Choix des arrêts axiaux

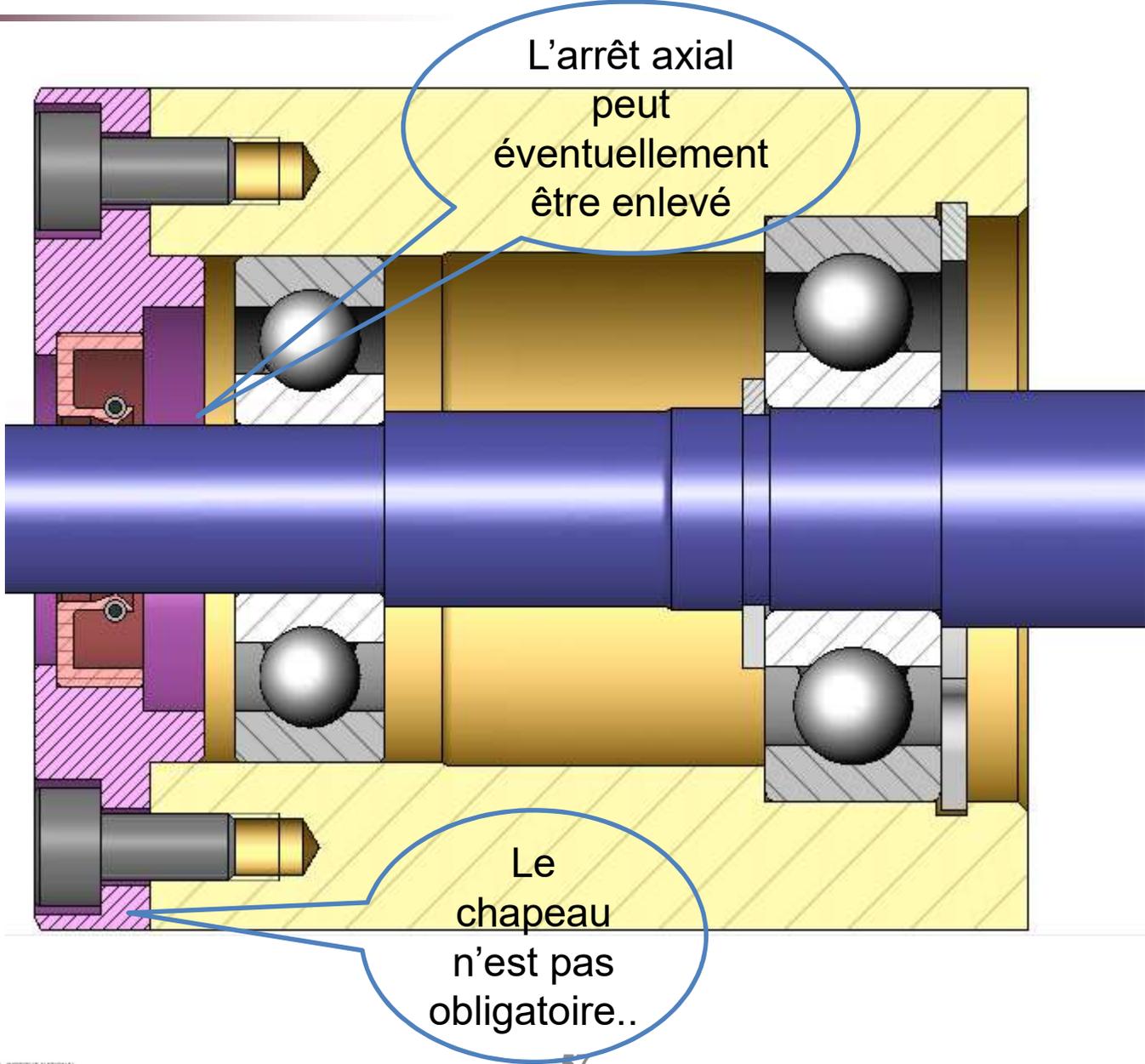


- Le schéma d'architecture impose une liberté axiale au roulement de gauche : on ne met pas d'arrêt sur la bague extérieure laissée glissante.
- Le roulement de droite réalise une liaison rotule : on arrête axialement la bague extérieure laissée glissante dans les deux sens.

Vérification de la fonction transmission des efforts



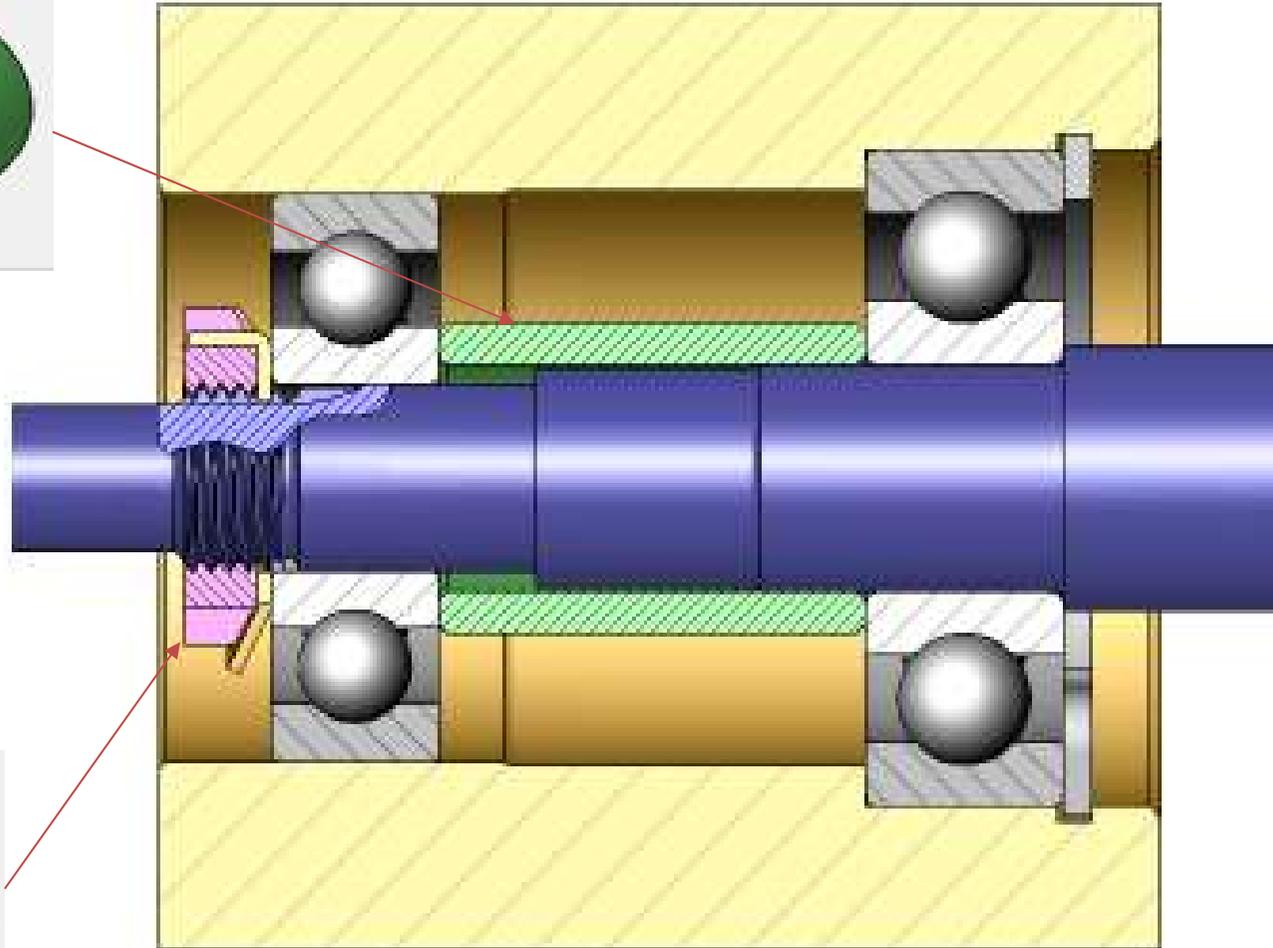
Fonction étanchéité



Alternative possible

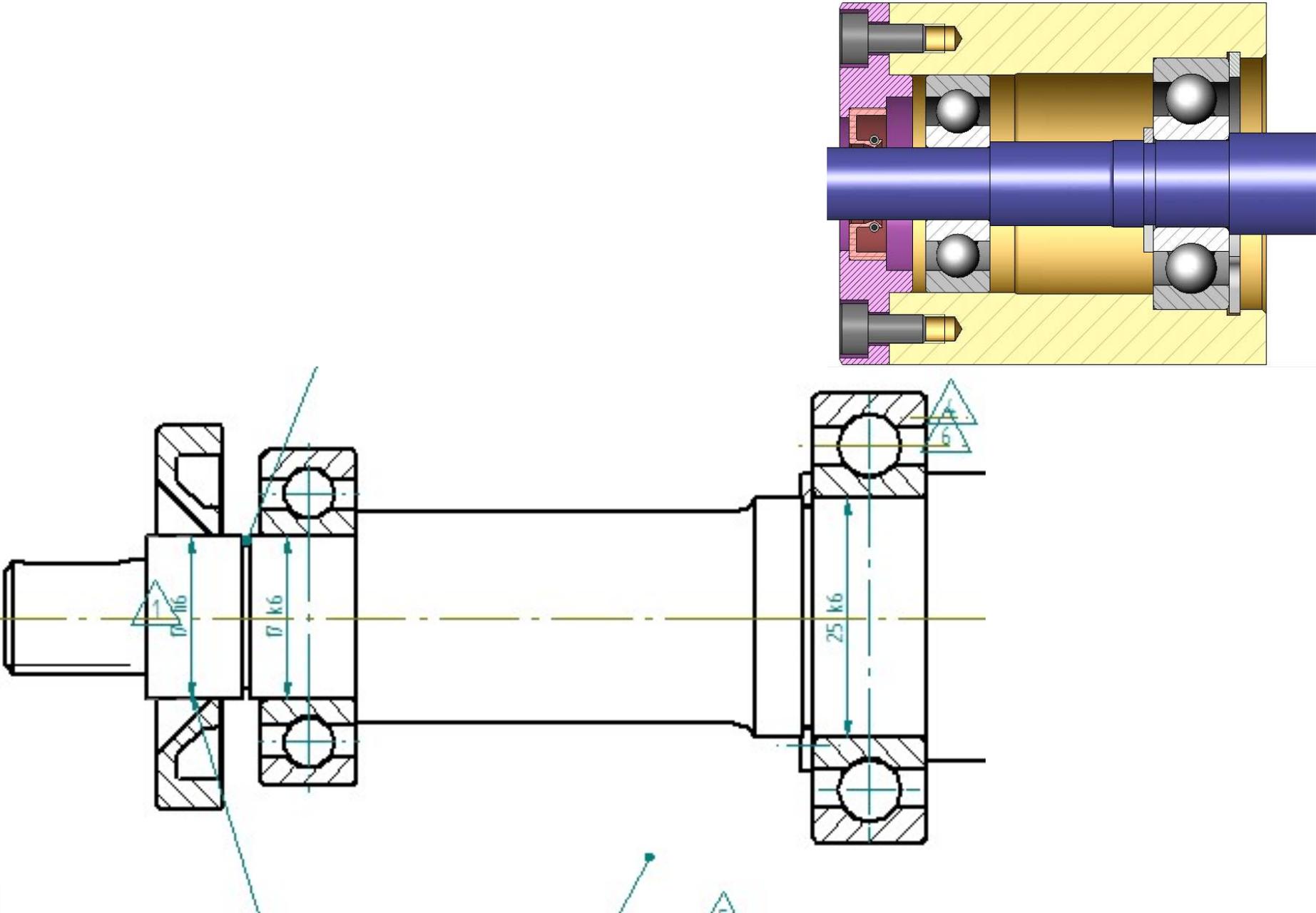


Entretoise

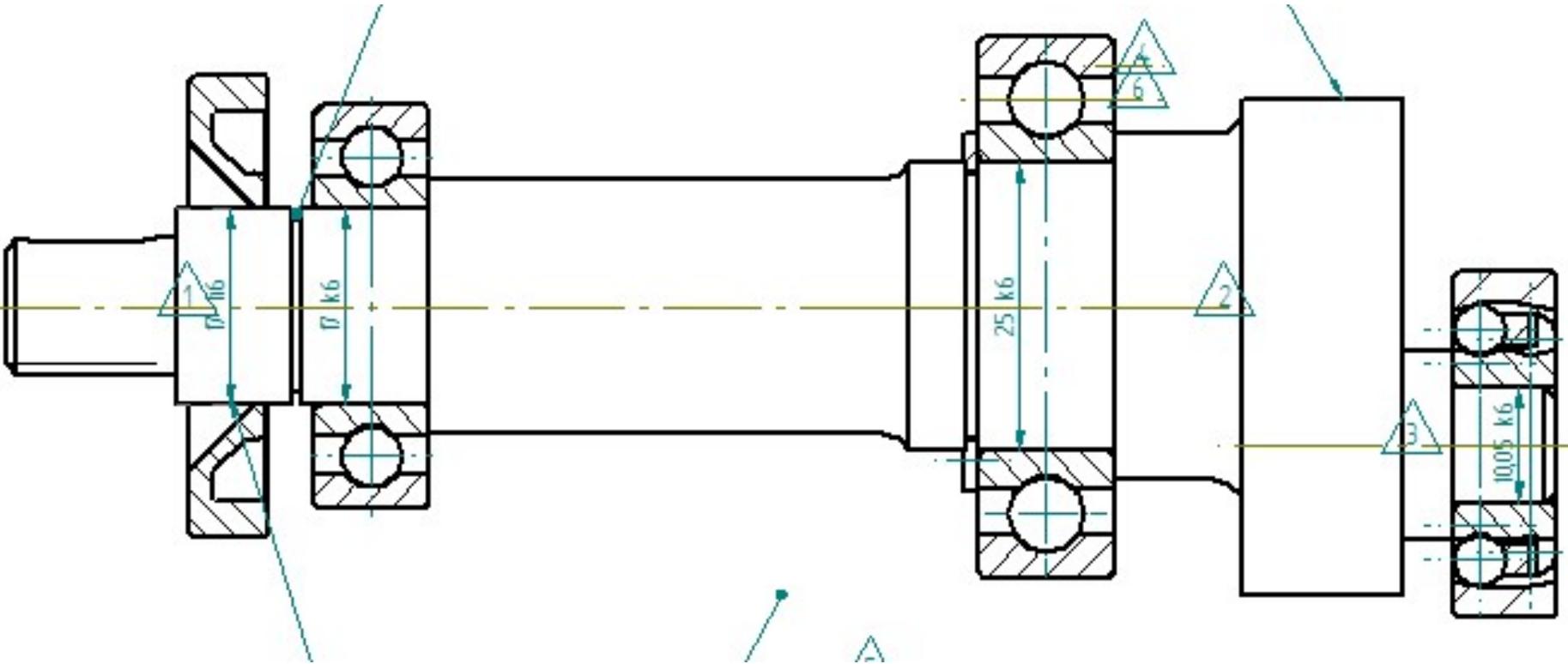


Éléments filetés

Placement des éléments (le tolérancement est incomplet)

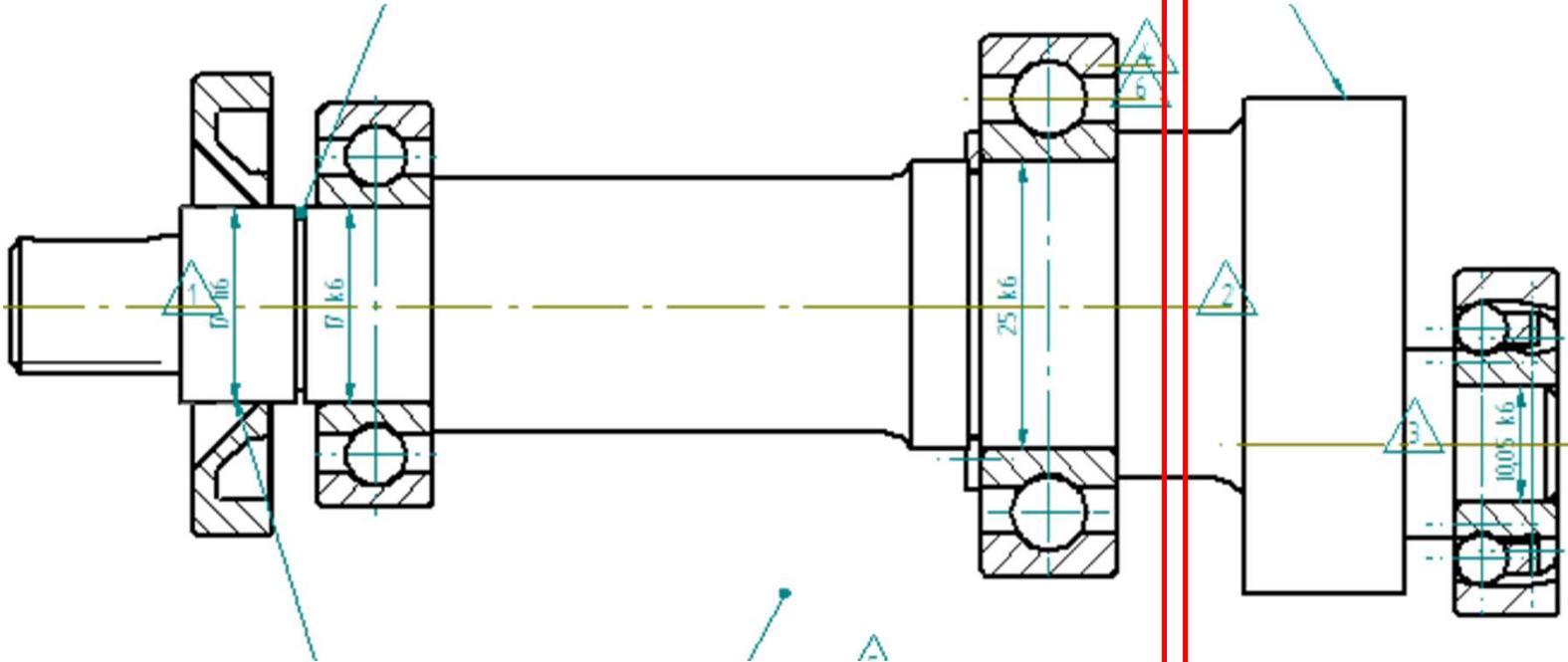


Mise en place du galet

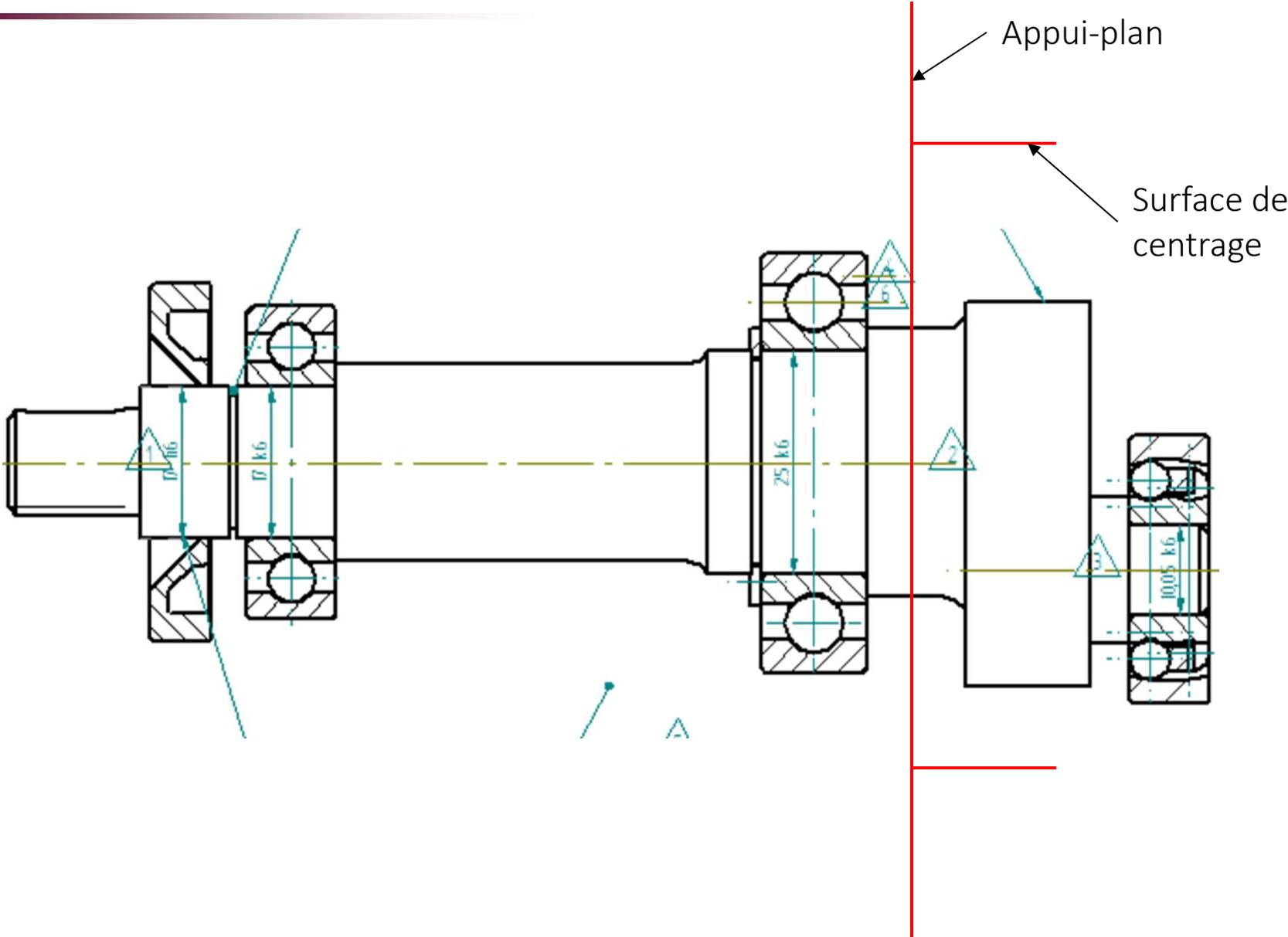


Conception du carter : surfaces fonctionnelles

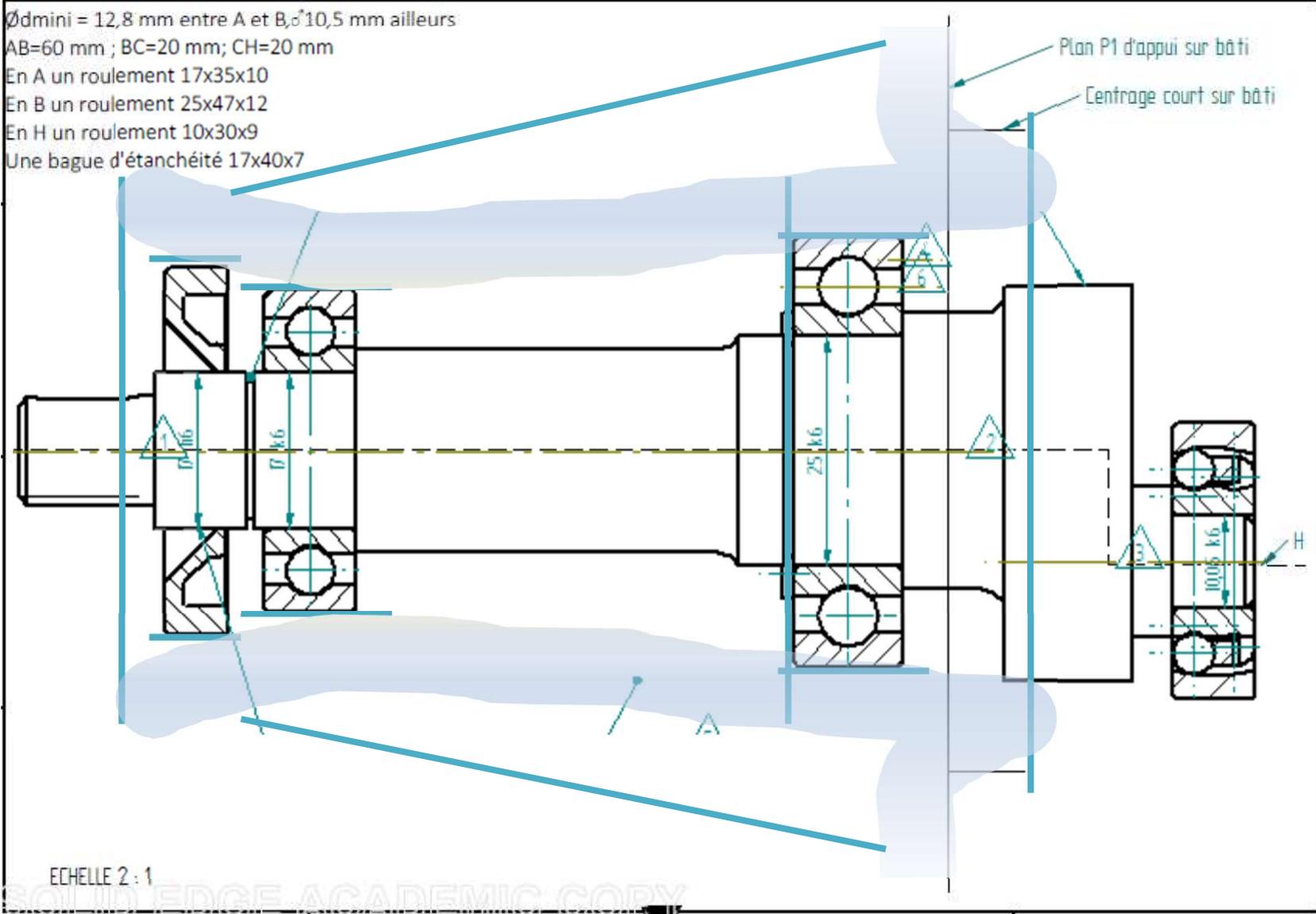
Carter en 2 parties
→ facilite le montage



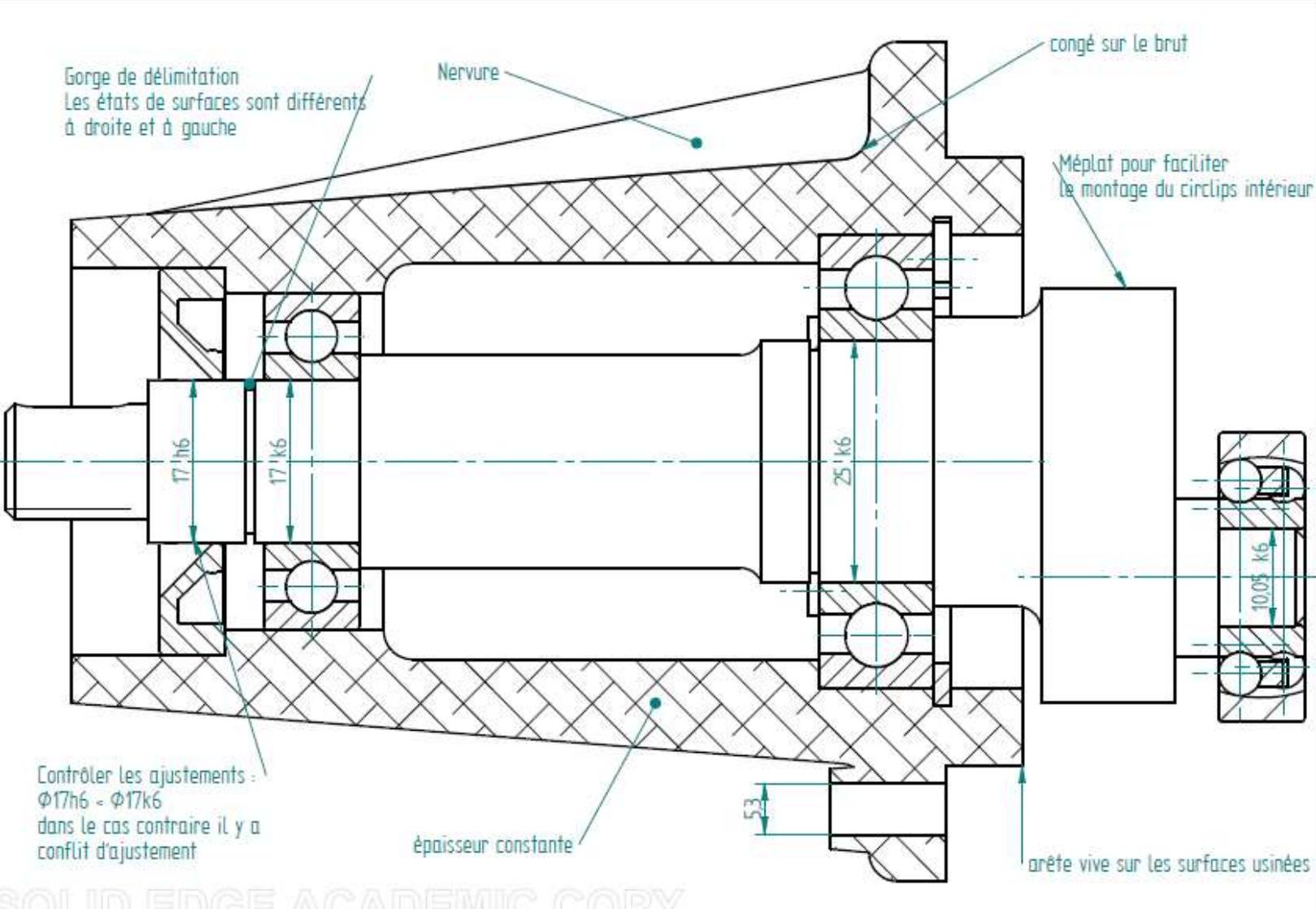
Conception du carter : surfaces fonctionnelles



Conception du carter : trame générale de la matière pour relier les surfaces



Intégration des contraintes de fabrication par fonderie



301 IN EDGE ACADEMIC COPY



Vue d'ensemble du carter



Vue d'ensemble de la pompe

