

PyVot: un outil qui tourne

CÉDRICK FAURY⁽¹⁾

L'étude des guidages en rotation fait partie de la plupart des référentiels d'enseignement des matières technologiques. Mais, très souvent, les élèves éprouvent la plus grande difficulté à analyser les liaisons pivots réalisées grâce à des roulements, et plus particulièrement leur architecture, car ils ont du mal à appréhender les notions de volume et de contact. Heureusement, voici PyVot, un logiciel qui se propose d'apporter un soutien aux élèves comme aux enseignants dans cette analyse, que ni le modèle numérique ni même le réel ne peuvent permettre seuls.

PyVot est un logiciel libre et gratuit (édité sous licence publique générale GNU), inspiré des célèbres logiciels Pivot (dû à Jean Rigout) et Pivot Roul (de Xavier Delecourt). Le code étant libre (et écrit en langage libre Python), chacun a la possibilité d'y opérer les modifications nécessaires à ses propres besoins.

PyVot est conçu de telle sorte que la prise en main ne nécessite aucune formation particulière. Il permet de construire des modèles simplifiés de montage de roulements. La représentation de ces montages est plane, mais réaliste.

Son objectif est de concentrer l'activité de l'utilisateur sur la structure du montage, sans que la connaissance

mots-clés
informatique,
lycée professionnel,
lycée technologique,
mécanique,
postbac

des règles de dessin ou de schématisation ne soit un préalable nécessaire à l'utilisation du logiciel. Le réalisme n'a pas été pour autant sacrifié, et les solutions techniques restent cohérentes : architecture interne des roulements, forme et implantation des éléments d'arrêt. Les proportions ne sont pas scrupuleusement respectées, autant pour des raisons techniques (programmation) que pour optimiser l'espace d'affichage **1**.

Ses principaux atouts sont :

- un affichage 2D clair, synthétique et réaliste d'une liaison pivot ;
- une analyse de la liaison qui met en relief le comportement sous charge axiale (même en cas de montage incorrect) et une animation simple du montage/démontage des éléments.

Un cahier des charges fonctionnel sommaire comporte, sous forme indicative, les critères suivants :

- Forme et intensité des charges sur le montage
- Estimation du coût

Nous allons passer en revue les principales fonctionnalités de PyVot à travers deux exemples simples de guidage en rotation :

→ L'analyse d'une liaison existante : cisaille Makita JS1660

→ La modification d'une liaison : réducteur Brown BW40

Chacune des maquettes numériques présentées est disponible sur le site du CNR CMAO de Cachan.


L'analyse d'une solution existante

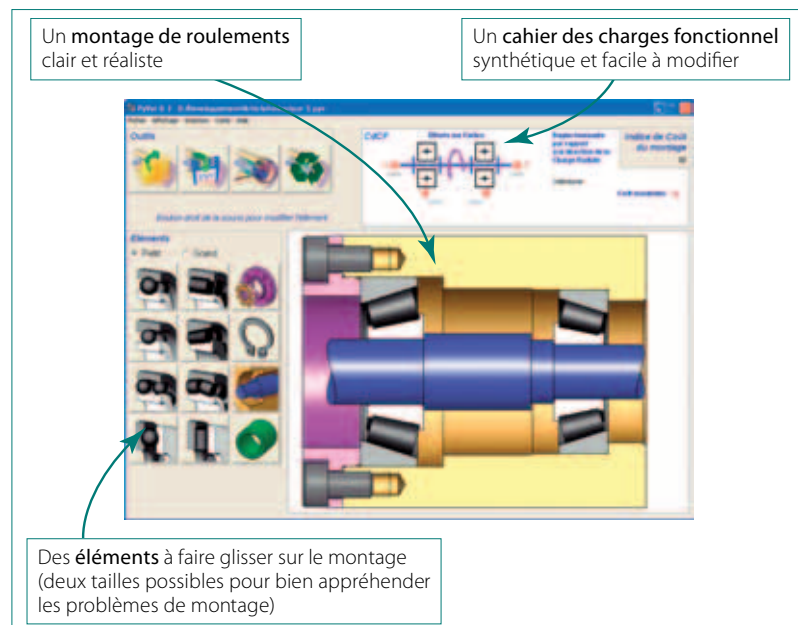
La cisaille Makita JS1660 est un petit outil portable, de gamme professionnelle, permettant de découper des tôles fines (jusqu'à 2 mm d'acier environ). La liaison étudiée est le guidage en rotation de l'excentrique avec le bâti **2**.

La construction de la liaison excentrique-bâti

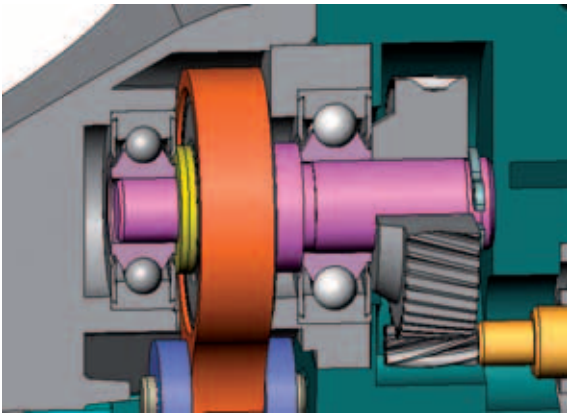
L'opération consiste à reconstituer le montage de roulements d'origine. Le premier réflexe est donc de construire la liaison par la simple observation de la nature des roulements et des éléments d'arrêt en translation.

L'établissement du cahier des charges fonctionnel (CdCF)

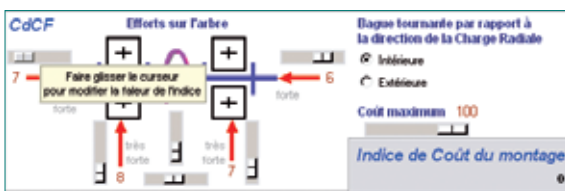
En pointant avec la souris sur le CdCF, des curseurs () s'affichent, permettant de modifier, toujours à l'aide de la souris, les différents paramètres relatifs aux charges **3**.



1 Une vue d'ensemble de la fenêtre principale de PyVot



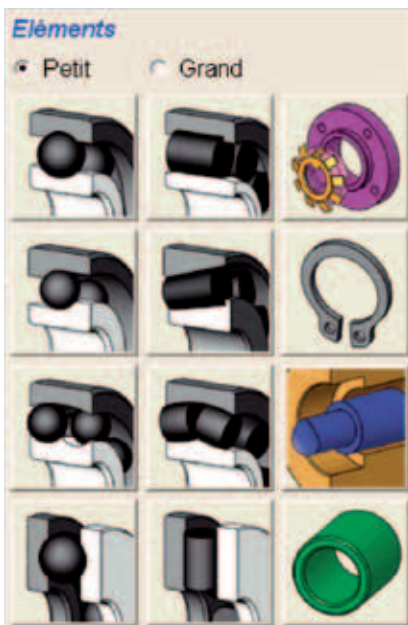
2 La liaison étudiée



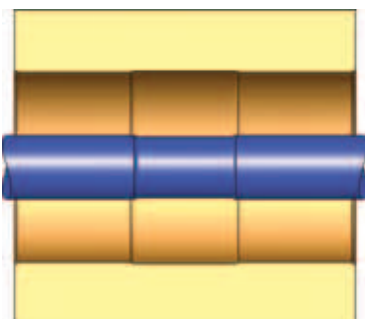
3 Le cahier des charges fonctionnel

La reconstitution du montage d'origine

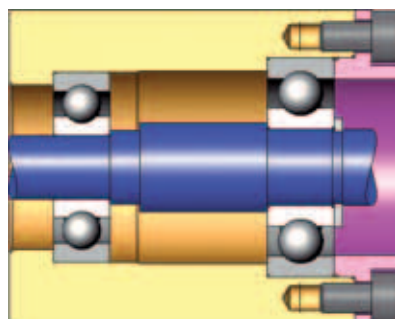
En choisissant les éléments dans la barre 4 située à gauche, puis en les faisant glisser jusqu'à leur emplacement, on construit aisément le « modèle PyVot » 5.



4 Les éléments à déplacer



Le modèle PyVot d'origine



Le modèle après construction

5 La construction

Résultats de l'analyse

Immobilisation Axiale du Montage
L'arbre n'est pas correctement arrêté axialement.

Résistance aux Charges
résistance axiale du montage :
Le montage ne résiste pas à la charge axiale.

résistance des roulements :
Un des roulements ne supporte pas la charge.

gauche **droit**
aucune charge charge combinée ne supporte pas

Montabilité des Eléments
Le Montage/Démontage de certains éléments est impossible !

montabilité de l'ensemble alésage :

montabilité du roulement :

Remarques Générales
Roulements incompatibles.
Une des bagues du roulement gauche n'est pas maintenue.

Retour au mode "édition"

Tracé de la chaîne d'action

Animation illustrant le défaut d'immobilisation axiale

Mise en évidence des éléments ne supportant pas la charge axiale

Étude de la résistance de chaque roulement

Mise en évidence éventuelle de roulements non montables sur leur logement

Animation du démontage-remontage des deux principaux sous-ensembles

Mise en évidence des obstacles au démontage

Analyse de la montabilité des roulements, indépendamment

Remarques sur la compatibilité des roulements ou quelques règles de montage

6 La zone de l'analyse

PyVot ne permet pas de modéliser les éléments insérés entre les roulements et les éléments d'arrêt axial, comme ici la rondelle et la roue dentée. Cependant, le comportement statique est *a priori* identique sans interposition de ces éléments.

L'analyse et le tracé des chaînes d'action

Une fois le montage terminé, un simple clic sur un bouton démarre l'analyse et affiche les résultats dans une zone située à gauche du montage 6. Les informations — dans le cas de notre exemple, celles de l'écran 7 — sont classées en quatre rubriques, que nous allons détailler.

L'immobilisation axiale du montage

PyVot vérifie que le montage est correctement arrêté axialement, dans chaque sens.

[1] Administrateur du projet PyVot. Courriel : cedrick.fauray@pyvot.fr

Si l'arbre est complètement arrêté axialement (s'il ne peut pas se déplacer sous l'action de la charge), PyVot propose de tracer la chaîne d'action. Il s'agit d'une ligne partant de l'arbre et allant jusqu'à l'alésage et passant par tous les contacts «activés» sous l'action de la charge axiale.

Si l'arbre n'est pas correctement arrêté axialement (s'il peut se déplacer sous l'action de la charge), PyVot propose une animation sur le modèle PyVot des déplacements (exagérés) qui se produiraient sous l'action de la charge. Cela permet de visualiser rapidement quels arrêts font défaut.

Pour la liaison étudiée, on constate que l'arbre est correctement arrêté axialement **8** — on peut donc afficher les deux chaînes d'action **9** —, mais que l'immobilisation bleue est hyperstatique.

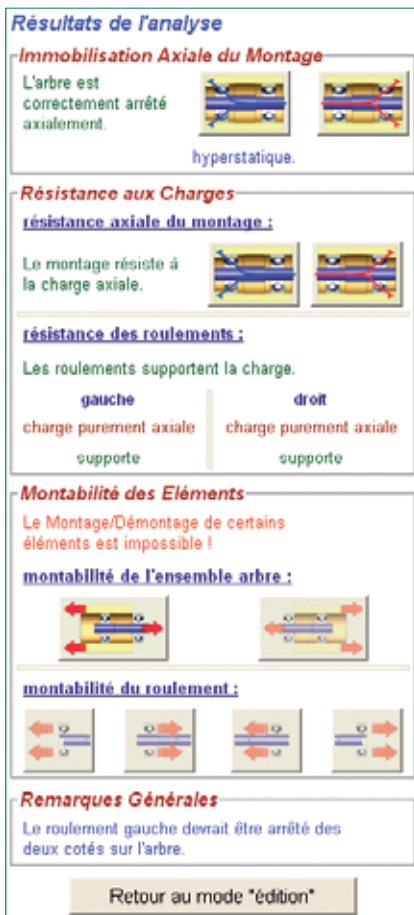
La résistance aux charges

PyVot estime la résistance de la liaison aux efforts axiaux sur l'arbre (dans les deux sens) et celle de chaque roulement selon la nature de la charge à laquelle il est soumis.

→ Pour les efforts axiaux

Les informations sont de deux ordres, pour chaque sens.

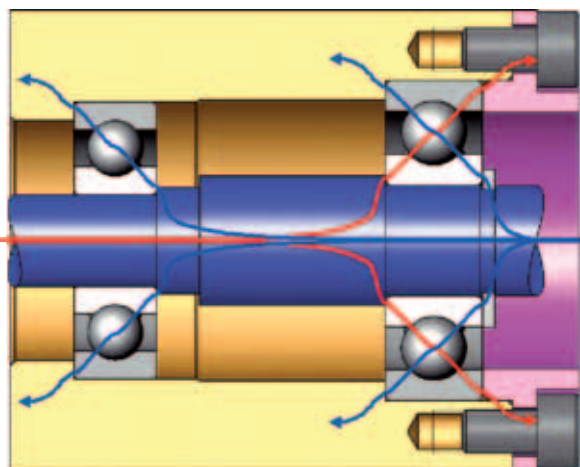
Si l'arbre est complètement arrêté axialement, PyVot évalue la résistance à la charge. Cette évaluation est basée sur la comparaison de l'indice de résistance des



7 Le résultat de l'analyse relatif à l'exemple



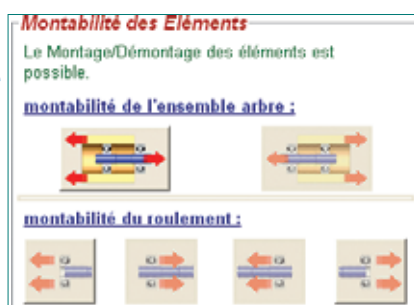
8 L'immobilisation axiale du montage



9 Les chaînes d'action



10 La résistance aux charges



11 La montabilité

éléments avec l'indice de charge spécifié dans le CdCF. Cette notion d'indice est un artifice du logiciel permettant de donner une valeur relative des charges, sans tenir compte ni de la dimension absolue de la liaison ni de conditions particulières d'utilisation.

PyVot propose alors de tracer la chaîne d'action, et, si certains éléments ne résistent pas à la charge, ils apparaissent en rouge sur le montage.

Si l'arbre n'est pas correctement arrêté axialement, PyVot propose l'animation des déplacements.

→ Pour les roulements

PyVot opère juste une comparaison entre les indices de résistance des roulements et les indices de charge spécifiés dans le CdCF, en tenant compte de la nature de la charge (axiale, radiale ou combinée).

PyVot nous annonce que notre montage résiste aux efforts. Ce n'est pas étonnant, car nous n'avons pas défini d'efforts dans le CdCF, si bien que la liaison est censée n'être soumise à aucune charge **10**.

La montabilité

PyVot fait l'hypothèse que les roulements sont d'abord montés, avec un ajustement serré, sur l'arbre ou sur l'alésage selon que la charge radiale tourne par rapport aux bagues intérieures ou extérieures des roulements. La montabilité est alors évaluée en deux temps **11**:

→ Montabilité de l'ensemble des éléments montés serrés

→ Montabilité de chacun des roulements sur cet ensemble

Il est important de noter que les roulements à bagues séparables sont pris en compte comme tels; il se peut

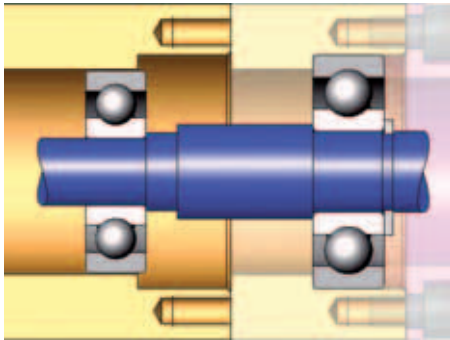
donc que leurs bagues doivent être séparées pour que le montage/démontage soit possible.

Pour chaque étape de montage possible, une animation est proposée: démontage du sous-ensemble «libre», puis des roulements **12**.

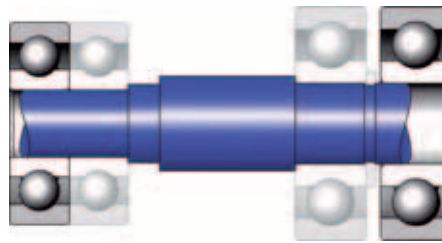
Si le montage n'est pas possible, un passage du pointeur sur le bouton associé à ce démontage fait apparaître en couleurs sur le montage les deux ensembles à séparer **13**. Un passage du pointeur dans la bulle permet de mettre en évidence, au cas par cas, les éléments qui entrent en collision **14**.

Les remarques générales

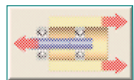
Dans cette catégorie sont placés d'éventuels commentaires complémentaires sur le montage **15**:



12 La simulation du démontage

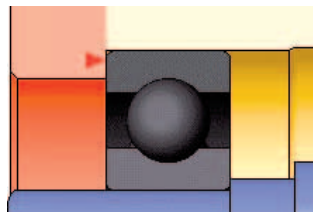


13 Le signalement d'une impossibilité



Collision entre les éléments suivants :

- roulement gauche
et arrêt palier gauche coté gauche
- roulement droit
et arrêt palier droit coté gauche



14 Le signalement d'une collision

→ Montages dits industriels (lorsque les bagues montées serrées des roulements non obliques ne sont pas arrêtés des deux côtés)

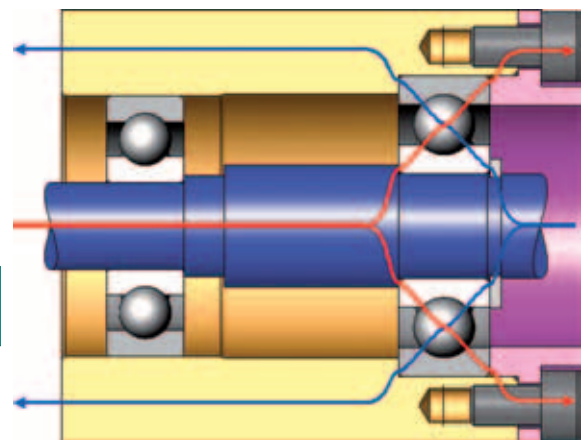
→ Roulements à contact oblique montés en parallèle

→ Roulement à contact oblique associé à un roulement à contact radial

Remarques Générales

Le roulement gauche devrait être arrêté des deux cotés sur l'arbre.

15 Les remarques générales



17 Le modèle après modification

L'interprétation des résultats

De tous ces résultats, nous pouvons tirer les activités qui suivent.

L'obtention du CdCF « maximum » associé

Il est possible de constituer un CdCF de telle sorte que les charges et le coût coïncident avec les indices maximaux admissibles par les éléments. Cela nous donne le CdCF « maximum » de l'écran 16.



16 Le CdCF « maximum »

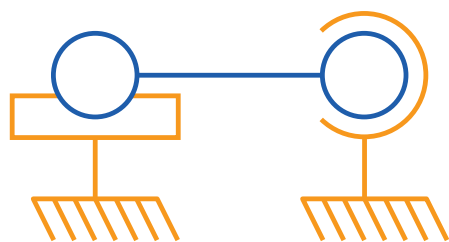
Ensuite, on peut constater, dans le cas de la cisaille, que la charge axiale, due à l'engrenage droit à denture hélicoïdale, n'est pas appliquée sur l'arbre, mais par l'intermédiaire de la roue dentée qui s'appuie **directement** sur la bague intérieure du roulement droit. Donc seul ce roulement participe à la transmission de cette charge, ce qui nous oblige à modifier le modèle de montage de manière que le roulement de gauche ne subisse pas l'effort axial 17.

Le roulement de gauche doit être arrêté des deux côtés de l'arbre 18. En déplaçant le pointeur sur l'élément, PyVot affiche l'indice de coût.

| Annexe élastique | |
|-------------------------------|-------------|
| | petit grand |
| Indice de charge admissible : | 1 2 |
| Indice de Coût : | 2 4 |

| Éléments pilotés | |
|-------------------------------|-------------|
| | petit grand |
| Indice de charge admissible : | 4 8 |
| Indice de Coût : | 10 20 |

18 Deux exemples de montage avec indice de coût



19 Le schéma structurel

Le schéma structurel

Le tracé des chaînes d'action mettant en évidence la « forme » des actions mécaniques transmissibles par chaque roulement, il constitue une précieuse indication pour l'analyse structurelle du montage. L'examen de ces charges nous permet de construire le schéma structurel 19. Ce modèle se prête alors à une étude statique, par exemple.

La modification d'une liaison

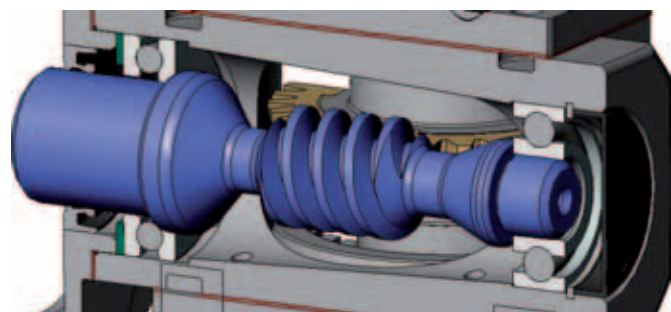
À l'aide d'un autre support, le réducteur Brown BW40, nous allons utiliser PyVot comme un outil de reconception.

Le problème technique

Le réducteur Brown BW40 est un réducteur à roue et vis sans fin. Ce modèle est conçu pour fonctionner dans un seul sens.

Le problème technique soumis aux élèves est le suivant : « La société Brown souhaite faire évoluer sa gamme de réducteurs en concevant un modèle capable de fonctionner dans les deux sens. »

Nous allons développer la démarche d'utilisation de PyVot comme outil de reconception en étudiant la liaison pivot entre la vis et le bâti, réalisée avec un roulement à billes à contact radial associé à une butée à billes simple effet 20.



20 Le modèle d'origine sous modèleur

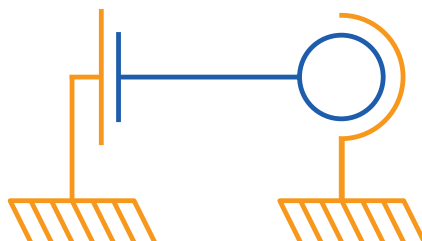
La mise en évidence du problème technique

L'observation du modèle volumique, suffisamment proche de la représentation adoptée par PyVot, permet, sans difficulté pour les élèves, de constituer le modèle PyVot 21.

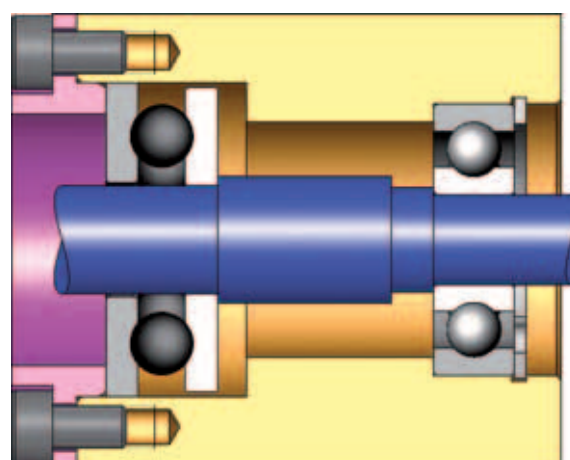
De la même manière que dans la première étude, on établit le CdCF « maximum » 22a, puis on le modifie pour avoir les mêmes indices de charge dans les deux sens 22b.

Les résultats de l'analyse sont donnés en figure 23. Il n'est pas surprenant de voir que le palier droit ne résisterait pas à l'intensité de charge axiale que supporte la gauche...

Le modèle cinématique de ce montage peut être décrit par le schéma structurel 24.



24 Le schéma structurel



21 Le modèle PyVot

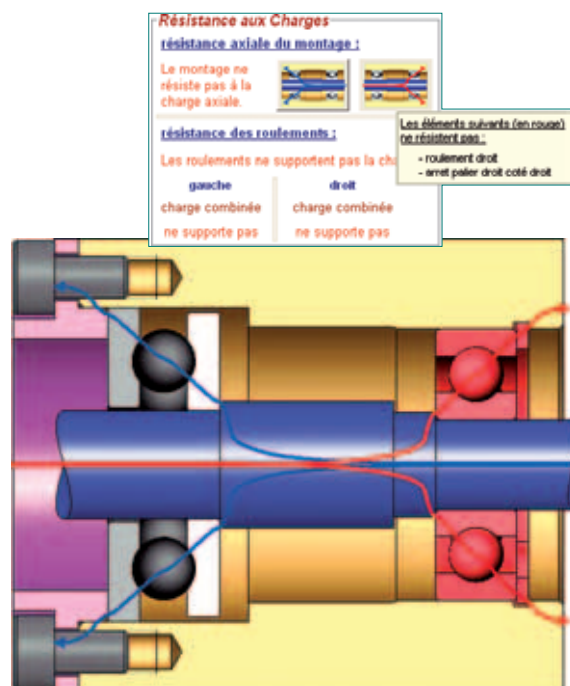


a Le CdCF « maximum »



b Le CdCF modifié

22 La modification du CdCF « maximum »



23 Le résultat de l'analyse

Cette architecture est théoriquement adaptée pour supporter des charges axiales dans les deux sens. Or, ni le roulement à billes à contact radial ni son arrêt axial (anneau élastique) ne sont dimensionnés pour supporter la charge inhérente à la puissance à transmettre, comme l'attestent

les informations contenues dans les info-bulles apparaissant au passage du pointeur sur les boutons des éléments 25.

Il en résulte que ce réducteur est prévu pour ne fonctionner que dans un seul sens, celui qui confie la charge axiale à la butée à billes.



Roulement à billes à contact radial

| Indices de charge admissible : petit grand | | | |
|--|----|----|--------------|
| axiale : | 2 | 4 | satisfaisant |
| radiale : | 2 | 4 | satisfaisant |
| combinée : | 2 | 4 | satisfaisant |
| Indice de Coût : | 10 | 20 | |



Anneau élastique

| Indices de charge admissible : petit grand | | | |
|--|---|---|--|
| Indice de charge admissible : | 1 | 2 | |
| Indice de Coût : | 2 | 4 | |

25 Les informations PyVot

La construction d'un nouveau modèle

Il s'agit alors de sensiblement modifier l'architecture 23, et pour un coût le plus faible possible, de remplacer les roulements existants par des roulements à rouleaux coniques. Une étude préalable, basée sur la durée de vie de la liaison et sur des contraintes d'encombrement (notamment le diamètre intérieur du roulement de gauche), propose d'utiliser :

- à gauche, un roulement de 25×47 ;
- à droite, un roulement de 15×42 .

Aucune modification ne serait apportée à la vis.

La première étape consiste à ébaucher le modèle de la liaison avec PyVot 27.

La vis n'étant pas modifiée, on peut placer les arrêts axiaux sur l'arbre 28.

Pour les arrêts sur l'alésage, la solution « anneau élastique » doit être abandonnée, comme l'atteste l'analyse 29.

L'élève est alors chargé de trouver l'arrêt le plus économique permettant de résister à l'effort axial tout en garantissant la montabilité de la liaison 30.

On l'amène ainsi à trouver une configuration *a priori* valide et pour un indice de coût un peu plus élevé : 44. Cette différence d'indice de coût est toutefois à relativiser, car elle ne tient pas compte des dimensions réelles des roulements : une étude plus précise des coûts des roulements serait nécessaire pour que la comparaison soit satisfaisante.

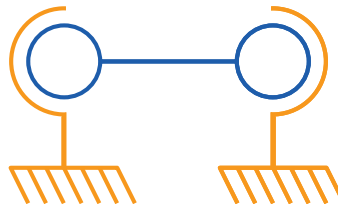
L'activité peut se poursuivre par la modification de la maquette numérique (avec l'aide d'une bibliothèque de composants pour obtenir les roulements), afin de mettre en évidence plus précisément les éventuels problèmes de montage, d'encombrement, de réglage...

En conclusion

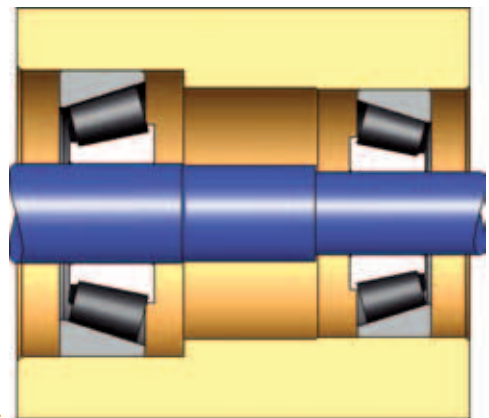
Comme vous avez pu le constater à travers ces deux études, le graphisme et les divers outils d'analyse de PyVot ont été élaborés de manière à assurer une prise en main très rapide, dans une optique pédagogique. En résumé, le logiciel permet :

- au professeur, d'agrémenter son cours de construction mécanique d'illustrations pédagogiques ;
- aux élèves, de rechercher ou valider une solution constructive de liaison pivot, dans le cadre d'activités de projet ou de travaux pratiques.

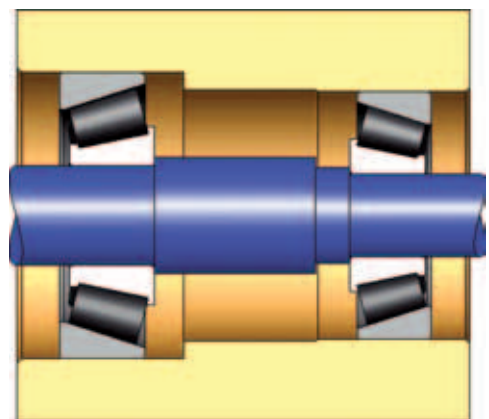
Il est le fruit du travail d'une équipe (développement, tests, site internet, versions Windows, Linux et Mac OS, documentation, ressources)... qui ne demande qu'à s'agrandir. ➔



26 Le schéma structurel modifié



27 Le modèle PyVot de la liaison



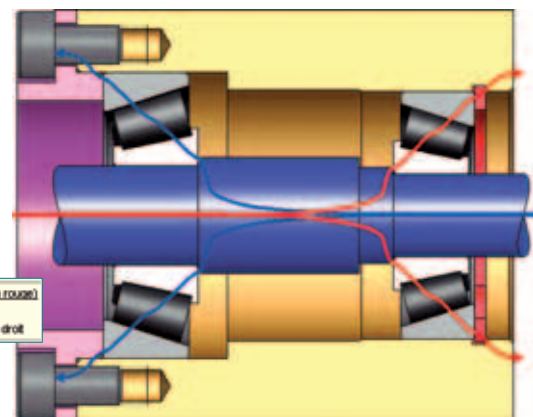
28 Les arrêts axiaux

Liens

PyVot : <http://pyvot.fr>
 Python (langage de programmation libre) :
<http://www.python.org/>
 Licence publique générale GNU :
<http://fsf.france.org/gpl/gpl-fr.fr.html>
 CNR CMAO de Cachan :
<http://www.cnr-cmao.ens-cachan.fr>

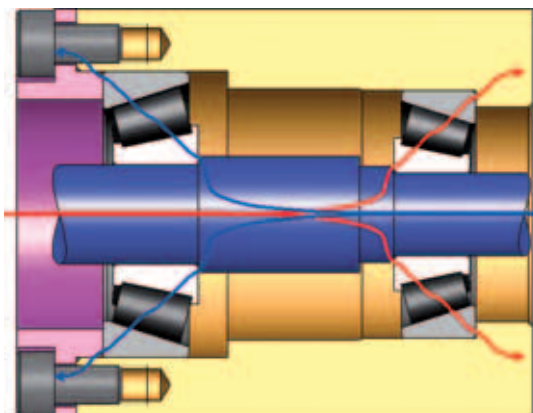
| Résistance aux Charges | |
|---|-----------------|
| résistance axiale du montage : | |
| Le montage ne résiste pas à la charge axiale. | |
| résistance des roulements : | |
| Les roulements supportent la charge. | |
| gauche | droit |
| charge combinée | charge combinée |
| supporte | supporte |

Les éléments suivants (en rouge) ne résistent pas :
 - arrêt palier droit côté droit



29 L'analyse de résistance aux charges

| Résistance aux Charges | |
|--|-----------------|
| résistance axiale du montage : | |
| Le montage résiste à la charge axiale. | |
| résistance des roulements : | |
| Les roulements supportent la charge. | |
| gauche | droit |
| charge combinée | charge combinée |
| supporte | supporte |



30 La nouvelle solution