



Secrétariat Général

Direction générale des
ressources humaines

MINISTÈRE
DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE

Sous-direction du recrutement

Rapport des membres du jury

Session 2009

**Concours interne de l'agrégation /concours d'accès à l'échelle de
rémunération des professeurs agrégés**

Mécanique

Les rapports des jurys des concours sont établis sous la responsabilité des présidents de jury

PLAN DU RAPPORT

	Page
Partie A – Rapport du jury	a.1
A.1 – Composition du jury	a.2
A.2 – Observations générales	a.3
A.3 – Résultats de la session 2009	a.5
A.4 – Compte-rendu de la première épreuve d'admissibilité	a.6
A.5 – Compte-rendu de la seconde épreuve d'admissibilité	a.12
A.6 – Compte-rendu de la première épreuve d'admission	a.16
A.7 – Compte-rendu de la seconde épreuve d'admission	a.25
A.8 – Références des textes officiels et des programmes	a.34
Partie B – Première épreuve d'admissibilité	b.1
B.1 – Sujet	b.2
B.2 – Eléments de corrigé	b.42
Partie C – Seconde épreuve d'admissibilité	c.1
C.1 – Sujet	c.2
C.2 – Eléments de corrigé	c.38

Agrégation de Mécanique
Concours interne
Session 2009

PARTIE A

RAPPORT DU JURY

A.1 – COMPOSITION DU JURY

AURIER Thierry	Professeur Agrégé
BERQUEZ Laurent	Maître de Conférences
BONNET Nicole	Professeur Agrégé
CERATO Gilles	Inspecteur Pédagogique Régional
FRANTZ Jacques	Professeur Agrégé
GAILLARD Patrice	Inspecteur Pédagogique Régional
MICHARD Francis	Chef de Travaux
PLANEIX Jean François	Professeur Agrégé
SAGE Michel	Professeur Agrégé
SARTOR Marc	Professeur des Universités - Président du jury
SCHMITT Jean Michel	Inspecteur Général
TAILLARD Philippe	Inspecteur Pédagogique Régional
TARAUD Dominique	Inspecteur Général – Vice Président du jury
VIOT Philippe	Maître de Conférences

A.2 – OBSERVATIONS GENERALES

Comme les éléments statistiques donnés au paragraphe A.3 le font apparaître, les admis au concours de la session 2009 arborent des résultats de très bon niveau, à la grande satisfaction du jury.

Une étude plus fine de leurs notes aux quatre épreuves que compte le concours montre qu'aucun d'entre eux n'a obtenu un mauvais résultat à l'une des épreuves, mauvais résultat qui aurait été compensé par un très bon score dans une autre épreuve. Le profil type du candidat qui réussit au concours de l'agrégation interne est donc celui du candidat qui prépare sérieusement les quatre volets sur lesquels porte l'évaluation.

Pour illustrer l'importance de cet équilibre, il faut savoir que, cette année, le candidat qui avait la meilleure moyenne à l'issue des deux épreuves d'admissibilité n'a pas été reçu au concours. Cela montre, une fois encore, qu'il ne faut pas se limiter à la préparation de l'écrit si l'on veut faire partie des lauréats. Bien sûr, il ne faut pas non plus se limiter à la préparation des épreuves orales, car dans ce cas le risque de ne pas passer le cap de l'admissibilité est important. On ne saurait donc trop conseiller aux candidats d'organiser de manière équilibrée leur préparation du concours.

Concernant les épreuves écrites, les programmes qui sont publiés par le ministère, et les nombreux sujets des années antérieures qui sont accessibles par différentes voies (dont le téléchargement), doivent constituer des repères importants pour guider ceux qui veulent orienter leurs études et approfondissements. Le champ des domaines couverts est relativement vaste, et c'est vrai qu'il n'est pas facile d'être au meilleur niveau dans tous les secteurs disciplinaires. Mais il apparaît qu'une parfaite connaissance des domaines les plus fondamentaux, accompagnée d'une bonne maîtrise dans un certain nombre de domaines plus particuliers, permettent en général d'atteindre un niveau de résultats déjà très honorables.

Concernant les épreuves orales, nous invitons les candidats à prendre connaissance des recommandations qui sont répétées dans les différents rapports du jury. Si les textes officiels fixent les caractéristiques principales des deux épreuves, les compléments qui figurent dans les rapports ne sont pas inutiles car ils sont là pour apporter aux candidats des informations pratiques susceptibles de leur éviter des choix qui s'avèrent généralement contreproductifs. Il est clair que, comme chaque année, parmi les candidats de 2009 qui se sont trouvés en difficulté, certains auraient obtenus de bien meilleurs résultats s'ils avaient pris le temps de mieux appréhender l'esprit des épreuves qu'ils avaient à préparer.

L'esprit et la lettre de ce concours restent donc inchangés. Il doit permettre à un professeur en fonction de prouver sa maîtrise des concepts et des connaissances de base des grandes composantes de la discipline et favoriser la réussite des enseignants experts en pédagogie, capables d'organiser et de structurer une formation de manière motivante, efficace et exigeante.

Le jury apprécie de constater que, malgré le faible nombre de places au concours interne (qui dépend directement du nombre de places offertes au concours externe l'année précédente), le nombre de candidats reste important, ce qui montre l'importance de ce concours de promotion interne, accessible à tous les professeurs qui feront l'effort de mettre à jour leurs connaissances disciplinaires et d'investir dans la pédagogie.

A.3 – RESULTATS DE LA SESSION 2009

Concours interne

Nombre de postes :..... 8

Nombre d'Admissibles : 23

Nombre d'Admis : 8

Moyenne d'admissibilité du premier Admissible :..... 14.34

Moyenne d'admissibilité du dernier Admissible :..... 11.37

Meilleure moyenne des deux épreuves d'Admission :..... 15.83

Plus basse moyenne des deux épreuves d'Admission :..... 05.50

Moyenne générale obtenue par le premier Admis :..... 14.41

Moyenne générale obtenue par le dernier Admis :..... 12.07

CAER

Nombre de postes :..... 2

Nombre d'Admissibles : 2

Nombre d'Admis : 1

Moyenne d'admissibilité du premier Admissible :..... 10.41

Moyenne d'admissibilité du dernier Admissible :..... 09.99

Meilleure moyenne des deux épreuves d'Admission :..... 10.75

Plus basse moyenne des deux épreuves d'Admission :..... 05.75

Moyenne générale obtenue par le candidat Admis : 10.37

A.4 – COMPTE RENDU DE LA PREMIERE EPREUVE D'ADMISSIBILITE

EPREUVE DE MECANIQUE PRENANT APPUI SUR UN SYSTEME INDUSTRIEL MACHINE D'ESSAI DE FATIGUE

Le sujet prenait appui sur l'étude d'une machine d'essai de fatigue de durite en élastomère. La machine proposée était un prototype pour lequel on réalisait l'analyse des performances ainsi qu'une proposition d'amélioration. Le sujet comportait 5 grandes parties ainsi qu'un exercice pédagogique. La première partie consistait à mettre en place la loi entrée sortie du mécanisme. La seconde portait sur l'étude de l'hyperstatisme du guidage du coulisseau et débouchait sur des spécifications géométriques. La troisième partie concernait l'optimisation des formes et du choix de matériau pour le coulisseau. La quatrième partie s'intéressait aux vibrations produites par le système. Enfin la cinquième partie conduisait à dimensionner une liaison complète. La partie pédagogique quant à elle concernait l'étude des montages de roulements en BTS CPI.

Le sujet comportait quelques ambiguïtés dans le repérage de certaines pièces du mécanisme. Il ne pouvait cependant pas y avoir de confusion car la désignation des pièces mentionnées était sans équivoque au vu de la nomenclature. Les rectifications nécessaires ont d'ailleurs été apportées rapidement au cours de l'épreuve.

Les différentes parties du sujet ont été traitées de manière assez inégale. Les trois premières parties ont été abordées par une majorité de candidats alors qu'il n'en a pas été de même pour les deux dernières.

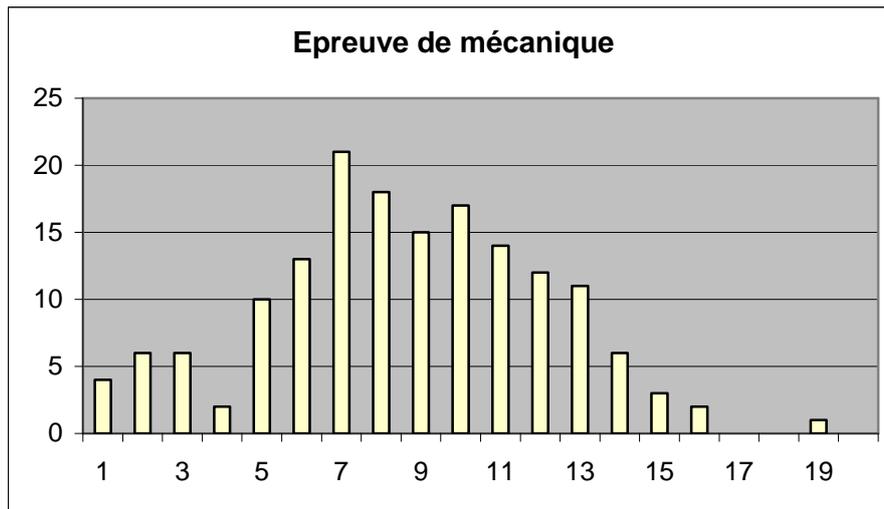
La partie pédagogique quant à elle a été bien traitée. Les candidats semblent avoir tiré la leçon des sessions précédentes où ils négligeaient trop souvent cette partie qui rappelle le représente un quart du barème final.

Les correcteurs ont eu à déplorer de trop nombreuses copies au soin approximatif. Ceci est difficilement acceptable de candidats à l'agrégation et la correction a dû en tenir compte.

Sur le fond, de bonnes copies se dégagent encore cette année mais on note un accroissement des candidats qui se présentent à cette épreuve avec une préparation insuffisante.

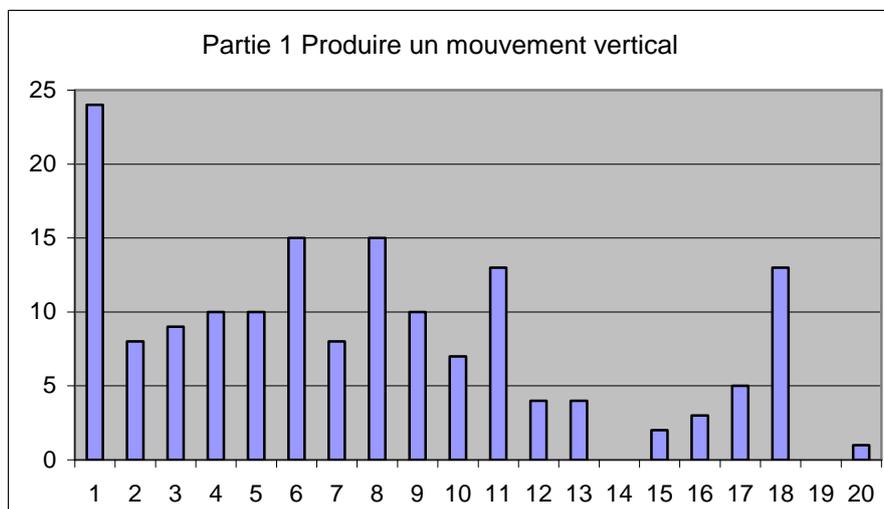
161 candidats ont composé à cette épreuve.

Moyenne : 8.1, Ecart type : 3.5



A.4.1 – Commentaires sur la 1^{ère} partie : Fonction technique : Produire un mouvement vertical

Cette partie s'intéressait à la loi liant la position angulaire de l'arbre d'entrée avec la position du coulisseau. 140 candidats ont traité la première partie qui portait sur l'étude cinématique du mécanisme. Les résultats à cette partie sont mitigés. On compte environ un quart de bonnes copies qui traitent cette partie. On peut déplorer qu'un grand nombre de candidats ne maîtrise pas ce type de problème qui est très classique et qui n'aurait pas dû surprendre autant de candidats.

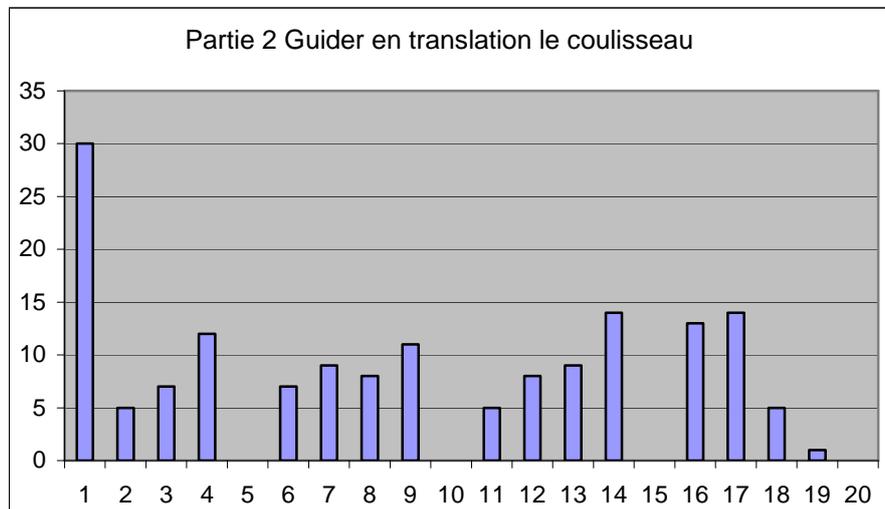


Nombre de candidats ayant traité la partie : 140

A.4.2 – Commentaires sur la 2^{ème} partie : Fonction technique : Guider en translation le coulisseau

Cette partie avait pour objectif la modélisation d'un sous-ensemble du mécanisme et la proposition d'éléments de cotation. De manière très surprenante, cette partie a été très mal traitée par de nombreux candidats. Beaucoup n'ont pas vu que le coulisseau était guidé par trois douilles à billes et non pas deux. La méthode de détermination de l'hyperstatisme d'un

mécanisme semble méconnue d'un grand nombre de candidats. Certains se contentent de donner une valeur numérique, souvent fautive, sans autre forme d'explication. La cotation, quand elle est abordée, présente de graves erreurs tant sur la forme que sur le fond. Les normes concernant la cotation ayant fait l'objet d'évolutions ces dernières années, les candidats doivent se préparer sérieusement afin d'être rigoureux face aux élèves quand ils devront enseigner cette partie du programme.



Nombre de candidats ayant traité la partie : 131

A.4.3 – Commentaires sur la 3^{ème} partie : Fonction technique : Transformer la rotation du satellite en translation du coulisseau

Cette partie avait pour objectif d'optimiser les choix de composants et matériaux d'une pièce. Elle se décomposait en trois sous-parties :

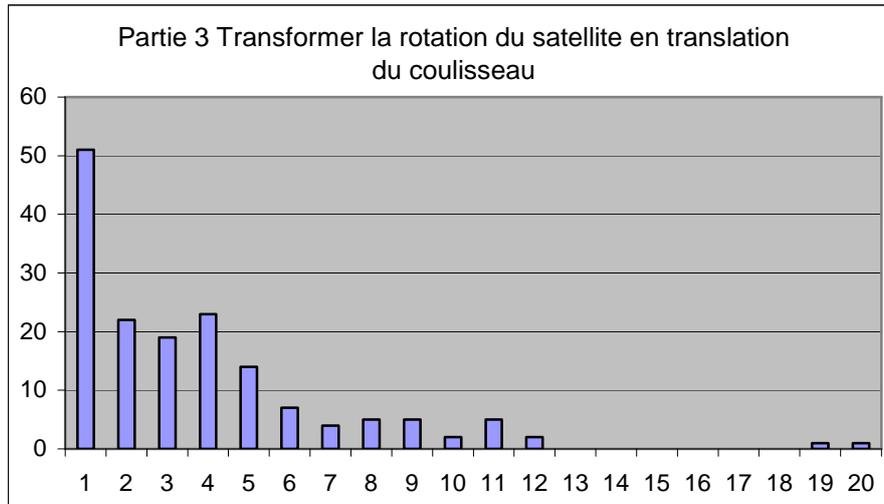
- La première consistait à appliquer le Principe Fondamental de la Dynamique au coulisseau pour déterminer les efforts. Il fallait cependant comprendre que la poutre était soumise à des efforts variables dans le temps et donc déterminer les conditions les plus défavorables. La configuration la plus défavorable était obtenue pour 90 degrés mais compte tenu du cahier des charges, celle-ci n'était pas atteinte. Beaucoup n'ont pas vu ce détail.
- La seconde partie avait pour objectif de discuter du choix du galet en appliquant la théorie classique de la durée de vie des roulements. Très peu de candidats sont allés au fond des choses, se contentant d'une analyse qualitative sommaire.
- La dernière partie avait pour but de répondre à deux contraintes contradictoires : concevoir un rail à la fois léger et résistant.

Dans un premier temps on s'intéressait à la pression de contact entre le galet et le rail de façon à montrer le choix impératif de l'acier pour cette fonction. Cette question ne posait pas de problème particulier, elle demandait seulement de la rigueur dans les applications numériques. Des erreurs de calcul ont parfois conduit les candidats à des erreurs d'interprétation grossières.

Ensuite, il fallait résoudre une question très classique de RdM hyperstatique. Beaucoup de candidats manquent de méthode et ont cherché systématiquement à travailler sur un modèle isostatique. La détermination des efforts intérieurs dans la poutre manque très souvent de rigueur et de méthode.

Enfin il était proposé de faire le choix du matériau constitutif du rail par la méthode des coefficients d'influence (Méthode issue des travaux de D. Ashby). Cette question a été plutôt bien traitée quand elle a été abordée.

Il fallait ensuite conclure sur la réalisation d'un rail bi-matériaux et proposer un système de réglage du jeu ce qui n'a pratiquement jamais été fait.



Nombre de candidats ayant traité la partie : 125

A.4.4 – Commentaires sur la 4^{ème} partie : Fonction technique : Eviter de transmettre des vibrations

Cette partie avait pour but de réaliser l'équilibrage dynamique du mécanisme. Cette partie a été abordée par à peine la moitié des candidats.

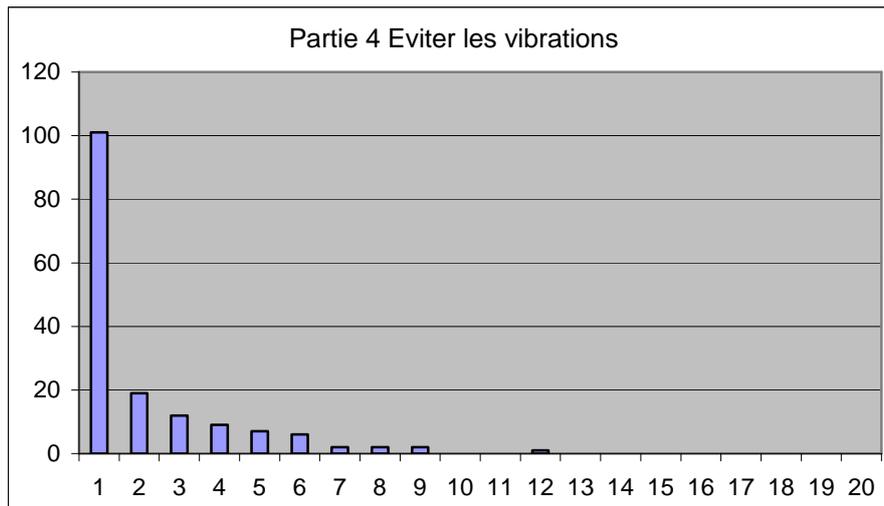
Dans une première sous partie on s'intéressait aux conditions d'équilibrage. Un grand nombre de candidats n'ont pas abordé correctement son traitement car ils ont appliqué les principes d'équilibrage des solides à un ensemble de solides, certains candidats n'hésitant pas à proposer de calculer la matrice d'inertie d'un ensemble de solides !

Malgré cela, une bonne moitié des candidats ont abordé cette partie correctement. Certains d'entre eux ont trébuché sur les formules de changement de point des moments cinétique et dynamique. Ces formules semblent mal connues d'un trop grand nombre de candidats.

Pour cette sous partie, on dénombre seulement une dizaine de bonnes copies.

Dans une seconde sous partie, on abordait l'étude de l'équilibrage des masses en rotation. La recherche du centre de gravité a posé beaucoup de problème. Il semble que les théorèmes de Guldin ne soient pas bien connus. Pour ceux qui sont revenus à la définition, les calculs d'intégrale ont posé quelques problèmes. Cette sous partie n'a été traitée que par 36 candidats.

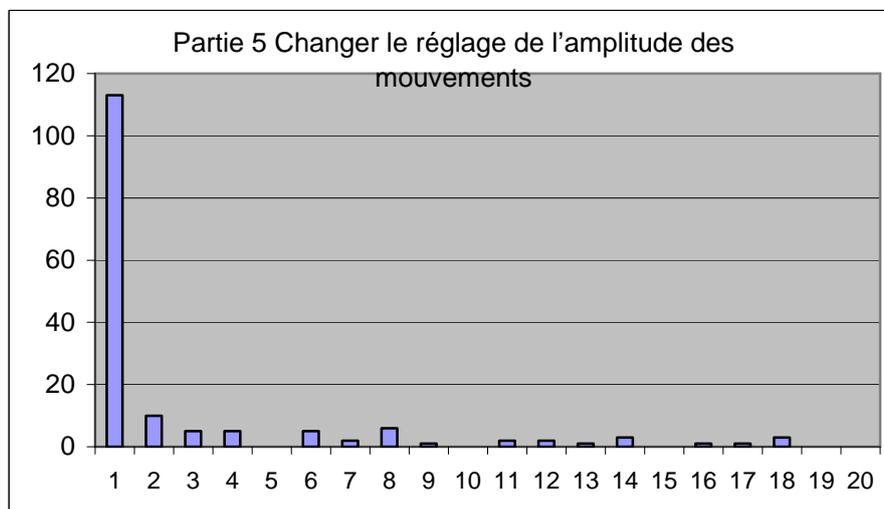
Dans la dernière sous partie, on abordait l'étude des masses en translation liées au coulisseau. Un modèle simplifié à un degré de liberté était proposé. Cette partie a été abordée par 53 candidats. On peut trouver de très bonnes copies pour cette partie. La seule vraie difficulté résidait dans l'écriture correcte du principe fondamental de la mécanique. Quelques candidats ont eu du mal à identifier l'effort oscillant d'excitation et l'effort transmis au sol. Certains candidats ont oublié le coulisseau, comme s'il ne faisait pas partie du mécanisme ! Malgré tout, cette sous partie a été plutôt bien traitée, et on peut même féliciter certains candidats qui sont venus à bout des calculs et qui ont pu formuler des remarques pertinentes dans les dernières questions.



Nombre de candidats ayant traité la partie : 88

A.4.5 – Commentaires sur la 5^{ème} partie : Fonction technique : Changer le réglage de l'amplitude des mouvements

Cette question avait pour but le pré-dimensionnement d'une liaison complète boulonnée, située en fin de sujet, elle a été rarement abordée. Néanmoins certains candidats l'ont traitée de manière très correcte. La démarche de calcul proposée était très classique, mais nécessitait un bon sens pratique. Elle faisait l'hypothèse de transmission du couple par frottement afin de réaliser le dimensionnement de la visserie en traction torsion. Il fallait en tirer des conclusions quant au nombre et classe de qualité de la visserie.



Nombre de candidats ayant traité la partie : 48

A.4.6 – Commentaires sur la 6^{ème} partie : Exercice pédagogique

Cette année, cette partie a été abordée par presque tous les candidats. Certains candidats n'ont d'ailleurs abordé que cette partie.

L'exercice pédagogique portait sur les solutions constructives des liaisons pivot par roulements en classe de BTS CPI.

Cet exercice était divisé en trois parties.

La première partie consistait à établir un document de synthèse sur le choix d'un type de roulement.

La seconde partie consistait à établir un second document de synthèse sur le choix d'un type de montage.

Enfin, la troisième partie finalisait le tout dans la description d'une séance de TD sur les deux thèmes précédents.

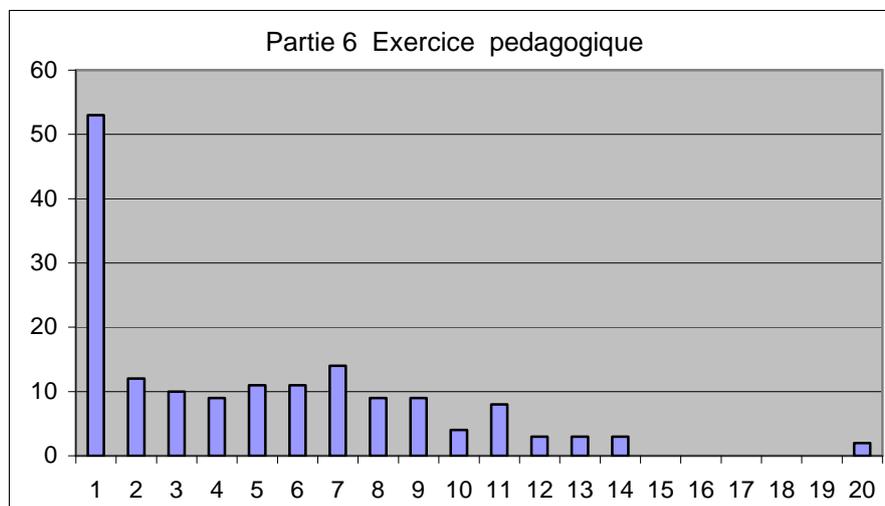
Tous les candidats ayant abordé l'exercice pédagogique ont traité l'une des deux premières parties. La dernière partie a été moins traitée.

Pour les deux premières sous parties, on trouve de très bonnes copies qui ont su établir de vrais documents de synthèse. Il fallait en effet ici choisir les critères à mettre en valeur et choisir une mise en forme claire qui permette rapidement à la lecture du document d'identifier les roulements qui répondent à tel ou tel critère. Certains ont d'ailleurs fait des présentations graphiques agréables à lire et très efficaces en termes d'identification.

Les candidats qui n'ont pas réussi ces parties ont confondu document de synthèse et document constructeur, or ces derniers sont rarement à visée pédagogique.

La dernière partie a été traitée par peu de candidats. On trouve de bonnes copies voire de très bonnes copies parmi ceux qui l'ont abordée. Malheureusement, la majorité des séances proposées développent des questionnements qui sont hors sujet ou qui veulent traiter l'ensemble des problèmes d'une liaison pivot en y intégrant toutes les difficultés. Au final, les TD proposés deviennent irréalistes car ils supposent un nombre de pré requis trop importants.

Une copie se distingue très nettement de l'ensemble des candidats.



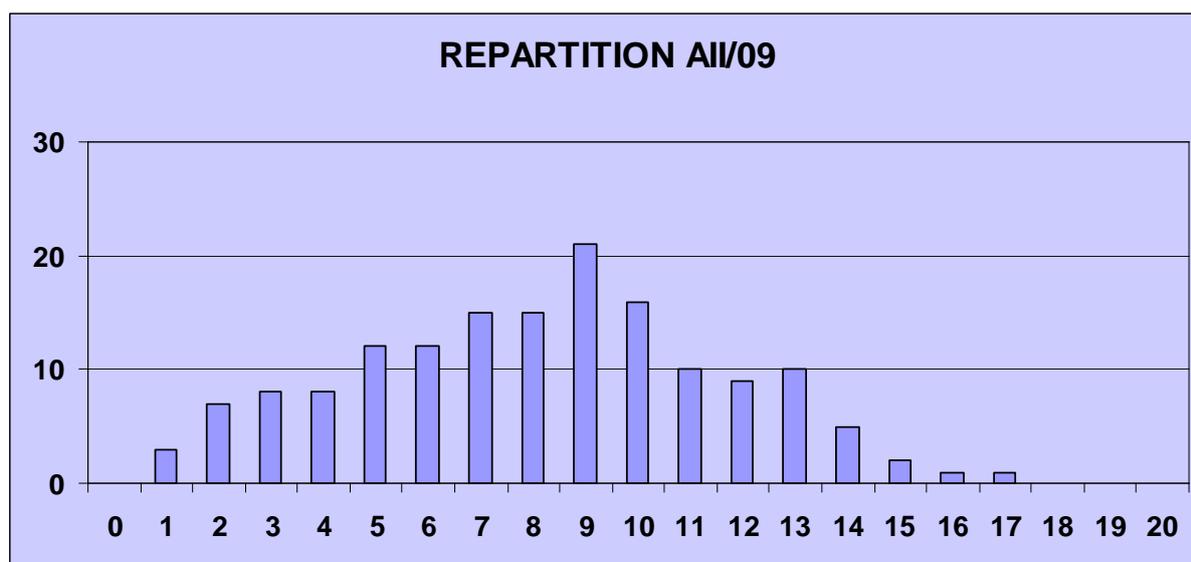
Nombre de candidats ayant traité la partie : 113

A.5 – COMPTE RENDU DE LA SECONDE EPREUVE D'ADMISSIBILITE

ETUDE D'UN PROBLEME D'AUTOMATISATION

ENCARTONNEUSE DE FROMAGES

La répartition des notes obtenues par les 155 candidats qui ont composé est la suivante :



Moyenne : 7.66, Ecart type : 3.47, Note Maxi : 16.56, Note Mini : 0.56

Nombre de copies ≥ 12 : 28

Nombre de copies ≥ 10 : 54

A.5.1 – Commentaires sur la Partie A : Etude de la commande séquentielle

A1.1 & A1.2 – Ce qui devait être une question facile dans le but de s'appropriier le cycle de fonctionnement automatique de la machine, s'est transformé en question épineuse pour un grand nombre de candidats. La confusion est venue de la mauvaise interprétation de la phrase « temps de cycle de production d'un carton en régime permanent ». Cela signifiait le temps entre deux sorties consécutives de cartons et en aucun cas le temps total de production d'un carton seul. De plus cette question était préparatoire à la suivante pour

déterminer la cadence prévisionnelle de production. Beaucoup de candidats ont donc reconsidéré leur réponse à la question A1.1 pour répondre de manière satisfaisante à A1.2. Cette détermination de performance est essentielle dans une conception mécanique de machine, car c'est elle qui permet de valider ou non les choix techniques du processus automatisé.

A1.3, A1.4 & A1.5 – Très peu, voire trop peu de candidats maîtrisent la construction d'un Grafcet de coordination des tâches. Cette conception nécessite de connaître une méthode pour analyser les antériorités immédiates de chaque tâche et construire les modules de Grafcet équivalents. Cette méthode connue et enseignée, en STSMAl par exemple, avec toutes ses variantes, a fait l'objet de nombreuses publications auxquelles nous invitons les futurs candidats à se référer.

Fait marquant de cette non-maîtrise, certains candidats ont su décrire le bon cycle parfaitement synchronisé en donnant une description temporelle avec un diagramme de Gantt sans être capable d'élaborer le grafcet correspondant.

Dix candidats seulement ont bien traité ces trois questions liées.

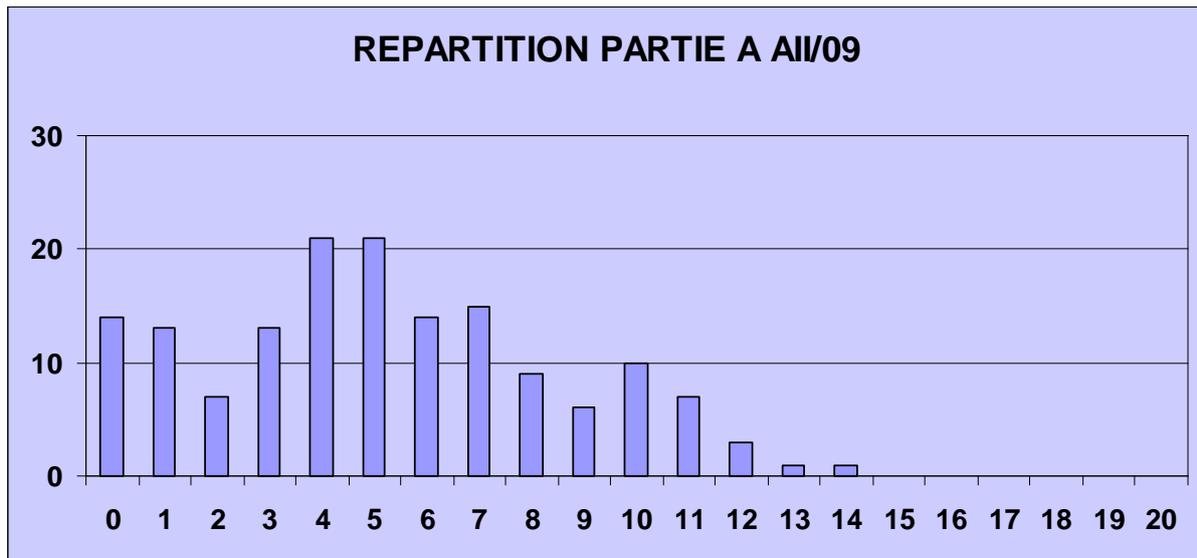
A2.1 – Cette question technologique de choix de capteur a beaucoup plu. Elle a été bien traitée par la quasi-totalité des candidats. C'était une question de choix sur critères dans un contexte parfaitement défini, avec un document ressource synthétique donné en annexe 7. Beaucoup de candidats ont cependant considéré que le taux d'humidité ambiant (50%) était réducteur pour la technologie des détecteurs capacitifs. En fait il n'en est rien. Rappelons qu'entre 40 et 70% le taux d'humidité est normal et c'est seulement au dessus de 70% que l'on considère que l'air est humide.

A2.2 & A2.3 – Beaucoup de candidats ont proposé une implantation des capteurs sans toutefois expliciter le mode de détection. C'est regrettable car la pertinence de l'implantation ne peut s'apprécier que par rapport au mode de détection envisagé, surtout dans le cas d'une détection à la volée. De plus le mode de détection induit le traitement qui sera fait du signal par le Grafcet de mémorisation du défaut.

A2.4 – Cette question n'a pas rencontré un franc succès ; quelques candidats (5%) s'y sont attelés pour obtenir des résultats assez peu convaincants. Certes l'utilisation du modèle Grafcet pour décrire le fonctionnement d'un registre à décalage est peu aisée, mais elle est cependant du niveau du concours.

A2.5 – Quand les candidats ne se sont pas découragés avant cette étape dans le sujet, cette question facile a été bien traitée.

A3.1 & 3.2 – Un peu plus de 10% des candidats ont traité cette partie de programmation. Toutes les données nécessaires au traitement de cette question étant fournies, elle ne nécessitait pas d'être un spécialiste, mais visait l'interprétation du modèle Grafcet avec l'encapsulation. Les candidats ont certainement été surpris par cette question habituellement peu fréquente dans les sujets mais présente dans le programme de l'agrégation



A.5.2 – Commentaires sur la Partie B : Etude de la régulation en température du générateur de colle

La partie B s'articulait selon trois entités indépendantes.

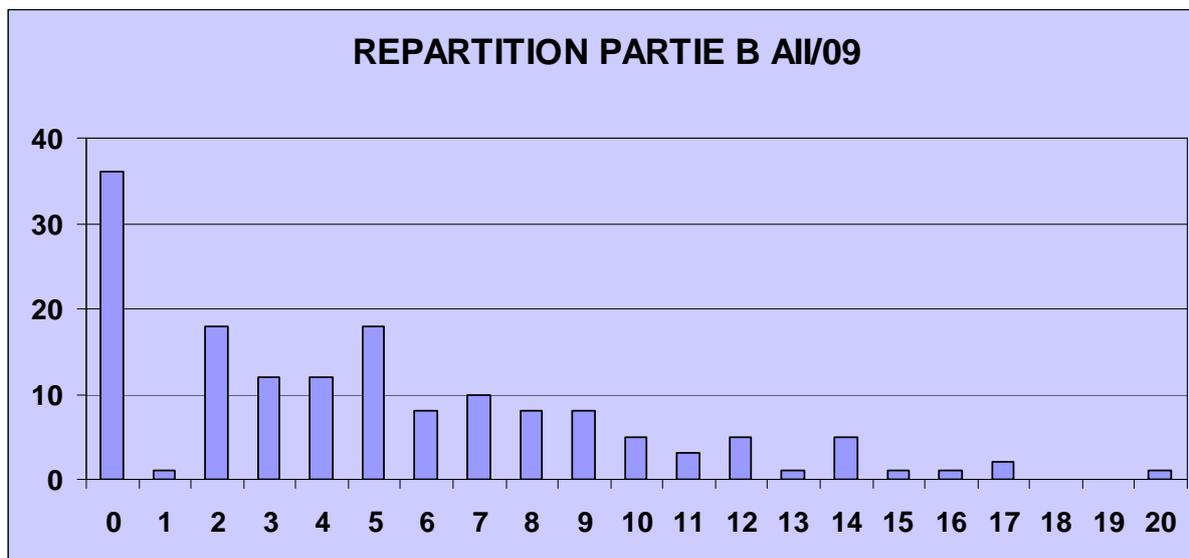
B1.1 jusqu'à B1.6 – La mesure de température par thermo sondes constituait la première étape de l'étude proposée. Il s'agissait de linéariser la réponse en température autour d'un point de fonctionnement défini. Le questionnement progressif permettait aux candidats d'obtenir en fin la fonction de transfert du couple 'sonde + conditionneur'. Cette première partie a été très largement abordée et la qualité des résultats est globalement positive même si on peut regretter que les applications numériques aient donné lieu à des valeurs farfelues.

B2.1 jusqu'à B2.10 – La présence d'un retard dans le processus à commander lié aux nombreux transferts thermiques nécessitait la proposition et la validation d'un régulateur un peu particulier. Il s'agissait d'un prédicteur de Smith dont on cherchait à justifier l'implantation.

Si les premières questions de cette partie ont semblé relativement bien traitées (notion de modèle expérimental, échelles, réponse fréquentielle dans le plan de Black), bien peu de candidat ont su établir avec rigueur le schéma-bloc équivalent rejetant le retard hors de la boucle de régulation, principalement par défaut de maîtrise des outils fondamentaux (algèbre des schéma-bloc, fonction de transfert en boucle fermée). Les calculs sont alors de piètre qualité tant sur le plan de l'exactitude que sur celui de la clarté. Dans la suite, quasiment aucun candidat n'a abordé la problématique de l'évolution de l'erreur de prédiction pourtant essentielle dans la quantification des performances de ce type de régulateur programmé.

B3.1 jusqu'à B3.6 – Une fois le schéma-bloc équivalent établi, rejetant le retard hors de la boucle, les candidats étaient invités à synthétiser les critères de qualité de cette régulation ainsi conçue. Le questionnement était des plus classiques et un tableau permettait de colliger toutes les performances déterminées. Une minorité de candidats (25%) ont abordé avec plus ou moins de succès cette dernière partie. La détermination des constantes du correcteur de type 'proportionnel-intégral' aurait dû leur permettre de se mettre en valeur. Cependant, le manque de maîtrise et de rigueur leur a été préjudiciable. C'est pourtant une composante essentielle du programme du concours. Bien peu de candidats s'avèrent capables de tracer correctement une réponse fréquentielle dans le plan de Bode et le calcul des performances des systèmes asservis n'est pas maîtrisé. Dans l'avenir, un effort

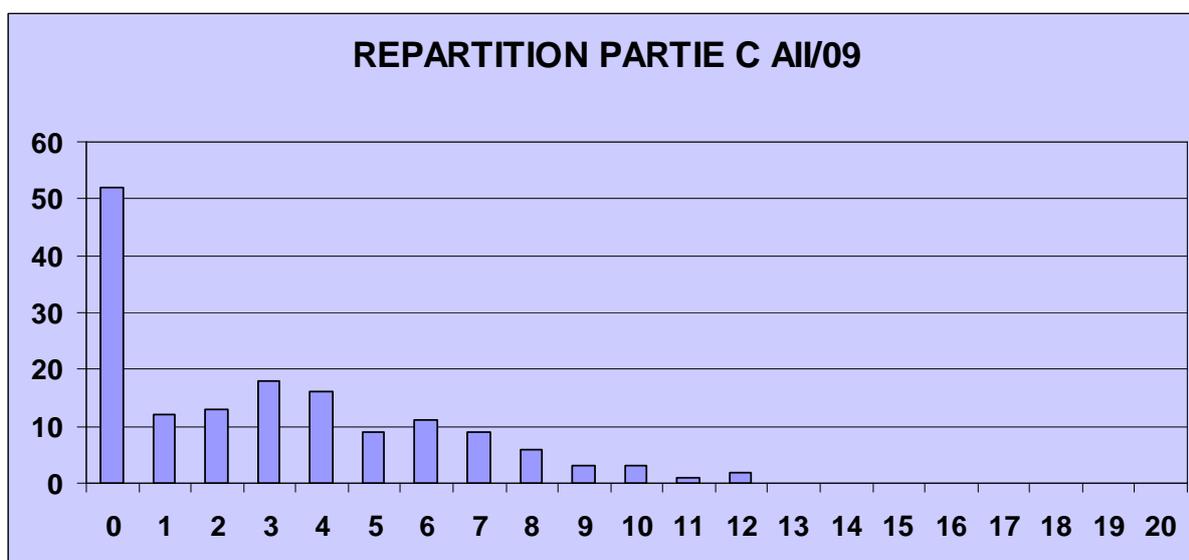
supplémentaire dans cette direction est absolument indispensable. Toutefois, on remarque quelques compositions de très bonne qualité qui ont su traiter la problématique proposée dans son ensemble.



A.5.3 – Commentaires sur la Partie C : Étude pédagogique

C1.1 – Les correcteurs, comme les autres années, sont surpris de constater qu'autant de candidats ne traitent pas cette partie pédagogique spécifique au concours interne. Elle est pourtant faite pour permettre aux professeurs en poste de valoriser leur expérience professionnelle.

Les recommandations étaient explicites et mettaient l'accent sur le développement de la séance de formalisation. Les correcteurs ont cependant regretté que beaucoup de candidats ont trop détaillé la présentation de la séquence et pas assez élaboré cette formalisation avec en particulier la construction d'un guide de choix qui devait naturellement exploiter le document ressource fourni en annexe 7.



A.6 – COMPTE RENDU DE LA PREMIERE EPREUVE D'ADMISSION

DOSSIER - ENTRETIEN

A.6.1 – Rappel des textes officiels définissant l'épreuve d'entretien

A.6.1.1 – BOEN n°32 du 29 septembre 1988

L'épreuve consiste en la présentation et la soutenance par le candidat d'un dossier original relatif à un projet qu'il a conduit dans le cadre de la discipline dans laquelle il enseigne. Le thème du projet est pris dans les programmes des enseignements technologiques de la spécialité donnés dans les classes terminales de lycée ou dans les classes post baccalauréat.

Le projet doit mettre en valeur :

- d'une part la dimension technologique du thème dans ses composantes scientifiques, techniques et aussi économiques, sociales et humaines ;
- d'autre part les aspects pédagogiques en relation avec le niveau d'enseignement retenu.

Le candidat dispose de trente minutes pour présenter :

- les raisons qui l'ont conduit au choix du thème,
- les réalisations (documents, matériels, logiciels...) relatives aux aspects techniques et pédagogiques du projet,
- les objectifs pédagogiques retenus, leur opérationnalisation, notamment les modes et les critères d'évaluation retenus,
- les documents d'enseignement établis.

Le jury, au cours de l'entretien de trente minutes qui suit l'exposé, peut :

- faire approfondir certains points du projet,
- demander des précisions sur les solutions techniques adoptées,
- faire expliciter certains aspects de la démarche pédagogique.

Le jury apprécie :

- la valeur industrielle, technique et économique du thème retenu,
- la qualité du travail effectué ;
- les connaissances scientifiques et techniques du candidat ;
- la maîtrise de la didactique de la discipline, des méthodes et moyens d'enseignement ;
- la connaissance de l'environnement du système technique support du thème ;
- les qualités d'expression et de communication du candidat.

A.6.1.2 – BOEN n° 42 du 08.12.88, note du 28.11.88.

Le dossier élaboré par le candidat est relatif à un problème de caractère industriel. Les études techniques, justifiant les solutions, doivent être en rapport avec le programme des épreuves écrites d'admissibilité (mécanique, technologie de construction, automatique et informatique industrielle). Le thème choisi pour l'exploitation pédagogique sera traité au niveau d'une classe terminale ou post-baccalauréat.

A.6.2 – Informations relatives à l'organisation de l'épreuve

Le déroulement global de cette première épreuve d'admission est le suivant :

- le candidat déclaré admissible envoie par courrier postal, avant une date limite définie par le calendrier du concours, deux exemplaires d'un rapport écrit (le dossier) qu'il a préparé librement, longtemps à l'avance ;
- le jury expertise le dossier ;
- le candidat présente oralement au jury les éléments principaux de son dossier (trente minutes au maximum) ;
- à l'issue de cette présentation, le candidat apporte des éléments complémentaires en réponse à des questions que les membres du jury ont relevées à la lecture du dossier ou durant l'exposé (trente minutes environ).

A.6.2.1 – Contenu du dossier

Le dossier doit être clairement identifié (nom et prénom du candidat, titre de l'étude) et bien structuré (sommaire, introduction, ..., conclusion, bibliographie, annexes, pagination). L'expression écrite doit être maîtrisée et la présentation graphique de qualité (figures propres, schémas lisibles).

Le dossier comporte deux parties principales distinctes :

- une étude scientifique et technique,
- une exploitation pédagogique.

L'étude scientifique et technique comprend au moins :

- la présentation du système industriel retenu comme support, avec notamment :
 - . le cahier des charges associé, en conformité avec la norme,
 - . les documents techniques élaborés ou rassemblés ;
- la définition des problèmes techniques que le candidat a identifiés et la définition des objectifs associés ;
- les développements associés à chaque problème technique et les résultats qui en découlent. Cette partie constitue le cœur du dossier technique. Il importe d'y poser les vrais problèmes industriels associés au produit étudié et de proposer des conclusions pertinentes dans le domaine de la construction mécanique. Le niveau auquel doivent se situer les modélisations et les développements est au moins celui des épreuves d'admissibilité de l'agrégation de mécanique. Le candidat doit apporter toutes les informations utiles permettant de distinguer les développements qui relèvent de sa contribution personnelle de ceux qui ont été établis par une source extérieure, notamment ceux réalisés par la société qui a conçu le système (il convient de toujours citer l'origine des résultats extérieurs).

La partie pédagogique est destinée à des élèves des classes SI (sciences de l'ingénieur), STI (sciences et techniques industrielles) et/ou à des étudiants des classes post-baccalauréat (STS, IUT, CPGE). Elle est constituée de :

- la trame d'une seule séquence d'enseignement, constituée d'une association structurée de phases de cours, de TD, de TP, construite à partir d'un ou plusieurs centres d'intérêts, visant à résoudre un problème technique particulier et permettant d'atteindre un ou plusieurs objectifs d'apprentissage identifiés ;

- du développement complet d'une seule séance pédagogique, issue de la séquence choisie, s'appuyant sur le support industriel retenu dans laquelle les élèves sont amenés à effectuer des manipulations sur le système étudié. Cette séance contient tous les documents et supports didactiques nécessaires. Il convient de différencier les documents de préparation du professeur des documents remis aux élèves, et de proposer des corrigés types d'excellente qualité.

Le jury rappelle qu'une séance est l'unité d'enseignement la plus petite en durée et qu'une séquence est un agencement structuré de séances d'enseignement.

A.6.2.2 – Présentation orale du dossier

Le candidat reçoit par courrier, quelques temps avant l'épreuve, les informations définissant les équipements mis à sa disposition dans la salle d'exposé (poste informatique, vidéo projecteur, rétroprojecteur). Il peut obtenir, en prenant contact avec l'établissement dans lequel se déroule l'épreuve, des informations complémentaires sur les équipements fournis. Durant les trente minutes qui précèdent le début de sa présentation, le candidat peut accéder à la salle dans laquelle il va effectuer son exposé, y prendre contact avec l'environnement matériel et y aménager le cadre de sa prestation (affichage, installation de maquette, préparation des moyens audiovisuels, etc.).

Au terme de cette préparation, le candidat dispose de trente minutes au maximum pour présenter son dossier. Le jury ne pose pas de question pendant l'exposé.

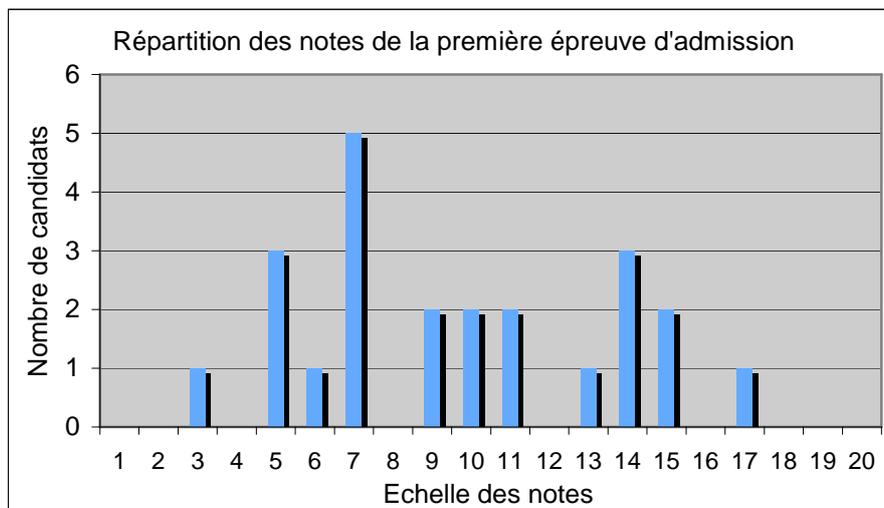
A.6.2.3 – L'entretien avec le jury

L'exposé est suivi d'un entretien qui dure environ trente minutes (cf. BOEN n°32 du 29/9/88 précédemment reproduit dans ce compte-rendu). Dans cette phase, les membres jury posent des questions afin d'obtenir du candidat qu'il complète son exposé, d'abord sur la partie technique, puis sur la partie pédagogique. Ces questions ne visent pas à mettre le candidat en difficulté ou à le déstabiliser, elles doivent permettre d'évaluer le niveau de maîtrise que le candidat possède vis à vis du travail présenté.

A.6.3 – Résultats

Les résultats obtenus par les candidats présents à l'oral sont regroupés dans l'histogramme ci-après. Sept dossiers ont été appréciés pour leur bonne qualité, dont un qui répondait particulièrement bien à l'ensemble des attentes. Le contenu du mémoire, ainsi que la présentation, reflétaient un très bon travail d'investigation, et montraient que les candidats avaient pris le temps de faire les bons choix et de s'approprier les sujets traités. Six dossiers ont donné lieu à des résultats moyens. Les raisons étaient multiples : supports retenus peu porteurs, développements proposés relativement modestes, faiblesses dans les réponses aux questions... Les dix autres prestations ont été considérées insuffisantes, dont une vraiment décevante. Dans cette catégorie figurent les dossiers qui laissent apparaître que le candidat n'a approfondi aucun des thèmes présentés, se limitant à des développements soit purement descriptifs, soit vraiment basiques, donc en décalage avec le niveau du concours. Quelques dossiers étaient mal structurés, voire brouillon, les études proposées étant généralement très difficiles à comprendre, la mise en situation, les hypothèses d'étude, ou

tout simplement les notations utilisées ayant été oubliées ou négligées. En écrivant leur dossier, certains candidats n'avaient visiblement pas fait l'effort de s'identifier au lecteur.



Les remarques qui sont reportées dans le paragraphe ci-après ont un lien direct avec les critères qui régissent l'évaluation des candidats. Aussi, le jury invite les futurs candidats à tenir compte de ces observations et conseils lors de la préparation de cette épreuve.

A.6.4 – Remarques et conseils du jury

Avant tout, il est bon de préciser que le jury accueillerait défavorablement des dossiers qui auraient été réalisés à la hâte. Les candidats doivent commencer à préparer leur dossier longtemps avant le début du concours. Attendre les résultats des épreuves d'admissibilité pour se lancer dans la rédaction d'un dossier est incompatible avec la réalisation d'un dossier de bonne qualité.

Les professeurs expérimentés, curieux, proches des milieux industriels et qui savent mettre en œuvre à bon escient les outils modernes de conception obtiennent généralement de très bons résultats à cette épreuve. Le jury est heureux d'apprécier chaque année les prestations d'un certain nombre d'entre eux.

A.6.4.1 - Le choix du système, la connaissance du système et de son environnement

Cette épreuve s'inscrit dans la vérification d'une compétence fondamentale que doit posséder tout professeur de Sciences et Techniques Industrielles : la capacité de bâtir une stratégie de formation en prenant comme support un système industriel moderne.

Les résultats obtenus à cette épreuve montrent que la nature du système industriel choisi comme support joue un rôle important dans la réussite des candidats. Aussi le jury recommande-t-il aux candidats d'apporter le plus grand soin à leur choix de départ. D'une part le système retenu doit fournir un champ d'investigation suffisamment riche pour leur permettre de développer une étude scientifique et technique digne d'intérêt et motivée par des contraintes industrielles authentiques. D'autre part le système doit satisfaire les critères qui font de lui un support éligible pour une exploitation pédagogique adaptée et motivante. Le jury conseille vivement aux candidats de vérifier très tôt dans leur démarche que les systèmes industriels qu'ils envisagent d'exploiter possèdent les propriétés requises pour

former le cœur d'une exploitation pédagogique intéressante. Il serait très maladroit de se lancer dans une étude technique détaillée, forcément très lourde, sans avoir effectué cette vérification préalable. Le jury rappelle qu'il est possible, voire souhaitable, de définir d'abord une intention pédagogique, s'appuyant par exemple sur les besoins identifiés dans l'exercice de sa fonction, puis de guider la recherche et le choix du système en vue de répondre au mieux à celle-ci. Les dossiers menés dans cette logique sont toujours solides et cohérents.

Un support vraiment "pauvre" met généralement les candidats en difficulté au niveau de l'étude scientifique et technique. Aussi, le jury conseille-t-il aux candidats de choisir un système :

- qui n'est pas trop simple. Parmi les fonctions techniques représentées dans le système, certaines doivent atteindre un bon niveau de complexité ou de technicité (aspects matériaux et procédés notamment) afin d'apporter la substance nécessaire au développement d'études intéressantes,
- qui est produit en série par une société industrielle. On évitera donc les prototypes, les machines spéciales produites à l'unité, les bancs d'essais de laboratoire...
- qui comporte des solutions techniques optimisées et pertinentes vis-à-vis de problèmes de conception, de choix des matériaux, de fabrication et de maîtrise des coûts,
- qui résulte d'une démarche de conception structurée.

Vis-à-vis de l'exploitation pédagogique, un système trop spécialisé est généralement difficile à mettre en situation et à valoriser. On évitera de choisir comme support un système qui joue un rôle minime et difficile à définir dans un ensemble plus important dont on ne donne pas les contours. Il est bon que le système choisi remplisse une fonction principale facile à définir, facile à comprendre et en prise directe avec le monde moderne que côtoient les élèves. Cela n'est pas contradictoire avec le fait que le système possède une structure interne assez complexe.

Dans tous les cas, il faut éviter certains pièges comme l'utilisation :

- de mécanismes classiques, connus de tous, ou décalés par rapport aux technologies actuelles ;
- de supports déjà exploités lors d'autres concours, sans développements techniques et pédagogiques nouveaux ;
- de sujets d'examens ou de concours, de supports correspondant à des études réalisées par des étudiants de sections de techniciens supérieurs.

Le candidat doit par ailleurs montrer dans son dossier qu'il a acquis une très bonne connaissance du système retenu, c'est-à-dire de sa constitution, de son fonctionnement, des contraintes économiques qui ont guidé sa conception et des conditions d'exploitation qui accompagnent sa mise en œuvre. Le jury apprécie les dossiers dans lesquels les candidats fournissent un cahier des charges et un dossier technique de définition du système étudié, avec ses composantes techniques et économiques, et mettent en évidence les critères qui ont dirigé les choix de conception et d'industrialisation. Le jury n'évaluerait pas favorablement des candidats qui n'auraient pas compris le fonctionnement du mécanisme retenu ou qui produiraient des cahiers des charges improbables ou une définition incomplète du système.

Pour acquérir la connaissance du système et de son contexte, le candidat doit mener une recherche active et collecter toutes les données techniques et économiques accessibles. Le candidat est invité à établir des contacts directs avec un ou plusieurs membres de l'entreprise qui a conçu le système retenu, et à valoriser dans son dossier, autant que faire se peut, les informations obtenues lors de ces échanges. Quand le contexte est favorable, un dialogue technique précis lui permet généralement d'obtenir les renseignements suffisants à la mise au point du dossier. Par contre, il est très rare d'obtenir de l'entreprise les réponses à toutes les questions... et le candidat devra toujours, à partir des données acquises, proposer et justifier ses hypothèses de travail.

Par ailleurs, le candidat est souvent amené à adapter les documents industriels aux contraintes de l'enseignement : simplifications justifiées, documents ressources adaptés, dessins et documents techniques respectant les normes en vigueur.

A.6.4.2 - L'étude scientifique et technique du système industriel

Elle a pour but de vérifier que le candidat est capable de mener en autonomie une investigation scientifique et technique de très bon niveau sur tout ou partie d'un système industriel dans les domaines de la mécanique industrielle et de la construction mécanique. Le candidat doit analyser, comprendre et justifier le fonctionnement du mécanisme, valider ou critiquer les solutions retenues, proposer des améliorations. Il doit plus particulièrement se focaliser sur les points sensibles dont la maîtrise a représenté, ou représente toujours, un enjeu important pour l'entreprise créatrice du système.

Le jury attend :

- une mise en situation basée sur la description du système retenu et incluant :
 - . une étude globale et rapide de données économiques, de l'entreprise, expliquant le contexte technico économique du produit ;
 - . l'expression du besoin ou du cahier des charges relatif au système étudié, permettant au candidat de justifier les solutions constructives du système en utilisant les outils classiques de l'analyse fonctionnelle ;
 - . les documents techniques élaborés ou rassemblés : schémas de principe, schémas cinématiques, dessins d'ensemble et de définition, documents divers, maquette numérique
 - . éventuellement une analyse d'autres solutions existantes ou une étude des produits de la concurrence
- la formalisation des problèmes techniques que le candidat a identifiés et la définition des objectifs qu'il a fixés dans le cadre des études qu'il va mener. Les problèmes retenus doivent être réels ou crédibles, et de nature à justifier le développement d'une étude de bon niveau. Ces problèmes peuvent avoir été décelés, par exemple, par des SAV ou des services de maintenance, ou découler d'une analyse de performances et de défaillances. Les problèmes du type "validation de telle performance du système industriel retenu" conduisent généralement à des études triviales sans grand intérêt (par exemple le développement d'une étude RDM ou d'une analyse par éléments finis pour vérifier la bonne tenue d'une pièce qui, en réalité, ne poserait aucun problème particulier durant son exploitation industrielle, pourrait difficilement être considéré comme un problème technique approprié dans le cadre de cette épreuve de dossier).
- le développement de la résolution de tout ou partie des problèmes retenus, faisant apparaître :
 - . les modèles mécaniques et constructifs qui sont mis en place et qui servent de base à l'étude, accompagnés de l'énumération des hypothèses qui ont été faites durant leur élaboration,
 - . les démarches de résolution, manuelles et informatisées, en donnant, le cas échéant, les références des lois ou des méthodes utilisées et en insistant sur les contraintes engendrées par l'utilisation de certains outils,
 - . l'exploitation des résultats, leur interprétation, leur degré de pertinence,
 - . l'analyse des résultats en rapport avec les hypothèses de départ,
 - . l'analyse des résultats en rapport avec les fonctions du mécanisme, sa construction, sa structure, sa fiabilité,
 - . éventuellement, des propositions de modifications constructives qui ont été faites par l'entreprise ou qui pourraient lui être suggérées.

Le jury a particulièrement apprécié :

- la résolution de problèmes techniques réels, repérés par l'entreprise, qui donnent du sens aux calculs menés et permettent de finaliser les études par des propositions d'amélioration, constructives, structurelles et architecturales ;

- les études où le candidat a été amené à creuser en profondeur certains points (par exemple en hydraulique, vibrations, dynamique, plasticité...), poussant les développements à un très bon niveau scientifique et technique et s'appuyant sur des sources bibliographiques adaptées. De telles prestations révèlent une réelle motivation et des capacités d'investigation et d'adaptation, le candidat montrant qu'il a été capable, sur un point particulier, d'acquérir et de mettre en œuvre d'une manière autonome des compétences pointues ;

- l'utilisation des logiciels de CAO 3D (modeleurs volumiques paramétrés et variationnels), de calculs (du simple tableur aux logiciels d'analyse cinématique et dynamique) et de calcul des structures (modes classiques et calculs par éléments finis) lorsque ces outils de simulation permettent d'apporter des résultats essentiels dans la compréhension du système ;

- la prestation des candidats qui ont su faire preuve de la maîtrise de la chaîne informatique et de la capacité d'y intégrer l'analyse technique et scientifique d'un système, l'utilisation de ces outils devenant une compétence professionnelle incontournable du professeur de construction ;

- les études qui comportent une partie expérimentale ;

- les développements visant à identifier le domaine de validité des modèles proposés et à conclure sur la pertinence des hypothèses sur lesquelles reposent ces modèles. Dans le cas où plusieurs approches sont développées (analytiques, numériques et expérimentales), l'étude des écarts observés permet généralement de mener une analyse critique intéressante des modèles utilisés.

Le jury ne jugerait pas favorablement les candidats :

- qui proposeraient des études trop élémentaires et superficielles, limitées souvent à une énumération de vérifications dimensionnelles basiques et sans intérêt. Le choix d'un support "pauvre" conduit généralement à ce type d'études. Les candidats ayant choisi un support très intéressant ne sauraient se borner pour autant à des études insignifiantes ;

- qui maîtriseraient mal les outils de l'analyse fonctionnelle (graphe des inter acteurs, énoncé et caractérisation des fonctions, FAST, ...) ;

- qui produiraient des développements désordonnés, parfois incompréhensibles pour le lecteur car des informations majeures ont été omises. L'auteur d'un dossier doit consigner dans son rapport tous les éléments utiles à la compréhension de son travail et les organiser dans un ordre logique (définition du problème, objectifs, modèles et hypothèses, résolution, analyse, conclusion) ;

- qui produiraient des développements analytiques erronés. Tout candidat, qui est aussi un enseignant, doit s'appliquer à formuler rigoureusement les lois fondamentales de la mécanique qu'il utilise, à vérifier l'exactitude des calculs qu'il mène, à s'assurer que les résultats qu'il obtient sont homogènes et réalistes ;

- qui mettraient en place des modèles mécaniques faux ou injustifiés pour pouvoir utiliser des outils informatiques connus. Un bon mécanicien doit se confronter à la réalité de la technologie et ne pas la détourner pour justifier l'utilisation de démarches de résolution ;

- qui, mettant pas en oeuvre les outils de simulation, sans discernement, aboutiraient à des résultats erronés (par exemple, dans le cas des modélisations par éléments finis, les incohérences pourraient être liées aux conditions aux limites, au choix du type et de la taille des éléments, à l'inadéquation entre d'une part le maillage utilisé - sa forme, son raffinement - et d'autre part la nature et la précision des résultats analysés...), ;

- qui utiliseraient des outils de simulation numérique quand la résolution analytique s'impose de manière évidente.

A.6.4.3 - L'exploitation pédagogique du support industriel

Elle permet de vérifier que le candidat est capable d'exploiter judicieusement, dans le cadre de son métier d'enseignant, un système industriel qu'il a lui-même préalablement identifié comme étant porteur d'une forte valeur ajoutée pédagogique. Les systèmes industriels se prêtent bien, généralement, à une exploitation pédagogique, que ce soit au niveau de l'apprentissage des modèles de comportement de la mécanique, des modèles de représentation, des démarches d'analyse actuelles ou au niveau de l'acquisition d'une culture des solutions techniques. Mais cette exploitation doit être faite avec discernement et compétence.

Le jury a apprécié les dossiers dans lesquels :

- une justification pertinente du choix est apportée par le candidat ;
- l'exploitation pédagogique prend appui sur les éléments caractéristiques significatifs du support, notamment quand celui-ci présente une technologie originale ;
- tous les documents relatifs à la séance pédagogique développée sont fournis et commentés ;
- les travaux pratiques proposés conduisent à des activités réelles, de mesure ou d'expérimentation, sur le système
- la séance pédagogique développée a été testée et validée par le candidat.

Les exploitations s'avèrent décevantes lorsque les candidats :

- analysent mal les potentialités de leur support ;
- proposent des activités structurées mais "classiques" ne traitant pas certains aspects caractéristiques de leur mécanisme ;
- n'associent pas la proposition d'une séquence d'apprentissage à un vrai problème technique à résoudre. Ce manque de "contextualisation" est une erreur pédagogique grave car l'objectif même de cette épreuve est de faire le lien entre un support industriel motivant et des objectifs d'apprentissage ;
- restent à un niveau d'analyse et de calcul, sans déboucher sur des propositions techniques constructives alors que, là encore, le sens de l'épreuve tient dans cet aller-retour permanent qui doit être mené entre une réalité, sa modélisation en vue de répondre à un problème, sa résolution et l'exploitation des résultats pour justifier la création ou l'évolution d'une solution constructive.

A.6.4.4 – Présentation orale du dossier

Trente minutes représentent une durée relativement courte. Aussi est-il indispensable que chaque candidat s'assure au préalable que le contenu de son exposé est compatible avec cette durée. Le candidat doit savoir aller rapidement à l'essentiel, en évitant de se laisser entraîner dans des considérations générales sans intérêt pour la compréhension des problèmes abordés.

Les présentations qui savent mettre en valeur la pertinence du système industriel retenu, explicitant avec discernement l'intérêt qu'il présentait en matière d'exploitation pédagogique et en matière d'étude technique, sont accueillies favorablement.

Le jury apprécie généralement les exposés structurés de la manière suivante :

- présentation de l'intention pédagogique qui a motivé, au départ, le choix du support,
- présentation du système retenu,
- définition des problèmes traités dans le dossier,
- présentation détaillée de quelques développements parmi ceux proposés dans le dossier, en retenant de préférence ceux réalisés au plus haut niveau scientifique et technique,
- définition rapide de la séquence d'enseignement durant laquelle le support pourra être exploité,
- présentation détaillée de la séance pédagogique que le candidat a choisi d'approfondir,

- conclusions, dont la justification des différents choix.

Concernant la forme, la majorité des candidats utilisent efficacement les outils de vidéo projection mis à leur disposition. Les candidats doivent éviter de s'appuyer exclusivement sur la rétro projection de transparents établis par copie des pages de texte de leur rapport.

A.6.4.5 – L'entretien avec le jury

De nombreux candidats ont su tirer partie de cette phase de l'épreuve pour montrer qu'ils avaient acquis une très bonne maîtrise du sujet abordé.

Bien que cela puisse paraître assez évident, le jury conseille aux candidats :

- de bien écouter le contenu des questions posées afin de bien appréhender leur sens,
- de prendre le temps de réfléchir avant de répondre,
- de formuler des réponses aussi concises et rigoureuses que possible. Il est inopportun de délayer exagérément toutes les réponses, ceci pouvant avoir pour conséquence de donner l'impression que le candidat cherche à gagner du temps.

Le jury ne créditerait pas favorablement les réponses qui mettraient en évidence :

- une méconnaissance des contraintes économiques et des études de marchés ;
- des insuffisances dans la maîtrise du projet technique présenté. Le candidat intervient en qualité "de chef de projet" et doit par conséquent exprimer des réponses satisfaisantes concernant le choix des solutions retenues ;
- des lacunes dans le maniement des outils de la mécanique ;
- une connaissance insuffisante des matériaux et des procédés modernes de fabrication ;
- de nombreuses inexactitudes dans la formulation d'objectifs, d'acquis préalables et de savoirs à transmettre, aussi bien sur le fond que sur la forme.

A.7 – COMPTE RENDU DE LA SECONDE EPREUVE D'ADMISSION

TRAVAUX PRATIQUES

A.7.1 – Organisation de la deuxième épreuve d'admission

Le Bulletin officiel du 12 décembre 1988 précise les attendus de cette épreuve :

« Cette épreuve consiste à exploiter des documents techniques et pédagogiques relatifs à une séquence de travaux pratiques ou à une séquence à caractère expérimental, élément d'un processus d'apprentissage.

Elle permet d'évaluer les capacités du candidat à :

- *proposer et justifier les principes, méthodes et modes opératoires à mettre en œuvre et à dégager les concepts auxquels ils se rattachent ;*
- *réaliser, pour tout ou partie, selon la durée impartie, l'activité prévue.*

Le programme du concours est défini par référence aux programmes des B.T.S. et D.U.T. de la spécialité. »

Pour cela, l'épreuve est divisée en deux parties distinctes :

- Une première partie, d'une durée de 4h15, consiste à découvrir, utiliser et analyser un système technique réel didactisé portant sur un système mécanique, automatique ou non. Un guide de travail, proposé par un des membres du jury, permet au candidat de comprendre les concepts techniques et scientifiques mis en jeu, de manipuler et de recueillir des résultats expérimentaux et de proposer des conclusions sur le fonctionnement du système. Cette partie est évaluée par le membre du jury en charge du travail pratique et porte sur les 2/3 de la note finale.
A la fin de cette partie, le jury remet au candidat un cahier de résultats résumant les principaux résultats du TP, que le candidat pourra utiliser pour la seconde partie de l'épreuve.
- Une seconde partie, préparée durant une durée de deux heures et présentée à un jury durant une soutenance d'une heure, permet au candidat de présenter très succinctement la problématique générale du travail pratique effectué, le contexte de formation attendu, la séquence associée à un objectif de formation identifié imposé par le jury et le déroulement d'une séance de formation intégrée à la séquence précédente. Cette présentation, d'une durée de 30 minutes au maximum est ensuite suivie d'un entretien avec le jury, également d'une durée de 30 minutes au maximum. Durant cette soutenance, le jury évalue :
 - o la pertinence de la proposition pédagogique et la compréhension des objectifs du référentiel ;

- l'identification des compétences et connaissances visées lors de la séance de formation décrite, l'adéquation entre les objectifs visés et la séquence, la pertinence des contenus proposés ;
- la qualité de la communication écrite, orale et la réactivité et la pertinence des réponses aux questions du jury.

Cette dernière partie est notée par le jury et porte sur 1/3 de la note finale.

A.7.2 – Remarques générales sur les travaux pratiques

L'enseignement de la technologie s'appuie sur une approche concrète des solutions techniques qui nécessite la mise en œuvre de travaux pratiques et d'expérimentations. Les travaux pratiques permettent d'analyser le comportement réel des systèmes mécaniques afin de mettre en évidence les phénomènes et les lois physiques qui régissent leur fonctionnement et de mesurer les écarts par rapport aux modèles couramment utilisés.

Une étude des référentiels, des pratiques pédagogiques actuelles et des sujets du concours montre que les travaux pratiques interviennent principalement dans les apprentissages suivants :

L'étude des solutions techniques constructives répondant à des fonctions techniques, fondée sur l'observation, la manipulation et l'analyse de mécanismes réels, industrialisés et commercialisés. Ces exemples doivent alors illustrer des principes de construction et de fabrication adaptés au niveau de formation visé et être représentatifs des évolutions industrielles récentes.

L'apprentissage de la maîtrise des modèles de description, qui, en mécanique sont essentiellement les modèles de représentation géométrique des pièces et des produits. Ces modèles s'appuient désormais sur la notion de maquette volumique d'un mécanisme, fondement de sa définition et point de départ pour des simulations du comportement et de fabrication.

La découverte et la validation de modèles de comportement, essentiellement des domaines de la mécanique des solides et des fluides (mécanique générale, mécanique des fluides, mécanique des structures...) et de l'automatique. A travers des systèmes industriels pertinents appareillés et didactisés, les élèves et les étudiants peuvent appréhender des principes, des lois, des écarts de comportement entre réalité et modèle. Au niveau du concours, cette étude peut appuyer assez souvent sur l'utilisation d'un logiciel de simulation en association avec l'expérimentation.

La compréhension et la maîtrise des modèles technico-économiques, mettant en œuvre des méthodes d'analyse fonctionnelle, d'analyse de la valeur, de maîtrise des coûts, d'optimisation de solutions, des choix d'industrialisation innovants... Ces outils trouvent souvent une place dans l'épreuve de travaux pratiques, soit pour mieux comprendre le système proposé, soit pour justifier les recherches demandées.

Au cours de ces activités, l'acteur du TP, par une démarche rigoureuse, effectue des constats, recueille des informations qu'il convient d'exploiter et de structurer. Ces éléments enrichissent et organisent les connaissances fondamentales qui lui permettront d'aborder la résolution de problèmes nouveaux.

Les travaux pratiques proposés aux candidats permettent de dégager des connaissances fondamentales et des méthodes de raisonnement dont une partie sera réutilisée pour construire la séquence pédagogique dans tout ou partie des domaines cités ci-dessus.

Réflexions sur l'exploitation pédagogique intégrée à la seconde épreuve d'admission.

Pour certains candidats, un travail pratique ne s'envisage que dans le cadre d'une séquence classique, inductive et démonstrative, de type « Cours, TD et TP », alors que l'objectif des travaux pratiques peut amener à d'autres pratiques. Il est donc conseillé aux candidats d'élargir le cadre d'un simple cours transmissif et d'intégrer leurs propositions pédagogiques dans un cadre plus large.

Le jury apprécie, par exemple, d'évaluer un candidat sur l'écriture et la présentation d'un scénario de TP placé judicieusement dans un contexte de formation, amenant l'élève à formaliser des connaissances découvertes ou approfondies au cours de la séance de travail pratique et servant de base à une leçon de synthèse des travaux pratiques d'un cycle. Le candidat est alors évalué sur la pertinence du scénario, des connaissances visées et formalisées, des activités pratiques proposées et de la complétude d'une synthèse associée. Dans ce cas, une leçon de synthèse des travaux pratiques n'est pas une leçon de correction de TP. Elle est systématiquement précédée de TP permettant d'appréhender, même partiellement, le concept à apprendre et s'appuie sur les connaissances découvertes concrètement pour compléter, structurer et hiérarchiser les connaissances découvertes en autonomie et apportées par le professeur.

À l'inverse, un candidat pourra considérer que le travail pratique proposé sert d'application et de confortation de connaissances découvertes et formalisées dans un cours. Il devra alors montrer en quoi les liens proposés entre cours et TP aident l'élève à mieux apprendre, à débloquer des difficultés cognitives, à préparer les apports de connaissances suivants. Il devra également expliquer en quoi l'activité de travail pratique proposée est différente d'une activité de travail dirigé.

Sur les plans didactiques et pédagogiques, la place des travaux pratiques reste prédominante dans la grande majorité des programmes de formation de Sciences et Techniques Industrielles et de Sciences de l'Ingénieur. Il est donc indispensable de préciser le contexte didactique dans lequel sera proposé un travail pratique.

Le tableau ci dessous présente de façon simplifiée et synthétique les cas d'utilisation les plus courants, que chaque candidat devrait utiliser pour définir la situation pédagogique de sa proposition et pour justifier l'organisation des activités proposées.

Types de Travaux Pratiques	Utilisation et contexte	Séquence			
Découverte	Permet de découvrir un nouveau concept en le contextualisant	TPd ₁ , TPd _{i...}	Cours saint	TD	
Confortation des connaissances	Permet d'appliquer, de vérifier de s'approprier un concept de façon concrète	Cours	TPc _{1, i}	TD	
Approfondissement	Permet de prolonger une approche, d'approfondir un concept de façon concrète	Cours	TD	TP _{1, i}	
Remédiation	Permet de reprendre l'explication d'un concept par un autre mode d'apprentissage	Cours	TD	Eval	TPr
Évaluation	Permet d'évaluer un savoir-faire et un savoir associé dans un contexte donné	Cours	TP	TD	TP ev

Les indices 1, i... associés aux TP montrent qu'il peut y avoir plusieurs TP formant un cycle dans cette étape.

Sans prétendre à l'exhaustivité, l'énumération ci-dessous décrit les contenus envisageables à associer à chaque type de TP ainsi qu'à une leçon de synthèse.

TP découverte :

- Un contexte de formation : niveau, référentiel, laboratoires et plateaux techniques
- Un objectif de formation (savoir, savoir-faire à découvrir)
- Une fiche d'intentions pédagogiques du professeur attaché au TP
- Une fiche de formalisation des connaissances, complétée par l'élève au cours du TP, qu'il gardera et qui sera le « contrat » de formation, à retenir... et donc à apprendre !
- Le contenu du TP, comprenant :
 - La situation problème proposée à l'élève (motivation)
 - L'équipement didactique mis à sa disposition
 - Une liste d'activités à mener en autonomie pour atteindre l'objectif de résolution de la situation problème et compléter la fiche de formalisation

TP de confortation des connaissances :

- Un contexte de formation : niveau, référentiel, laboratoires et plateaux techniques
- Un objectif de formation (savoir, savoir-faire à découvrir)
- Une fiche d'intentions pédagogiques du professeur attaché au TP
- Des bases de connaissances et de méthodologies associées à l'objectif proposé (sous forme papier ou numériques)
- Des aides de remédiation associées
- Le contenu du TP, comprenant :
 - La situation problème proposée à l'élève (motivation)
 - L'équipement didactique mis à sa disposition
 - Une liste d'activités à mener en autonomie pour atteindre l'objectif de résolution de la situation problème et vérifier qu'il a bien compris le concept visé

TP approfondissement :

- Un contexte de formation : niveau, référentiel, laboratoires et plateaux techniques
- Le contenu de la séquence et les pré requis atteints en amont
- Un objectif de formation (savoir, savoir-faire à découvrir)
- Une fiche d'intentions pédagogiques du professeur attaché au TP
- Une fiche de formalisation des connaissances approfondies, complétée par l'élève au cours du TP, qu'il gardera et qui sera le « contrat » de formation, à retenir... et donc à apprendre !
- Le contenu du TP, comprenant :
 - La situation problème proposée à l'élève (motivation)
 - L'équipement didactique mis à sa disposition
 - Une liste d'activités à mener en autonomie pour atteindre l'objectif de résolution de la situation problème et compléter la fiche de formalisation

TP de remédiation :

- Un contexte de formation : niveau, référentiel, laboratoires et plateaux techniques
- Le contenu de la séquence et les pré requis atteints et non atteints en amont
- Un objectif de formation (savoir, savoir-faire à découvrir)
- Une fiche d'intentions pédagogiques du professeur attaché au TP

- Des bases de connaissances et de méthodologies associées à l'objectif proposé (sous forme papier ou numériques)
- Des aides de remédiation associées
- Le contenu du TP, comprenant :
 - La situation problème proposée à l'élève (motivation)
 - L'équipement didactique mis à sa disposition
 - Une liste d'activités à mener en autonomie pour atteindre l'objectif de résolution de la situation problème et vérifier qu'il a bien compris le concept visé
 - Une fiche d'auto-évaluation des connaissances visées

Leçon de synthèse de travaux pratiques :

Ce type de leçon vient à la suite d'un ou plusieurs TP de découverte d'un concept et ne doit pas être confondu avec une leçon de correction de TP. Elle doit prendre en compte les éléments suivants :

- Un contexte de formation : niveau, référentiel, laboratoires et plateaux techniques
- Le contenu de la séquence dans laquelle s'inscrit la leçon de synthèse de TP (liste de TP préalables à la leçon)
- Les fiches de formalisation des connaissances visées et découvertes pour chaque TP préalable
- Une fiche d'intentions pédagogiques du professeur attaché à la leçon
- Le contenu de la leçon, comprenant, à minima :
 - La trame de la leçon (plan)
 - La stratégie didactique proposée (type de cours, moyens didactiques mis en œuvre, etc.)
 - Les documents remis aux élèves (à compléter ou non)
 - L'évaluation formative associée

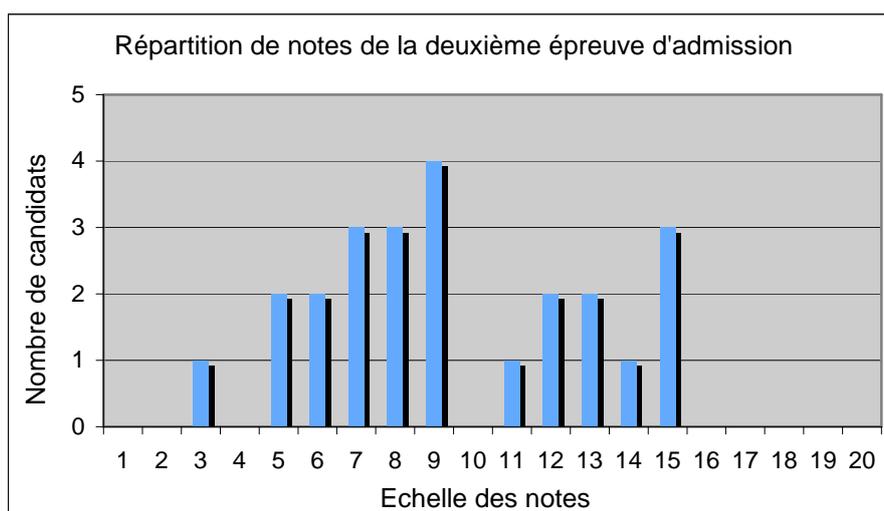
Lors de la proposition d'exploitation pédagogique, le jury attend du candidat qu'il soit capable de dégager des objectifs de formation opérationnels et correspondants aux modalités de la séquence pédagogique proposée.

Il apprécie particulièrement la liaison entre le problème technique qui peut être proposé à un élève et qui l'amène à s'intéresser au support proposé et à l'objectif de formation retenu, qui doit amener à une formalisation des connaissances découvertes et à retenir.

A.7.3 – Résultats

L'histogramme ci-après montre une répartition assez inégale des notes obtenues par les candidats.

Les 9 candidats qui obtiennent une note supérieure à la moyenne ont réussi à équilibrer les notes obtenues dans les deux parties. Souvent, l'obtention d'une note élevée à l'une des deux parties ne suffit pas à obtenir une note globale intéressante si l'autre note est mauvaise.



Le tableau ci-dessous montre la répartition des notes obtenues entre les 2 parties de cette épreuve :

1ère partie	2ème partie	Moyenne	1ère partie	2ème partie	Moyenne
Coef 2	Coef 1		Coef 2	Coef 1	
2,30	3,00	2,53	8,50	10,00	9,00
5,00	5,00	5,00	8,00	12,00	9,33
5,50	5,00	5,33	7,00	14,00	9,33
5,50	6,00	5,67	11,00	11,00	11,00
8,00	3,00	6,33	13,00	10,00	12,00
7,00	6,00	6,67	9,00	18,00	12,00
8,00	4,00	6,67	13,00	13,00	13,00
2,70	15,00	6,80	12,00	16,00	13,33
4,00	15,00	7,67	16,00	11,00	14,33
10,00	4,00	8,00	13,00	18,00	14,67
10,50	3,00	8,00	14,50	16,00	15,00
10,00	7,00	9,00	13,60	19,00	15,40

Manifestement, certains candidats, qui rencontrent des difficultés réelles en travail pratique réussissent, à partir des résultats remis en fin de première partie, à construire une proposition pédagogique pertinente. A l'inverse, d'autres réussissent bien le TP mais ne réussissent pas, dans le court temps imparti, à proposer une exploitation pédagogique cohérente.

Ce constat montre bien l'importance de cette seconde épreuve, qui résume à elle seule la difficulté du métier de professeur de Sciences et techniques Industrielles, qui doit être capable de concilier la double exigence de la maîtrise technique et scientifique associée à l'analyse d'un système réel et la compétence pédagogique et didactique le conduisant à utiliser de façon pertinente ce support pour faciliter les apprentissages.

A.7.4 – Recommandations et conclusions du jury

Le jury est conscient de la difficulté de cette épreuve exigeante mais fondamentale en Sciences et Techniques Industrielles.

La première partie de cette épreuve s'appuie essentiellement sur les connaissances et compétences technologiques et scientifiques du candidat. La préparation de cette partie correspond donc aux préparations classiques des deux épreuves écrites d'admissibilité.

Dans cette partie, le candidat est guidé par un questionnement de guidance et la possibilité de dialoguer avec le membre du jury qui suit le déroulement du TP.

Pour la seconde partie, il semble que de nombreux candidats aient de réelles difficultés à choisir rapidement un scénario pédagogique donné, même lorsque le niveau est imposé.

Certains candidats pensent qu'il ne faut pas proposer une exploitation pédagogique identique à la démarche proposée dans la première partie... alors que d'autres pensent le contraire et s'interdisent de faire une proposition pédagogique différente que celle vécue dans la première partie. Le jury réaffirme que tous les choix sont possibles et jugés avec le même niveau d'exigence, à partir du moment où le scénario pédagogique de la séquence et de la séance développée soient cohérents, pertinents et justifiés.

Le jury invite donc les candidats à choisir très vite une exploitation, quitte à évoquer devant le jury lors de la soutenance les autres possibilités envisagées, et à consacrer les 2 heures de présentation à la construction d'une séquence cohérente, et à la présentation détaillée d'une partie (séance particulière).

Lors de cette session, le jury a constaté et apprécié une réelle prise en compte des situations pédagogiques proposées. La majorité des candidats a réfléchi au scénario de formation proposé et s'est montrée capable de le justifier, de le discuter et d'en proposer des limites ou des avantages.

Même lorsque le niveau d'exploitation de la séquence pédagogique est imposé, le jury a apprécié de discuter avec les candidats sur d'éventuelles exploitations possibles à leur niveau d'enseignement habituel. Cette discussion ouverte permet au candidat de montrer sa capacité d'analyse et d'adaptation dans un contexte pédagogique connu.

Le jury conseille donc aux candidats de préparer cette épreuve en s'appropriant concrètement les différentes évolutions pédagogiques et didactiques proposées dans les référentiels et les documents d'accompagnement qui les complètent, ainsi que par la lecture des articles pédagogiques qui sont publiés régulièrement dans les revues disciplinaires. La connaissance et l'appropriation de ces réflexions dans l'enseignement quotidien d'un professeur lui permettent de mieux maîtriser ces concepts et d'éviter de faire des propositions didactiques irréalistes et inappropriées.

De plus, lors de la phase d'entretien final avec le jury de l'exploitation pédagogique, cette expérience permet au candidat d'enrichir le débat et de s'appuyer sur des exemples concrets et vécus pour étayer les propos.

Enfin, pour s'adapter aux outils informatiques utilisés et pour faciliter la tâche des candidats, le jury envisage également la possibilité (sans l'imposer) de proposer aux candidats de cette épreuve une suite bureautique classique (de type Microsoft Office permettant l'utilisation d'un logiciel de présentation assistée par ordinateur) afin d'aider les candidats qui le souhaitent à mieux préparer leur présentation pédagogique.

A.7.5 – Quelques éléments relatifs aux TP

A.7.5.1 – Evaluation des performances d'un système

Ce TP s'appuie sur une suspension de VTT et la maquette numérique associée. Le candidat réalise dans un premier temps des expérimentations simples permettant de tester les performances de la suspension. Après avoir identifiés les paramètres influents, la maquette numérique est utilisée pour affiner les réglages de la suspension par rapport à des critères définis.

Commentaires du jury. Si l'appropriation du support ne pose en règle générale pas de problème, les difficultés apparaissent lors de l'interprétation des courbes expérimentales obtenues par manque de confrontation entre la mesure et l'observation du phénomène mesuré. Les principes de base de la mécanique permettant la modélisation du phénomène doivent être maîtrisés et appliqués avec rigueur. Une connaissance minimale des outils de simulation et un regard critique sont très utiles pour la dernière partie de l'expérimentation.

A.7.5.2 – Détecteur de survitesse pour ascenseur

Le détecteur de survitesse est un produit industriel instrumenté re-contextualisé intervenant dans la chaîne de sécurité des ascenseurs.

Dans un premier temps, le candidat doit s'approprier le support et l'objectif pédagogique, à l'aide d'une analyse fonctionnelle et d'une prise en main initiale. Les activités suivantes lui sont ensuite proposées, le but étant d'optimiser la conception et les réglages du système, au regard du cahier des charges:

- élaborer un modèle de connaissance cinématique et dynamique qui peut être résolu à la main,
- proposer des modèles de comportement plus évolués à partir d'une maquette numérique fournie au candidat,
- valider expérimentalement ces modèles à partir de mesures réalisées sur le système instrumenté.

A.7.5.3 – Qualification d'un bras anthropomorphe

Le travail demandé concerne l'analyse du comportement et la qualification des performances d'un bras anthropomorphe de robot.

La première partie de l'étude s'attache à justifier les solutions techniques retenues en fonction du cahier des charges fonctionnel du système opérationnel aussi bien sur le plan de l'architecture du mécanisme que des différentes classes de commande des actionneurs composant la chaîne d'énergie.

La deuxième partie de l'étude porte sur l'élaboration d'une exploitation pédagogique à caractère expérimental associée aux problèmes techniques étudiés précédemment.

A.7.5.4 – Axe asservi en position

Le candidat doit élaborer une séance d'enseignement à caractère expérimental en privilégiant l'aspect inductif dans le domaine des systèmes asservis en CPGE. Il utilise pour cela les résultats expérimentaux obtenus avec les équipements proposés en salle, les informations issues d'une documentation technique ainsi que ses connaissances scientifiques relatives au domaine d'étude.

Commentaires du jury. L'aptitude à la mise en œuvre d'un système technique réel didactisé est trop souvent insuffisante.

La moitié des candidats n'a que très peu manipulé le support. De ce fait, l'analyse du comportement du système devient quasi impossible, ceci quelque soit les compétences scientifiques du candidat.

Par contre, les candidats ayant manipulé le système ont en général correctement analysé les résultats expérimentaux et ont pu, en utilisant leurs compétences scientifiques, proposer des solutions de modélisation pertinentes pour tout ou partie du système.

A.7.5.5 – Doseur pondéral

Le doseur pondéral exploité dans cette activité pratique est utilisé dans l'industrie de la plasturgie. Il permet de doser, puis de mélanger les matières premières nécessaires à la fabrication d'objets en plastique injecté.

La première partie de l'étude consiste à mettre en œuvre le système et d'exploiter les interfaces « homme/machine » pour valider ses performances, et identifier les différents constituants mis en œuvre.

La deuxième partie de l'étude porte sur l'élaboration d'une séance d'enseignement à caractère expérimental mettant en œuvre les équipements mis à disposition.

A.7.5.6 – Système à cames

Il s'agit de mener une investigation qui permette d'analyser la construction d'un système à cames.

Les expérimentations proposées permettent de modéliser la loi d'entrée sortie du mécanisme, de mettre en évidence les choix de construction assurant la précision, de découvrir les paramètres essentiels de conception de la famille de mécanismes concernée.

Ces activités s'appuient sur un système instrumenté, et des outils informatiques.

Le système étudié recèle des solutions constructives très abouties, qui peuvent être comprises en mobilisant une analyse scientifique et technique efficace.

A.8 – Références des textes officiels et des programmes

Les textes régissant l'agrégation interne de mécanique sont parus dans les bulletins officiels dont les références sont rappelées ci-dessous.

- BO n°32 du 29 septembre 1988 – Arrêté du 12 septembre 1988
- BO n°42 – 08 décembre 1988 – Note du 23 novembre 1988
- BO n°30 du 28 juillet 1994 – Arrêté du 2 juin 1994
- BO n°24 du 13 juin 1996 – Note du 06 juin 1996
- BO n°25 du 19 juin 1997

Agrégation de Mécanique
Concours interne
Session 2009

PARTIE B

PREMIERE EPREUVE D'ADMISSIBILITE

EPREUVE DE MECANIQUE

B.1 – SUJET DE LA PREMIERE EPREUVE D'ADMISSIBILITE

EPREUVE DE MECANIQUE

PRENANT APPUI SUR UN SYSTEME INDUSTRIEL :

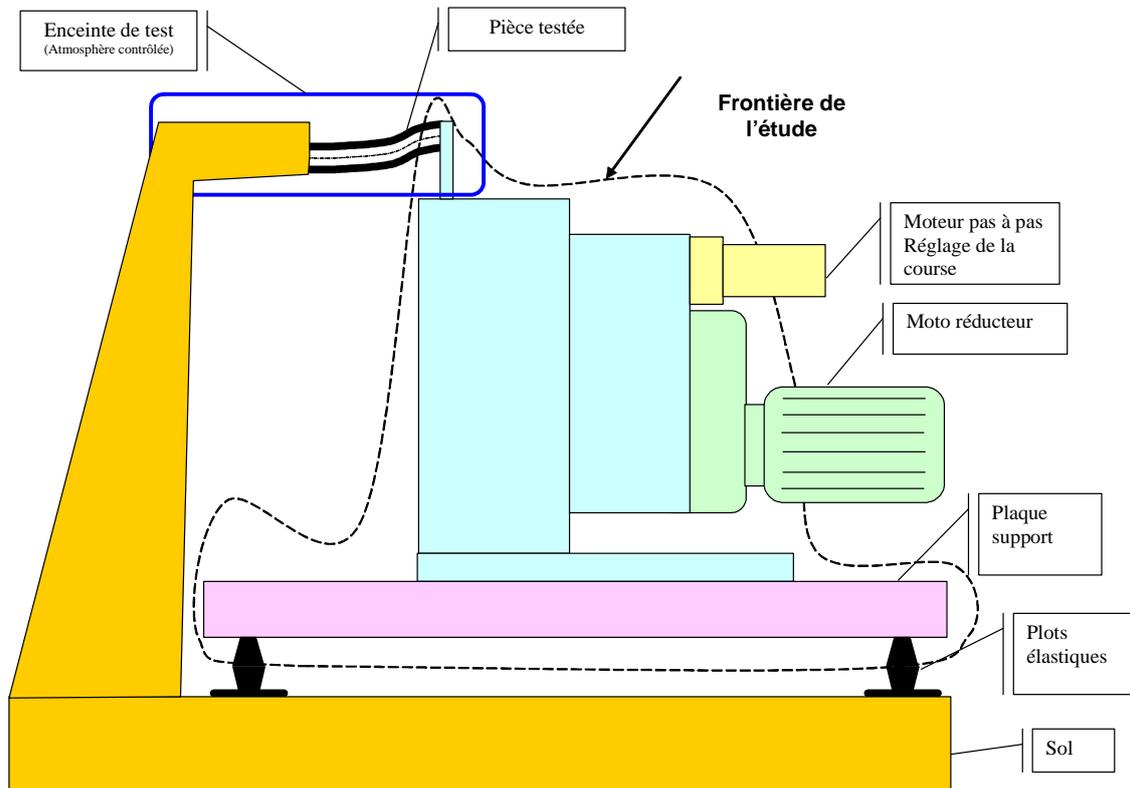
MACHINE D'ESSAI DE FATIGUE

1 Situation de l'étude

1.1 Présentation

L'étude proposée porte sur une machine d'essai de fatigue de pièces en élastomère (voir **documents 1 à 4**). L'ensemble des documents fournis dans le dossier technique concernent un prototype de cette machine qu'il faut améliorer suite à une première campagne de tests.

1.2 Architecture de la machine



2 Extrait du cahier des charges

2.1 Présentation générale

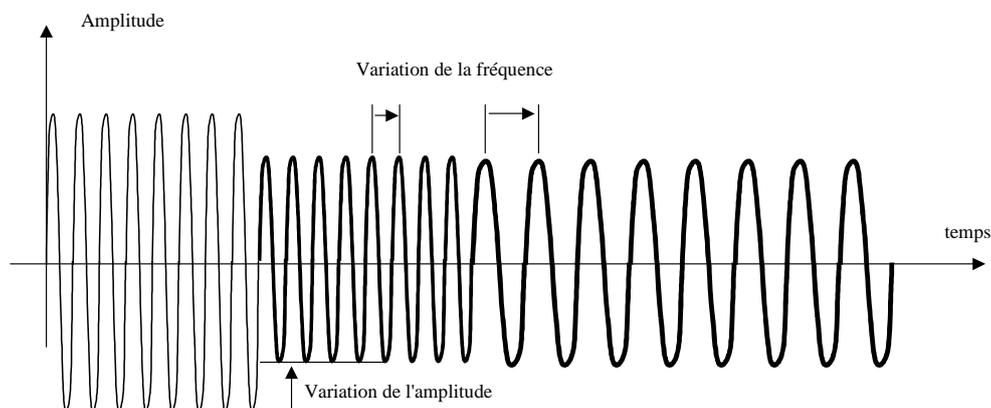
Fonction principale : Créer un mouvement de translation rectiligne d'amplitude et de fréquence variable. Le but recherché est entre autre, de reproduire les déplacements provoqués par les vibrations du moteur sur des flexibles montés sur des véhicules automobiles. Le but ultime étant de connaître le comportement de certains raccords vis-à-vis de ces vibrations.

Cahier des Charges fonctionnel

Fonctions	Critères	Niveaux	Flexibilité
Produire un mouvement vertical	Débattement	De $\pm 15\text{mm}$ à $\pm 40\text{mm}$	F1
	Variation du débattement	Continue	F0
	Commande d'amplitude	Entièrement programmable	F0
	Précision de réglage	$\pm 0,5\text{mm}$	F0
	Fréquence	1 à 10 Hz	F0
	Commande de fréquence	Entièrement programmable	F0
	Variation de fréquence	continue	F0
	Commande fréquence et débattement	indépendantes	F0
	Masse en mouvement	2,5 Kg	maxi
Durée du réglage	< à 2 cycles		
Être lié au sol	Vibrations transmises	aucunes	F0
	Surface d'encombrement au sol	800 x 800 mm	F0
Être lié au composant à tester	Géométrie	Voir plan de l'interface (non fourni ici)	F0
Résister au milieu environnant	Ambiance	Atelier	F2
	Température	-40 à 150°C	F0
Utiliser de l'énergie	Énergie électrique	220 V / 400 V	F0
	Énergie pneumatique	6 bars	F0
	Eau glacée	12°C	F0
Faciliter la maintenance	Outillage de démontage	Outillage standard	F0
	Durée de vie	L=15 000 heures à 10Hz	F1

2.2 Modes de marche et d'arrêt

Mise en marche et fonctionnement programmable par automate : Nombre de cycles, amplitude, fréquence, variation en continu de la fréquence et de l'amplitude, mise en condition de début de test, de fin de test ...etc.



3 Fonction : Produire un mouvement vertical

Objectif : Mettre en place la loi entrée sortie et vérifier que la machine satisfait l'amplitude demandée par le cahier des charges et mettre en place la loi entrée sortie.

Données et hypothèses :

Le **document 5** définit le paramétrage géométrique, notamment :

- $R_0(O, \overline{x_0}, \overline{y_0}, \overline{z_0})$: repère galiléen lié au bâti **0** ;
- $R_1(O, \overline{x_1}, \overline{y_1}, \overline{z_1})$: repère lié à la couronne **1** ;
- $R_2(O, \overline{x_2}, \overline{y_2}, \overline{z_2})$: repère lié au porte satellite **2** ;
- $R_3(O, \overline{x_3}, \overline{y_3}, \overline{z_3})$: repère lié au satellite **3** ;
- L'axe de la liaison glissière entre le coulisseau **4** et le bâti est dirigé suivant $\overline{y_0}$;
- La couronne **1** est à denture droite. Son nombre de dents est : $Z_1 = 100$ dents ;
- Le diamètre primitif de la couronne **1** est noté D_1 ;
- Le nombre de dents du satellite **3** est de $Z_3 = 50$ dents. ;
- Le module de la denture est $m_{13} = 1,5$;
- L'angle de pression de la denture est $\alpha = 20$ degrés ;
- $\beta = (\overline{x_0}, \overline{x_1})$ définit la position angulaire de la couronne **1** par rapport au bâti **0** ;
- $\theta = (\overline{x_0}, \overline{x_2})$ définit la position angulaire du porte satellite **2** par rapport au bâti **0** ;
- $\varphi = (\overline{x_2}, \overline{x_3})$ définit la position angulaire du satellite **3** par rapport au porte satellite **2** ;
- On notera $\overline{CA} \cdot \overline{y_0} = \lambda(t)$.

Dans tout le sujet, on réalisera les études avec :

- $\beta = \beta_0$ constant ;
- A l'instant initial $t=0$, $\varphi = 0$ et $\theta = \beta_0$ (les points C, K et A sont alignés);
- La vitesse angulaire d'entrée $\dot{\theta}(t) = \frac{d\theta(t)}{dt} = \dot{\theta}_0$ constante.

Question 1 Déterminer rigoureusement la relation liant $\dot{\theta}(t) = \frac{d\theta(t)}{dt}$ et $\dot{\varphi}(t) = \frac{d\varphi(t)}{dt}$.

Question 2 En déduire une relation entre les angles $\theta(t)$ et $\varphi(t)$.

Question 3 A l'instant t , exprimer le vecteur \overline{CA} dans la base du repère R_1 . En déduire la trajectoire du point A du satellite **3** dans le repère R_1 .

Question 4 Déterminer la relation entre $\lambda(t)$ et $\theta(t)$. En déduire l'expression de la course S du coulisseau **4**. Sur quel paramètre faut-il agir pour régler cette course ? Conclure quant au respect du cahier des charges.

Un réglage tel que $\beta_0 \approx \frac{\pi}{2}$ est-il souhaitable ?

4 Sous Fonction : Guider en translation le coulisseau

Objectif : On constate des "points durs" dans le fonctionnement du prototype. On se propose de remédier à ce dysfonctionnement.

Question 5 Proposer les schémas normalisés de deux modèles technologiques du guidage en translation de l'ensemble coulisseau **E₄**. $E_4 = \{\text{tige de commande } \underline{21}, \text{ douilles à billes } \underline{18} \dots\}$.

- 1^{er} modèle : ne pas tenir compte d'un rotulage dans les douilles à billes ;
- 2^{ème} modèle : tenir compte d'un rotulage dans les douilles à billes.

Question 6 Déterminer l'ordre d'hyperstatisme des deux modèles proposés.

Question 7 Quels sont les avantages et inconvénients liés à l'hyperstatisme pour ce mécanisme ?

Question 8 Indiquer sur un croquis, les spécifications géométriques à mettre en place sur le coulisseau pour limiter les inconvénients de l'hyperstatisme dans le fonctionnement du système. On considérera ici le 1^{er} modèle.

5 Sous Fonction : Transformer la rotation du satellite en translation du coulisseau (et transmettre les efforts)

Objectif : Choisir le galet **44** et le matériau du coulisseau **4**.

Données et hypothèses :

- Loi entrée sortie : $\lambda(t) = \frac{D_1 \cdot \sin \beta_0}{2} \cdot \cos(\dot{\theta} \cdot t)$ avec $D_1 = 150$ mm.
- On considère l'ensemble **E₄** des pièces animées d'un mouvement de translation. Il est constitué du coulisseau **4** et des pièces qui lui sont attachées (tige de commande 21, douilles à billes 18, pièce à tester...).
- La masse de **E₄** est notée **m₄**.
- Les efforts du flexible sur la tige de commande sont négligeables par rapport aux effets d'inertie liés au déplacement de la masse **m₄**.

5.1 Calcul préliminaire

Données et hypothèses :

- La masse **m₄ = 7,2 kg**.

Question 9 Déterminer quelle est, en régime permanent, la configuration (amplitude, fréquence) de fonctionnement qui génère les efforts les plus importants sur le

galet 44. Dans cette configuration, déterminer les efforts appliqués sur le galet 44.

5.2 Choix du galet :

Données et hypothèses :

- On fera l'hypothèse que, sur la vie de la machine, toutes les configurations de réglage du cahier des charges sont utilisées sur les mêmes durées ;
- Le diamètre extérieur du galet 44 est de 35 mm ;
- Compte tenu des efforts, l'aller et le retour du galet ne se font pas sur la même face du rail.

Question 10 Dans le contexte défini précédemment, choisir le galet 44 dans l'extrait de documentation ci-joint (**voir documents 6 à 8**). Conclure quant aux différentes solutions proposées.

5.3 Optimisation du choix de matériau et de la forme du coulisseau 4

5.3.1 Modèle pression de Hertz

Données et hypothèses :

- On assimilera le contact entre le galet et le coulisseau à un contact linéique (on néglige le bombé du galet) ;
- Le galet 44 roule sans glisser sur le coulisseau 4 avec un jeu diamétral de 0,2 mm ;
- Avec un coulisseau en acier $m_4=7,2\text{kg}$ et avec un coulisseau en alliage d'aluminium $m'_4=5,1\text{ kg}$;
- Rappel sur les lois de Hertz pour le contact linéique (**Voir documents 9 et 10**).
 - Largeur du contact : $L=15,8\text{ mm}$;
 - Acier : $E_{\text{acier}}=210\ 000\ \text{MPa}$, $\nu_{\text{acier}}=0,3$;
 - Alliage d'Alu : $E_{\text{alu}}=75\ 000\ \text{MPa}$, $\nu_{\text{alu}}=0,33$.

Question 11 Réaliser une analyse comparative du point de vue de la pression de Hertz pour un coulisseau en acier et un coulisseau en alliage d'aluminium. Proposer un matériau pour la réalisation des surfaces de roulement.

5.3.2 Modèle RdM

Données et hypothèses :

- Voir définition du modèle d'étude **document 11** ;
- La masse des pièces en mouvement de l'ensemble E_4 défini au paragraphe 5.1 est assimilée à une masse ponctuelle en G : $m_4=7,2\text{ kg}$ (coulisseau en acier) ;

- **On ne tiendra pas compte, dans cette étude, des limitations de débattement liées au cahier des charges ;**
- L'étude sera réalisée à **f=10 Hz** ;
- Action du galet sur le coulisseau est modélisée par un glisseur en A tel que :

$$\vec{R}_{\text{galet} \rightarrow \text{rail}} = -m_4 \cdot \frac{D_1 \cdot \sin \beta_0}{2} \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \cos(\dot{\theta} \cdot t) \cdot \vec{y}_0$$

Les paramètres sont définis dans les questions précédentes ;

- On définit d(t) par : $\overrightarrow{HA} = d(t) \vec{y}_0$ avec $d(t) = \frac{D_1 \cdot \cos \beta_0}{2} \cdot \cos(\dot{\theta} \cdot t)$;
- Coulisseau **4** assimilé à une poutre droite ;
- La rigidité des arbres de guidage **16** est supposée infinie ;
- L'effet dû au moment de torsion sera négligé.

Question 12 Déterminer l'expression du moment fléchissant le long de la poutre en fonction de d(t) et de $R_{\text{galet} \rightarrow \text{coulisseau}}$. On considèrera d(t) > 0 pour cette question.

Question 13 Montrer que le cas d(t) < 0 se ramène au cas précédent. Justifier votre réponse.

Question 14 Déterminer la valeur maximale du moment fléchissant en vous aidant de la **courbe document 12**.

Question 15 En déduire la contrainte maximale de flexion dans la poutre.

5.3.3 Optimisation du choix de matériau

Données et hypothèses :

- Le fonction "Produire un mouvement vertical" doit répondre à un critère concernant la précision du déplacement : La précision du réglage doit être de ±0,5mm ;
- La sollicitation de flexion sera la seule retenue dans cette étude. Elle conduit à une déformation du coulisseau dont la flèche peut se mettre sous la forme :

$$f = \frac{R_{\text{galet} \rightarrow \text{coulisseau}} \cdot \ell^3}{C_1 \cdot E \cdot I_{Gz}}$$

- ℓ : demi longueur du coulisseau voir **document 11** ;
- E : module d'Young du matériau ;
- I_{Gz} : moment quadratique de la poutre supposée de section rectangulaire de d'épaisseur b et hauteur h.

Question 16 Montrer que le respect du critère de précision conduit à l'application d'un critère sur la déformation de la poutre qui peut être mis sous la forme suivante :

$$C \cdot \left(\frac{\ell^4}{h^2} \right) \cdot \left(\frac{\rho}{E} \right) < f_{\max}$$

avec

- C : une constante liée au chargement de la poutre ;
- ρ : masse volumique du matériau.

Question 17 Montrer que l'optimisation du choix de matériau passe par la maximisation du rapport $\frac{E}{\rho}$. A l'aide du **document 13**, proposer un choix de matériau optimal pour la réalisation du rail, par rapport au critère de déformation. Donner et expliciter la désignation d'une nuance acceptable.

5.3.4 Conclusions

Question 18 Analyser le comportement du contact entre le galet **44** et le coulisseau **4** lors d'un cycle complet. Proposer sous forme de croquis et/ou schéma une modification de la forme du coulisseau **4** et de la liaison entre le coulisseau **4** et le flasque **10** permettant de tenir compte des différents résultats obtenus.

6 Fonction : Éviter de transmettre des vibrations

Objectif : Équilibrer la machine afin d'éviter de transmettre des vibrations.

6.1 Conditions d'équilibrage dynamique des masses en rotation

Objectif : Réaliser l'étude théorique des conditions d'équilibrage dynamique des masses tournantes.

Données et Hypothèses

- On cherche à réaliser l'équilibrage dynamique de l'ensemble S décrit dans le **document 16**. Les autres pièces en mouvement de rotation sont des pièces de révolution qui ne posent à priori pas de problème d'équilibrage.
- L'ensemble S de masse **m** a un centre de masse noté **G** qui est **fixe** dans le repère $(C; \overline{x_2}; \overline{y_2}; \overline{z_2})$. Il est formé de deux sous-ensembles :
 - L'ensemble des pièces liées au porte satellite **2** forment l'ensemble noté **S₂** défini par $S_2 = \{ 2 ; 5 ; 6 ; 7 ; 8 ; 12 \}$. La masse de **S₂** est notée **m₂**. Son centre de masse est noté **GS₂** ;
 - L'ensemble des pièces liées au satellite **3** forment l'ensemble noté **S₃** défini par $S_3 = \{ 3 ; 9 ; 10 ; 11 \}$. La masse de **S₃** est notée **m₃**. Son centre de masse est noté **GS₃** et se trouve sur l'axe $(K; \overline{z_3})$;

- On note S' le solide formé par les corps S_2 et S_3 liés au repère R_2 . S' a le même centre de masse que S .
- Les billes et les cages du roulement sont négligés dans l'étude ;
- On considère que toutes les pièces de l'ensemble S_3 sont de révolution d'axe $(K; \vec{z}_3)$;
- Le repère R_0 lié au bâti est supposé galiléen ;
- On note $D_{(G,S/R_0)} = \begin{Bmatrix} m\vec{\Gamma}(G \in S/R_0) \\ \vec{\delta}(G,S/R_0) \end{Bmatrix}$, le torseur dynamique au point G de l'ensemble S dans son mouvement par rapport à R_0 .
- On note $\Sigma_{(G,S/R_0)} = \begin{Bmatrix} m\vec{V}(G \in S/R_0) \\ \vec{\sigma}(G,S/R_0) \end{Bmatrix}$, le torseur cinétique au point G de l'ensemble S dans son mouvement par rapport à R_0 .

Question 19 Quelles conditions, nécessaires et suffisantes sur les composantes du torseur dynamique $D_{(G,S/R_0)}$, assurent l'équilibrage dynamique de l'ensemble S .

Question 20 Écrire la relation entre $\vec{\delta}(G,S/R_0)$ et $\vec{\sigma}(G,S/R_0)$

Question 21 Montrer que $\vec{\sigma}(G,S/R_0)$ peut s'écrire:

$$\vec{\sigma}(G,S/R_0) = \vec{\sigma}(G,S_3/R_2) + \vec{\sigma}(G,S'/R_0).$$

Question 22 Écrire la relation qui lie $\vec{\delta}(G,S_3/R_2)$ et $\vec{\sigma}(G,S_3/R_2)$. Justifiez votre réponse.

Question 23 Écrire de même la relation qui lie $\vec{\delta}(G,S'/R_0)$ et $\vec{\sigma}(G,S'/R_0)$. Justifiez votre réponse.

Question 24 Montrer que $\vec{\delta}(G,S_3/R_2)$ est porté par \vec{z}_0

Question 25 En regroupant les résultats obtenus, montrer que l'équilibrage de l'ensemble S se ramène à l'équilibrage du solide S' en rotation autour de l'axe $(C; \vec{z}_0)$.

Question 26 Comment s'écrit la matrice d'inertie de S' en G dans le repère R_2 compte tenu des symétries. Quelles conditions doit-on avoir sur les composantes de la matrice d'inertie de S' et sur la position du point G . Justifiez votre réponse.

6.2 Équilibrage des masses en rotation

Objectif : Concevoir un porte satellite dont la géométrie simple permet d'assurer l'équilibrage de l'ensemble S. Déterminer les cotes H, R_I et R_E du porte satellite 2 qui assurent l'équilibrage de S.

Données et Hypothèses:

- La géométrie et les éléments d'inertie sont donnés dans les **documents 14 à 16** . Pour des raisons d'encombrement et de fonctionnement, certaines dimensions admettent des valeurs maximales à ne pas dépasser : $H_{\max} = 38 \text{ mm}$ et $R_{E\max} = 68 \text{ mm}$;
- Pour des commodités de résolution, on définit un nouveau découpage de l'ensemble S ;
- On coupe l'ensemble S par le plan $(C; \overline{x_2}; \overline{y_2})$.
 - Le porte satellite 2 est scindé en deux parties :
 - Une partie dans les $z < 0$ notée **SA2** ;
 - Une partie dans les $z > 0$ notée **SB2** de masse **mB2**.
 - La partie **SB2** est formée par une demi couronne de hauteur H, de rayon intérieur R_I et de rayon extérieur R_E tel que $R_E = R_I + 30$;
 - L'ensemble **E3** (voir document 14) est scindé en deux parties :
 - Une partie dans les $z < 0$ notée **SA3** ;
 - Une partie dans les $z > 0$ notée **SB3** de masse **mB3**.
 - On note **SA** l'ensemble formé par les parties **SA2** et **SA3** ;
 - On note **SB** l'ensemble formé par les parties **SB2** et **SB3**.

Question 27 Vérifier que l'ensemble S pour $H = 30 \text{ mm}$, $R_I = 35 \text{ mm}$ et $R_E = 65 \text{ mm}$ n'est pas équilibré.

Question 28 Montrer que **SA** est équilibré.

Question 29 On note X_{GB2} et Z_{GB2} les coordonnées dans le repère R_2 du centre de masse **GB2** de **SB2**. Calculer ces coordonnées en fonction de H, R_I et R_E . On pourra utiliser un théorème de Guldin.

Question 30 Calculer les coordonnées X_{GB3} et Z_{GB3} du centre de masse **GB3** de **SB3** dans le repère R_2 .

Question 31 Énoncer les conditions d'équilibrage statique et dynamique de **SB** et écrire les relations correspondantes.

Question 32 Dédurre la valeur de H des relations précédentes. Cette valeur est-elle acceptable ?

Question 33 Dédurre enfin une relation permettant de calculer R_I . Calculer la valeur numérique de R_I et R_E tel que $R_E = R_I + 30$. Ces valeurs sont-elles acceptables ?

6.3 Équilibrage des masses en translation

Objectif : Une des évolutions souhaitée pour cette machine est d'augmenter la fréquence du mouvement de sortie. On souhaite faire fonctionner l'ensemble jusqu'à une fréquence maximale de $f_{\max}=30 \text{ Hz}$. A cette fréquence, les efforts vibratoires transmis au sol dus au mouvement oscillatoire des pièces en translation sont très importants. On choisit d'installer des plots en élastomère dans le but de réduire ces efforts.

Données et Hypothèses :

- On considère l'ensemble E_4 des pièces animées d'un mouvement de translation. Il est constitué du coulisseau 4 et des pièces qui lui sont attachées (tige de commande 21, douilles à billes 18, pièce à tester...).
 - Son centre de masse est noté G_{E4} ;
 - La masse de E_4 est notée m_4 . $m_4 = 7,2 \text{ kg}$.
- La vitesse angulaire d'entrée $\dot{\theta}$ est constante ;
- Les efforts de la pièce à tester sur le coulisseau sont négligeables par rapport aux effets d'inertie liés au déplacement de la masse m_4
- La machine est fixée sur une plaque support. La masse de l'ensemble $E = \{\text{machine, moteurs, plaque support}\}$ est notée M . L'ensemble a été alourdi dans le but de baisser au maximum la fréquence propre. $M = 563 \text{ kg}$;
- Cette plaque support est reliée au sol par l'intermédiaire de 4 plots de suspension élastique dont un extrait de documentation est donné dans les documents 17 et 18 ;
- L'ensemble suspendu possède 6 degrés de liberté ou 6 modes vibratoires ;
- L'amplitude des oscillations de chaque mode est une fonction de la fréquence d'excitation, des caractéristiques, du nombre et de l'emplacement des plots élastiques. On considère ici que le mode vibratoire prépondérant est le mode de translation suivant \vec{y}_0 . On note par $y(t)$ la position de la masse M à l'instant t . (voir document 19) ;
- Chaque plot élastique est modélisé par un ensemble (ressort + amortisseur) montés en parallèle ;
- Le document 19 résume et complète l'ensemble de ces données.

Question 34 Est-il possible de compenser les vibrations induites par les parties en translation en créant un balourd sur les parties tournantes existantes ? Proposer sous forme de schémas une solution mécanique permettant d'équilibrer entièrement ces vibrations.

Question 35 Écrire l'équation différentielle régissant le mouvement de l'ensemble E . On supposera qu'à l'équilibre statique, $y=0$. On écrira cette équation sous sa forme canonique.

Question 36 Déduire de la question précédente l'expression de l'effort oscillant d'excitation qui sera noté $\vec{F}_M(t) = F_M(t)\vec{y}_0$ ainsi que l'expression de l'effort transmis au sol noté $\vec{F}_T(t) = F_T(t)\vec{y}_0$.

Question 37 On suppose, **pour cette question uniquement**, que l'ensemble E est rigidement fixé au sol. Donner l'expression de l'effort oscillant transmis au sol. Que se passe t-il dans ce cas ? Quelle est l'amplitude maximale de ces efforts oscillants ?

Question 38 Déterminer la raideur K et le coefficient de frottement visqueux f_v en fonction de la raideur K_1 et du coefficient de frottement visqueux f_{v1} d'un plot élastique.

Question 39 Exprimer la fonction de transfert $\frac{Y(p)}{F_M(p)}$ où Y(p) est la transformée de Laplace de y(t), $F_M(p)$ la transformée de Laplace de $F_M(t)$. On utilisera la forme canonique correspondante.

Question 40 Calculer le coefficient de transmission $C(p) = \frac{F_T(p)}{F_M(p)}$.

Question 41 En régime harmonique de pulsation ω , calculer le module du coefficient de transmission : $\bar{C}(\omega)$.

Question 42 Calculer la pulsation propre du système non amorti ω_0 , la pulsation propre du système amorti ω_p et la pulsation à la résonance ω_r .

Quelle remarque peut-on faire ici ?

Question 43 Tracer l'allure de $\bar{C}(\omega)$. Indiquer les valeurs pour $\omega = 0$; ω_0 ; $\omega_0\sqrt{2}$.

Question 44 Remplir le tableau suivant en calculant la valeur de l'effort transmis maxi.

Fréquence f (Hz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	30
F_{max} sans plot											
F_{max} avec plot											

On cherche à obtenir un effort transmis inférieur à 24 daN sur toute la gamme. Le cahier des charges est-il respecté ? Que se passe t-il à la fréquence de 3Hz ? Que peut-on faire pour remédier à ce problème lors d'essais à basses fréquences ?

Question 45 Lors d'essais effectués pour des fréquences supérieures à 10 Hz, quel problème peut survenir lors du démarrage de la machine ?

Quelle procédure de démarrage doit-on alors imposer pour l'éviter ?

7 Sous Fonction : Changer le réglage de l'amplitude des mouvements

Objectif : Dimensionner la liaison complète entre la roue dentée 27, le support 24 et le moyeu couronne 28.

Données et hypothèses :

- Nombre de vis CHC M5 (non repérées sur les plans) assurant le serrage de la couronne : $n_{\text{vis}} = 8$;
- Coefficients de frottement acier/acier tous pris égaux à $f_{\text{acier/acier}} = 0,15$;
- Les dimensions nécessaires seront prises sur la coupe A-A **document 3** ;
- Courbe d'effort entre le pignon et la roue dentée (**voir courbe document 20**) ;
- Voir données sur le système vis-écrou **document 21**.

Question 46 Proposer un modèle (réaliser un croquis et indiquer toutes les hypothèses retenues) pour les actions mécaniques transmises par la liaison complète entre la roue dentée 27, le support 24 et le moyeu couronne 28. Déterminer l'effort minimum théorique que doit appliquer chaque vis pour que la transmission de puissance soit possible.

Question 47 Déterminer le couple de serrage théorique en tenant compte des pertes par frottement sous la tête et dans les filets. Déduire le couple pratique à exercer compte tenu du fait qu'avec un serrage manuel l'erreur sur l'effort de serrage conduit à prendre en compte un facteur multiplicateur de 4.

Question 48 Déterminer la contrainte équivalente de Von-Mises maximale appliquée à la vis lors du serrage dans les conditions les plus défavorables.

Question 49 Choisir la classe de qualité de la visserie réalisant la liaison complète en prenant un coefficient de sécurité $s=3$ et conclure sur d'éventuelles modifications de la liaison.

8 Exercice pédagogique

Finalités :

On souhaite développer une séquence d'enseignement dont le but est d'apporter aux étudiants la capacité d'analyser et de comparer différentes dispositions constructives de guidages en rotation par éléments roulants. La finalité ultime étant de leurs donner la capacité d'optimiser le choix d'une solution constructive vis-à-vis d'un cahier des charges.

Niveau d'enseignement concerné :

BTS Conception de Produits Industriels

Compétences concernées en TS CPI :

Elles se situent en phase de constitution du dossier d'étude et en phase de conception préliminaire.

2. Constitution du dossier d'étude	C04. Analyser, comparer des solutions techniques et argumenter.
	C05. Dégager les principes qui régissent les solutions techniques.
	C06. Rechercher une information dans une documentation technique, dans un réseau local ou à distance.
	C07. Identifier les moyens techniques de production disponibles.
	C08. Intégrer les contraintes de la propriété industrielle.
3. Conception préliminaire	C09. Rechercher et expliciter un principe de solution.
	C10. Proposer ou expliciter sous forme de croquis ou de schéma, commenté, légendé, une solution constructive.
	C11. Élaborer la maquette numérique de conception préliminaire à l'aide d'un modèleur volumique, paramétrable, variationnel.
	C12. Argumenter, au sein d'un groupe projet, les solutions techniques et économiques proposées en exploitant les outils adaptés.
	C13. Valider une géométrie ou une architecture, par simulation informatique ou calcul élémentaire des comportements mécaniques.
	C14. Estimer la durée d'étude attendue en phase avec le jalonnement d'un projet et recenser les éléments du coût.

Les deux compétences principales sont détaillées ci-dessous :

C04. Analyser, comparer des solutions techniques et argumenter.		
<i>Données</i>	<i>Compétence détaillée</i>	<i>Critères et/ou indicateur de performance</i>
Des solutions techniques en réponse à une fonction technique donnée sous forme de : <ul style="list-style-type: none"> - plans, schémas, croquis, - modèles virtuels, - mécanismes réels. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dégager des paramètres, des critères de comparaison des solutions techniques en regard du cahier des charges fonctionnel. - Pondérer chacun des critères. - Classer les différentes solutions techniques. - Communiquer oralement ou par écrit à propos du système technique. 	<ul style="list-style-type: none"> - Exhaustivité des paramètres à prendre en compte. - Exactitude du classement. - Pertinence des commentaires et de l'analyse.

C12. Argumenter, au sein d'un groupe projet, les solutions techniques et économiques proposées en exploitant les outils adaptés.

<i>Données</i>	<i>Compétence détaillée</i>	<i>Critères et/ou indicateur de performance</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Les croquis, schémas... d'études préliminaires. - Des bases de données locales et/ou à distances. - La base de données du « savoir-faire » de l'entreprise. - Des abaques. - Des catalogues de constructeurs. - Les informations relatives aux divers coûts : composants, matière, procédés. 	<ul style="list-style-type: none"> - Décrire une solution technique selon un critère du cahier des charges fonctionnel (CdCf). - Argumenter une solution au sein du groupe. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pertinence des critères techniques et économiques retenus. - Logique et objectivité de l'argumentation.

Savoirs associés :

<p>S72</p>	<p>Étude des solutions constructives associées aux liaisons :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nature des liaisons obtenues. • Solutions classiques avec éléments standard éventuels. • Conditions et surfaces fonctionnelles (mise en position, maintien en position), influence sur la précision, la tenue aux efforts, la rigidité, ... • Lubrification éventuelle. • Étanchéité éventuelle. • Adéquation pièce-matériau-procédé d'obtention. • Détermination du prédimensionnement et/ou validation du choix à l'aide de bases de données de constructeurs et de logiciels spécialisés. • Données technico-économiques comparatives (prix du composant, coûts d'installation, de maintenance, etc....) <p>Pour les solutions constructives suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ assemblage démontable, ○ assemblage permanent, ○ guidage en rotation par glissement, ○ guidage en rotation par éléments roulants, ○ guidage en translation par glissement, ○ guidage en translation par éléments roulants, ○ rotulage. 					
-------------------	---	--	--	--	--	--

Rappel des horaires de formation en TS CPI : (extrait)

	Horaires de 1 ^{ère} année			Horaires de 2 ^{ème} année		
	Semaine	a+b+c	Année	Semaine	a+b+c	Année
6.Comportement des systèmes	6	4+0+2	180	4	2+0+2	144
7. Construction mécanique	10	2+2+6	300	12	2+2+8	432

a : Cours

b : Travaux dirigés

c : Travaux pratiques

Travail demandé :

On demande de détailler une séance pédagogique de travail dirigé dont l'objectif général est de faire acquérir aux étudiants les méthodes d'analyse indispensables au choix d'une solution constructive de guidage par éléments roulants.

Le but des deux premières questions est d'établir deux documents de synthèse distribués aux élèves pendant le TD. Pour ces questions, on pourra s'aider du **document 22** en découpant les figures nécessaires à la réalisation des documents demandés.

Question 50 Pour définir de manière précise les critères de choix d'un type de roulement, on établira un document de synthèse qui situe chaque type de roulement en fonction de ces principaux critères. La réponse à cette question se fera sur copie. Le document proposé doit être organisé dans un format A3 maximum. On pourra utiliser deux pages contiguës d'une copie.

Ce document doit être le plus clair possible. L'utilisation de représentations graphiques est indispensable. Ce document doit constituer un guide pour l'étudiant.

Question 51 Pour définir les différents types de montages possibles, on établira un document de **synthèse** regroupant les grandes familles de montage et leurs particularités. Le document proposé devant tenir dans un format A3 maximum, on utilisera le verso du document précédemment établi.

Question 52 Décrire le déroulement de la séance, les objectifs visés pour cette séance, les supports techniques utilisés, les outils et les moyens pédagogiques utilisés (matériels et/ou logiciels). On demande d'établir le questionnement proposé ainsi que le corrigé fait pendant la séance de TD. On pourra utiliser tout ou partie des montages qui se trouvent dans le **document 23** ou dans le **document 3**.

Dossier technique

Document 1 : Vue en perspective et vue de face (format A4)

Document 2 : Vue en perspective sans bâti

Document 3 : Vue en coupe du mécanisme Echelle 2/3

Document 4 : Nomenclature

Document 5 : Paramétrage du mécanisme

Document 6 : Extrait de catalogue de galet sur roulement à billes

Document 7 : Extrait de catalogue de galet sur roulement à aiguilles

Document 8 : Extrait de catalogue – Dimensionnement des roulements

Document 9 : Loi de Hertz - Pression de contact et matériaux

Document 10 : Tableau de Dureté

Document 11 : Modèle d'étude RdM

Document 12 : Courbe $f(\beta)$

Document 13 : choix matériaux - optimisation

Document 14 : Éléments d'inertie de l'ensemble $E_3 = \{3 ; 5 ; 6 ; 7 ; 8 ; 9 ; 10 ; 11 ; 12\}$

Document 15 : Éléments d'inertie du Porte satellite 2

Document 16 : Ensemble S = Porte satellite 2 et Satellites 3 assemblés

Document 17 : Extrait de documentation Supports EVIDGOM - 1

Document 18 : Extrait de documentation Supports EVIDGOM - 2

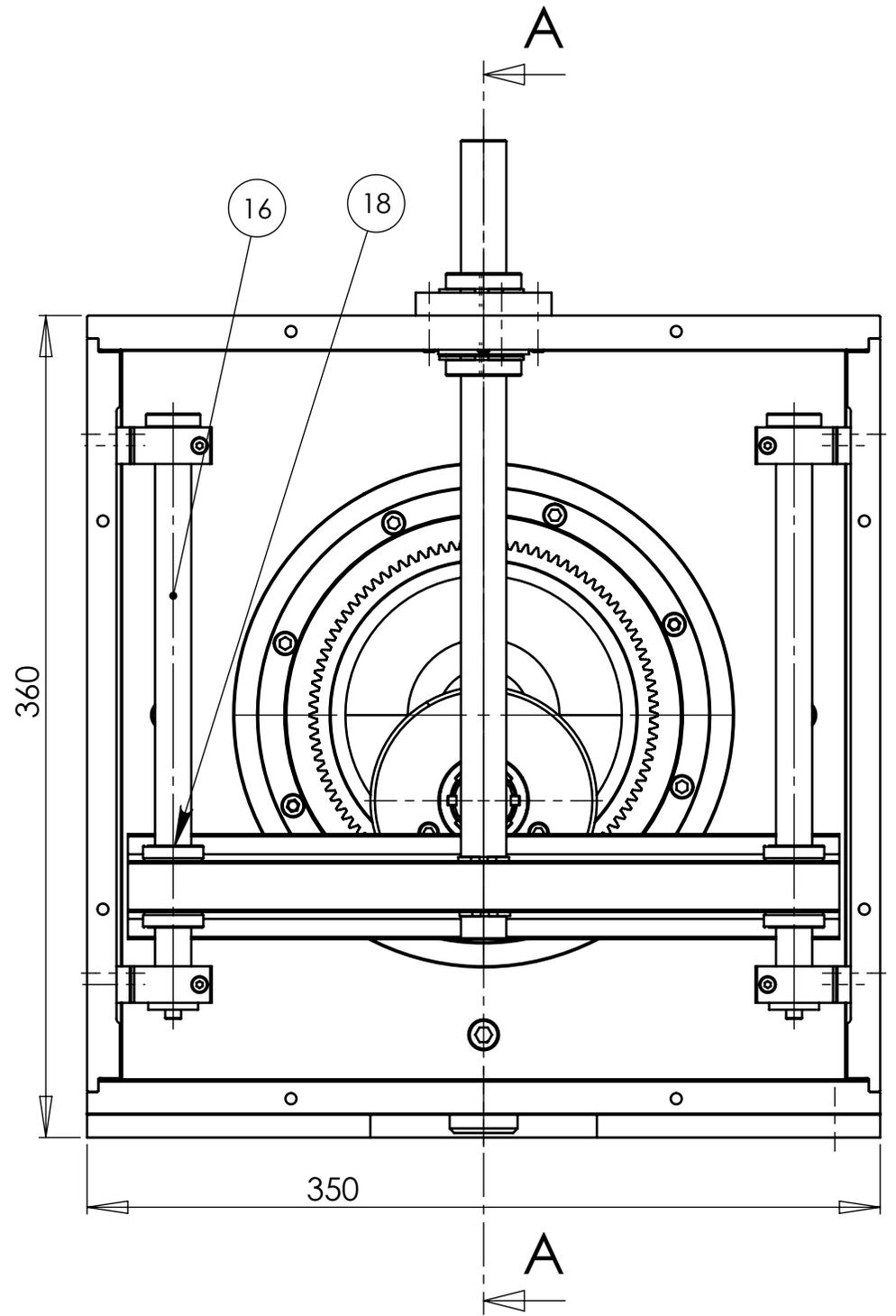
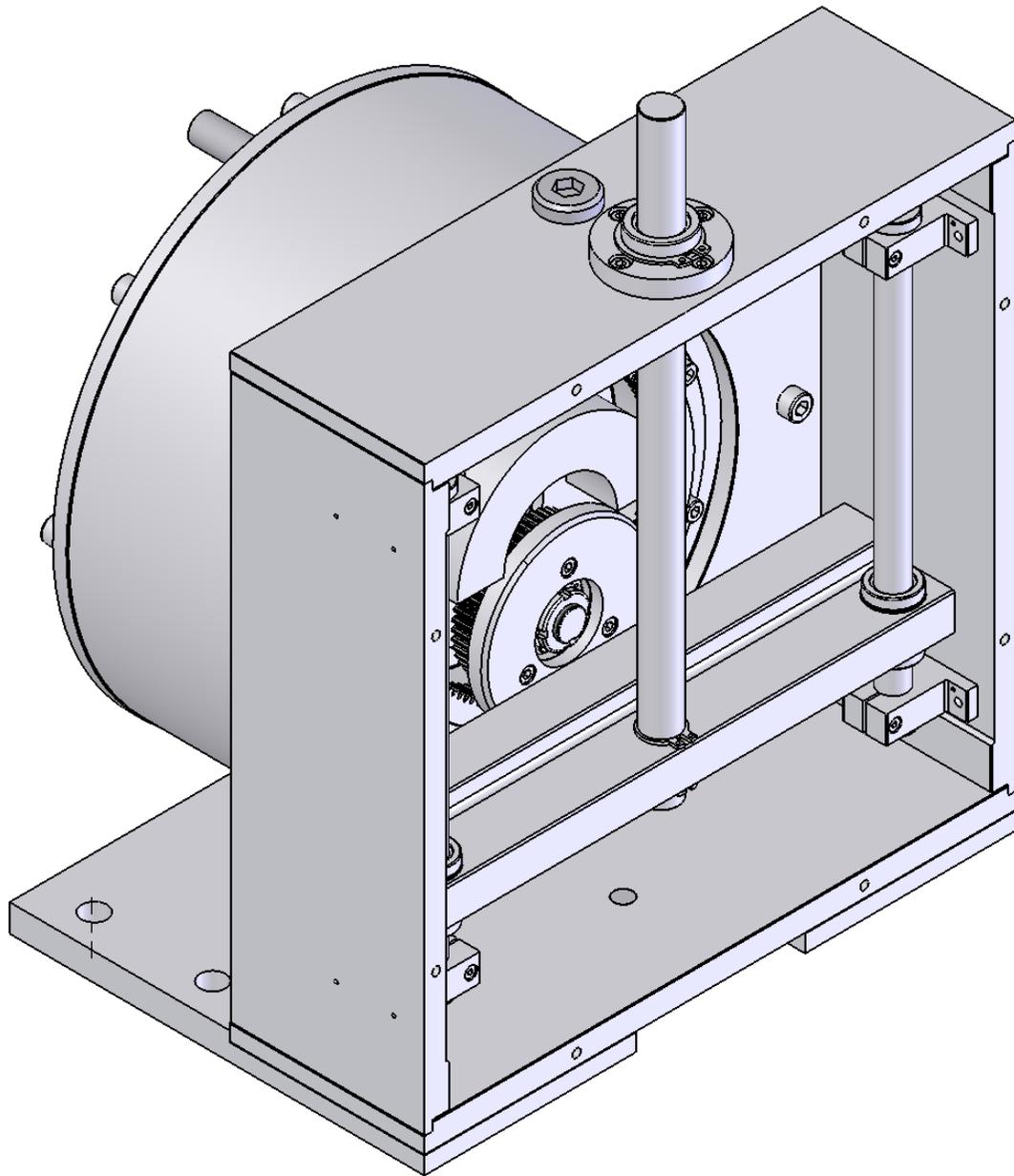
Document 19 : Modèle d'étude de la suspension élastique

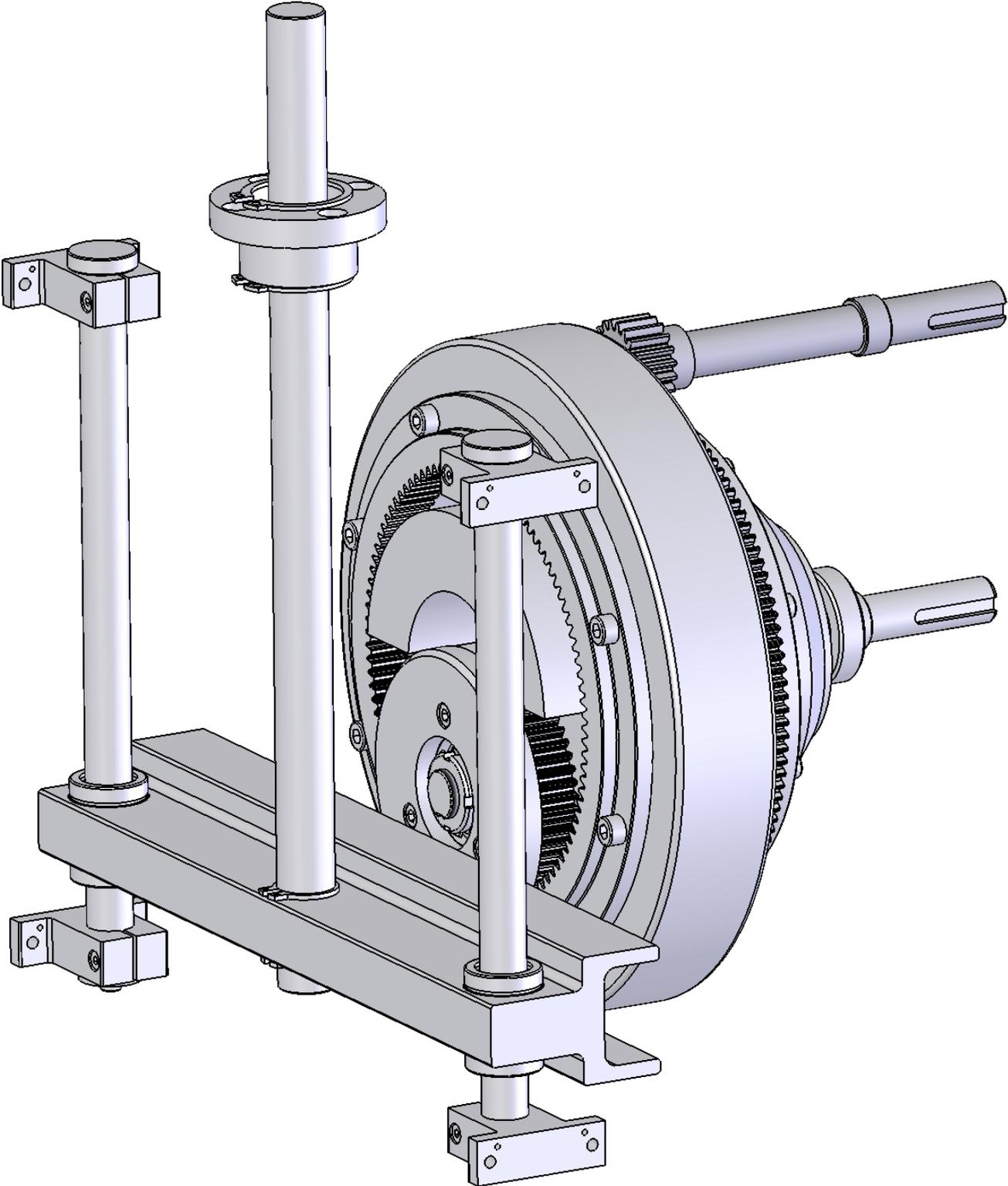
Document 20 : Effort pignon de réglage

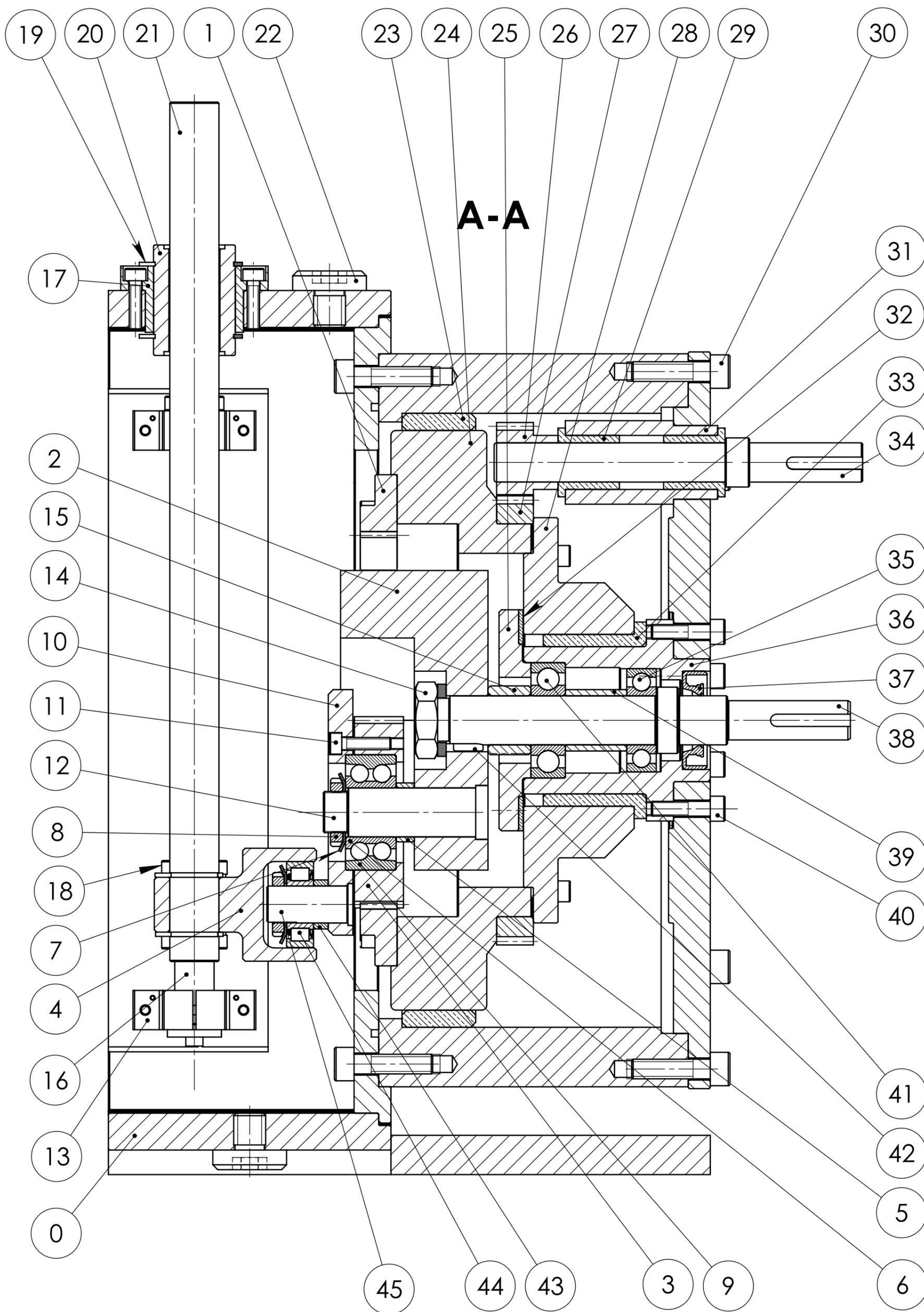
Document 21 : Effort de serrage système vis écrou

Document 22 : Dessins de divers roulements

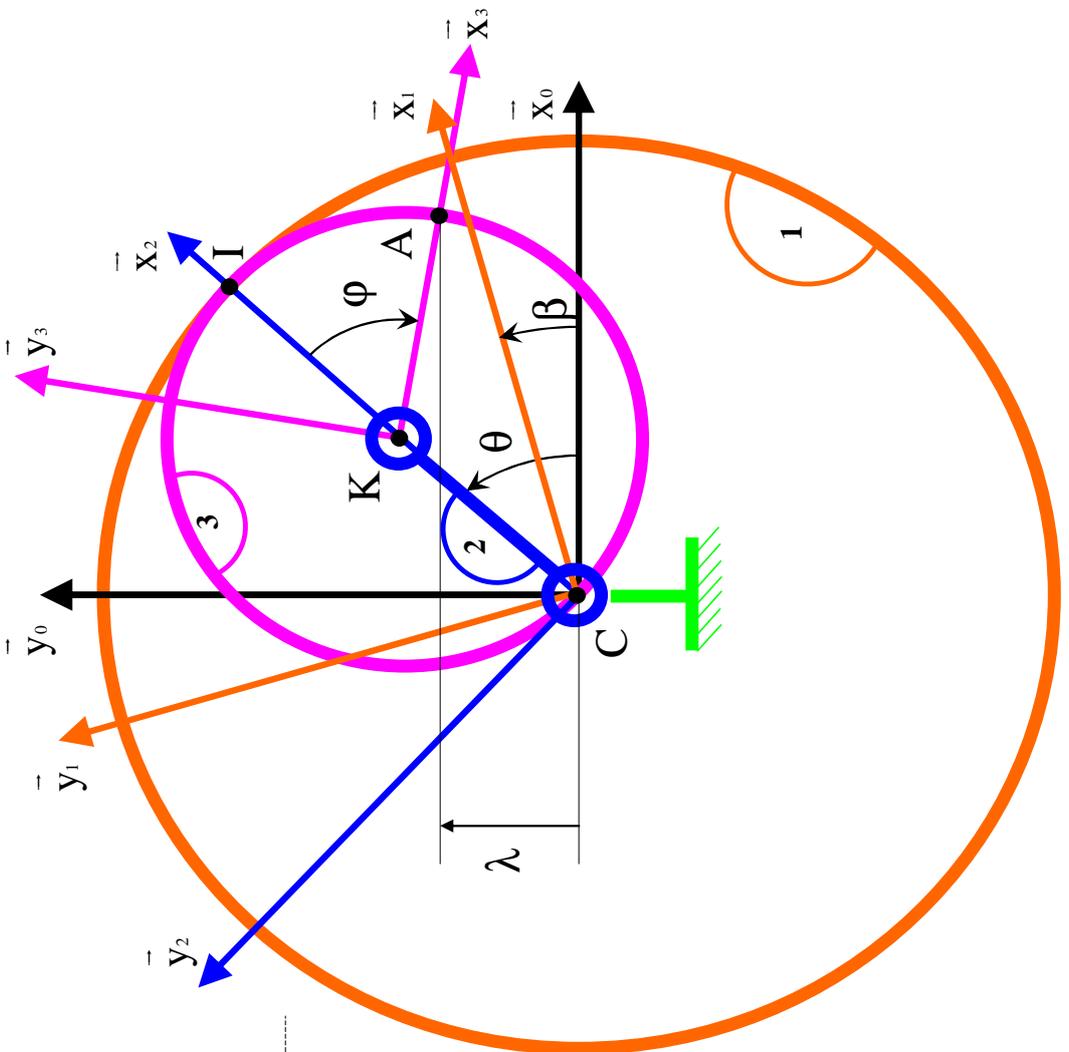
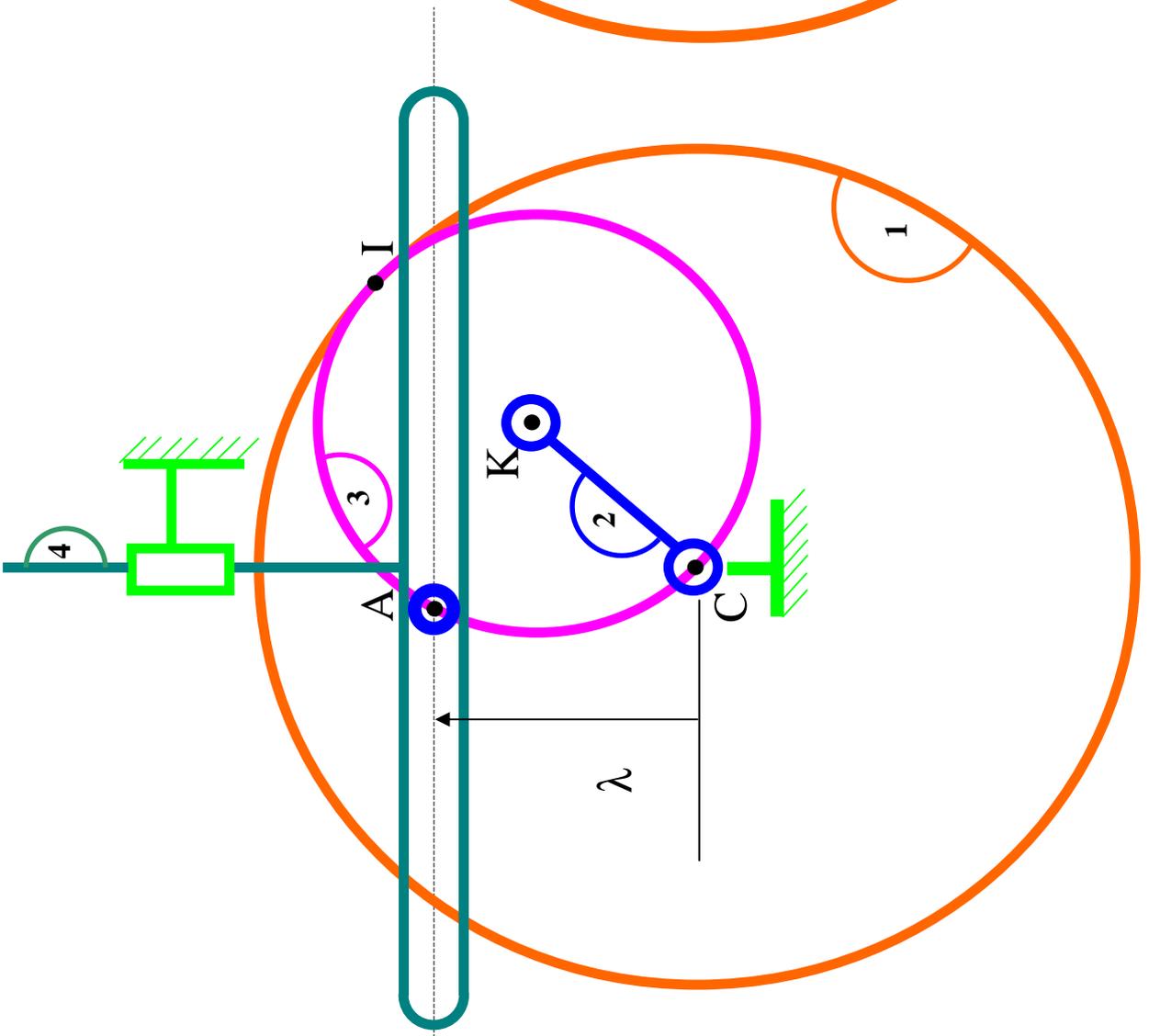
Document 23 : Exemples de Montages





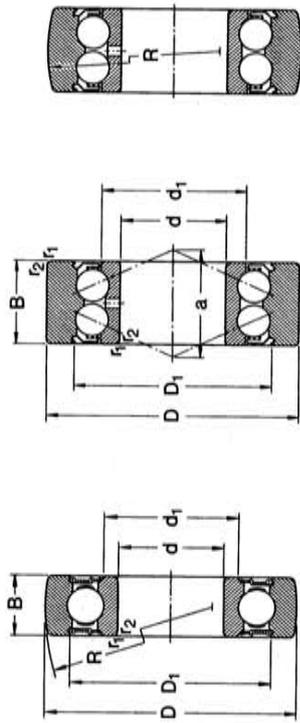


REP	NB	DESIGNATION	MATIERE	OBS
0	1	Ensemble carter	S235	assemblage vissé
1	1	Couronne dentée HPC IN1 1,5-100	12NiCr15	Z=100 m=1,5
2	1	Porte Satellite	C35	
3	1	Satellite HPC YG 1,5-50	12NiCr15	Z=50 m=1,5
4	1	Coulisseau	C35	
5	1	Entretoise	S235	
6	1	BI roulement SKF 3204A		
7	1	Rondelle frein SKF MB 3		
8	1	Ecrou frein SKF KM 3		
9	1	BE roulement SKF 3204A		
10	1	Flasque support doigt		
11	15	Vis CHc M5x20		
12	1	Axe Satellite	C35	
13	4	Palier INA GWA 16		
14	1	Ecrou Hm M18 + rondelle WL 18		
15	1	Entretoise porte satellite	S235	
16	2	arbre de guidage coulisseau	C35	
17	1	Palier haut de guidage coulisseau	S235	
18	2	Douille à billes INA KB16		
19	2	Anneau elastique 32x1,2 NFE 32 163		
20	1	Douille à billes INA KB20		
21	1	tige de commande	16 Ni Cr 10	
22	2	Bouchon + joint plat	S235	
23	1	Coussinet	CuSn12Pb	
24	1	Support couronne	C35	
25	1	chapeau de roulement	C35	
26	1	Pignon HPC YG 1,5-20	12NiCr15	Z=20 m=1,5 fretté sur 36
27	1	Roue HPC YG 1,5-120	12NiCr15	Z=120 m=1,5
28	1	moyeu couronne	C35	
29	2	coussinet Metafram BP25 16/22x25		
30	12	Vis CHc M8x20		
31	1	Palier de réglage	S235	
32	1	Plaque antifriction	BP25	
33	1	coussinet Metafram BP25 60/70x42		
34	1	Arbre de réglage	16 Ni Cr 10	
35	1	Roulement SKF 6004		
36	1	Palier principal	C35	
37	1	joint à lèvres type A 20x40x10		
38	1	Arbre d'entrée	16 Ni Cr 10	
39	1	Entretoise roulement	C35	
40	14	Vis M6x20		
41	1	Roulement SKF 6204		
42	1	Clavette parallèle forme A 6x6x14		
43	1	Entretoise galet	C35	
44	1	Galet SKF		
45	1	Axe galet	C35	



Document 6 : Extrait de catalogue de galet sur roulement à billes

Galets de cames
D 32-80 mm



Série 3612(00) R

Série 3057(00) C-ZZ

Série 3058(00) C-ZZ

Dimensions		Désignations		Masse		Vitesse de base		Désignations			
D	B	d	d ₁	D ₁	R	r _{1,2}	a	tr/min	kg	Désignations	Galets avec bande de roulement bombée
32	9	10	14,8	23,4	400	0,6	-	17 000	0,041	361200 R	-
	14	10	17,7	25	400	0,6	15	13 000	0,062	305800 C-ZZ	-
35	10	12	16,1	25,9	400	0,6	-	15 000	0,052	361201 R	-
	15,9	12	19,1	27,7	400	0,6	16,5	11 000	0,078	305801 C-ZZ	305701 C-ZZ
40	11	15	19,2	29,7	400	0,6	-	13 000	0,074	361202 R	-
	15,9	15	22,1	30,7	400	0,6	18	10 000	0,10	305802 C-ZZ	305702 C-ZZ
47	12	17	21,6	32,9	400	0,6	-	12 000	0,11	361203 R	-
	17,5	17	25,2	35	400	0,6	20	9 000	0,16	305803 C-ZZ	305703 C-ZZ
52	14	20	26	38,7	400	1	-	10 000	0,16	361204 R	-
	20,6	20	29,6	40,9	400	1	24	8 000	0,22	305804 C-ZZ	305704 C-ZZ
62	15	25	31,4	44,2	400	1	-	8 500	0,24	361205 R	-
	20,6	25	34,6	45,9	400	1	26,5	7 000	0,32	305805 C-ZZ	305705 C-ZZ
72	16	30	37,6	52,1	400	1	-	7 500	0,34	361206 R	-
	23,8	30	41,4	55,2	400	1	31	6 000	0,49	305806 C-ZZ	305706 C-ZZ
80	17	35	44	60,6	400	1,1	-	6 300	0,43	361207 R	-
	27	35	48,1	63,9	400	1,1	36,5	5 300	0,65	305807 C-ZZ	305707 C-ZZ

Désignation Galet avec bande de roulement bombée	Charges de base Roulement dyn. C		Galet de came dyn. C		Limites de fatigue Roule- ment P _u		Charges radiales maximales dyn. F _r	
	N	C ₀	N	C ₀	N	P _u	N	F _r
361200 R	5 070	2 360	4 620	2 000	100	85	3 400	4 900
305800 C-ZZ	7 800	4 500	7 020	3 750	190	160	4 400	6 300
361201 R	6 890	3 100	6 240	2 600	132	110	3 250	4 650
305801 C-ZZ	10 600	5 850	9 560	4 900	250	208	4 250	6 000
361202 R	7 800	3 750	7 020	3 200	160	134	5 000	7 200
305802 C-ZZ	11 900	7 100	10 600	5 850	300	250	6 400	9 150
361203 R	9 560	4 750	8 840	4 150	200	176	8 150	11 600
305803 C-ZZ	14 600	9 000	13 300	7 800	380	325	10 000	14 300
361204 R	12 700	6 550	11 400	5 400	280	232	7 350	10 600
305804 C-ZZ	19 500	12 500	17 200	10 000	530	425	8 800	12 700
361205 R	14 000	7 800	12 700	6 800	335	285	12 900	18 300
305805 C-ZZ	21 200	14 600	19 500	12 500	620	520	16 000	22 800
361206 R	19 500	11 200	17 400	9 300	475	400	14 300	20 400
305806 C-ZZ	29 600	21 200	26 500	17 000	900	720	18 000	25 500
361207 R	25 500	15 300	22 100	11 800	655	500	12 700	18 000
305807 C-ZZ	39 000	28 500	33 200	21 200	1 220	900	15 600	22 400

Document 8 : Extrait de catalogue – Dimensionnement des roulements

Charge variable

Pour pouvoir calculer la charge dynamique équivalente dans ce cas, il faut déterminer la charge moyenne constante qui est de même direction et a la même influence sur la durée du roulement que la charge variable réelle.

Si l'intensité de la charge varie par paliers ou d'une façon qui peut être assimilée à une telle variation (2), on obtient la valeur de la charge moyenne par la formule :

$$F_m = \sqrt[3]{\frac{F_1^3 U_1 + F_2^3 U_2 + F_3^3 U_3 + \dots}{U}}$$

dans laquelle

F_m = charge moyenne constante, N
 F_1, F_2, \dots = charges constantes agissant pendant U_1, U_2, \dots tours, N
 U = nombre total de tours ($U = U_1 + U_2 + \dots$) pendant lesquels agissent les charges F_1, F_2, \dots

Lorsque, la vitesse de rotation et la direction de charge étant constantes, l'intensité de la charge varie linéairement, pendant une période donnée, entre une valeur minimale F_{min} et une valeur maximale F_{max} (3), la charge moyenne est donnée par

$$F_m = \frac{F_{min} + 2 F_{max}}{3}$$

Si la charge se compose suivant fig. 4 d'une charge F_1 constante en intensité et en direction (poids d'un rotor par exemple) et d'une charge tournante F_2 constante en intensité (balourd par exemple), on peut utiliser

$$F_m = f_m (F_1 + F_2)$$

Le coefficient f_m est donné par la fig. 5.

Si la direction de la charge est celle des conditions de définition de la charge de base, la charge dynamique équivalente s'écrit $P = F_m$; sinon, on la calcule à l'aide de la formule générale dans laquelle

on prend pour F_r la composante radiale et pour F_a la composante axiale de la charge moyenne F_m .

Lorsque la direction et l'intensité de la charge varient dans le temps, il faut calculer des charges équivalentes P_1, P_2, \dots pour les différentes périodes U_1, U_2, \dots en utilisant la formule générale

$$P = X F_r + Y F_a$$

La charge équivalente moyenne est alors donnée par

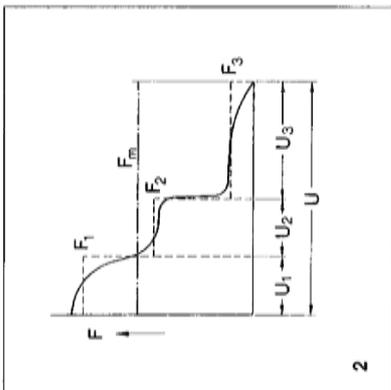
$$P_m = \sqrt[3]{\frac{P_1^3 U_1 + P_2^3 U_2 + P_3^3 U_3 + \dots}{U}}$$

Charge minimale requise

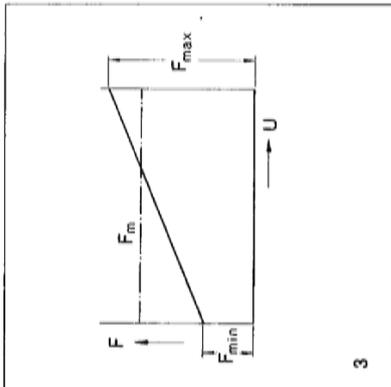
Pour fonctionner de façon satisfaisante, un roulement doit toujours être soumis à une charge minimale donnée.

Une règle générale pratique indique que des charges correspondant à 0,02 C doivent s'exercer sur les roulements à billes, et à 0,01 C sur les roulements à rouleaux. La présence de cette charge est d'autant plus nécessaire que le roulement est soumis à de fortes accélérations et que les vitesses avoisinent ou dépassent 75 % des vitesses de base mentionnées dans les tableaux de roulements.

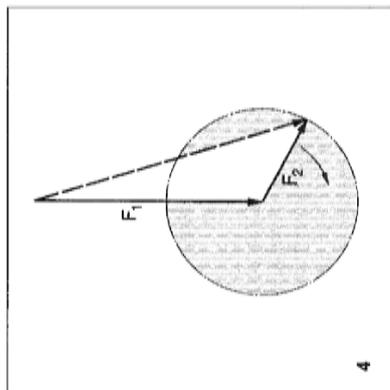
Des recommandations pour le calcul de la charge minimale requise sont données dans les textes d'introduction aux différents chapitres de roulements.



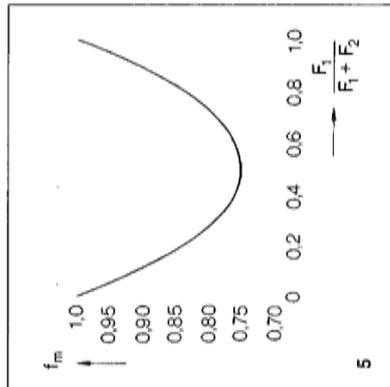
2



3



4

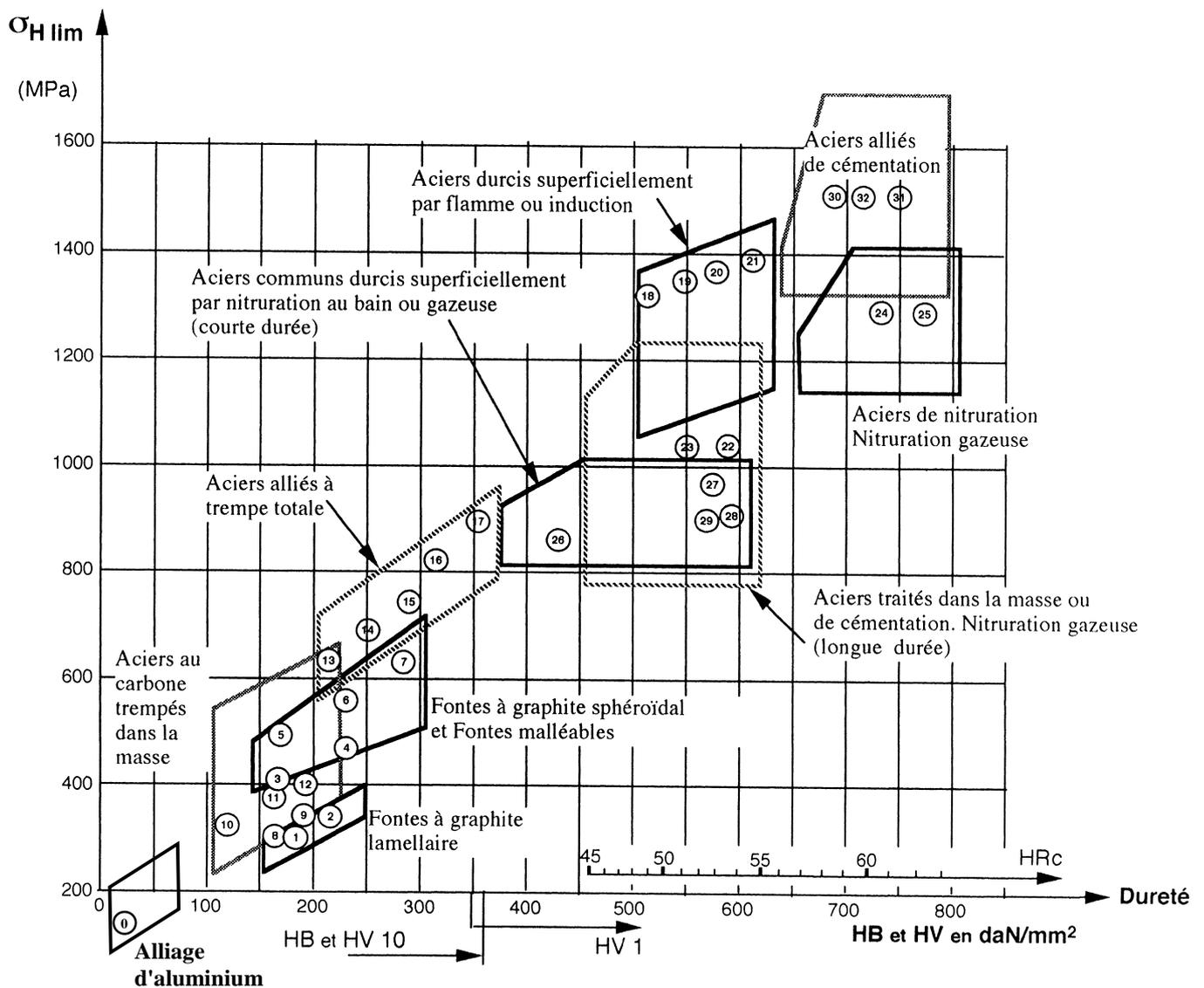


5

Expression de la pression de contact dans le cas d'un contact cylindre – cylindre

- q : Charge par unité de longueur
- C'_i : Courbure de la surface. Elle est égale à $\pm \frac{1}{R_i}$ suivant que la surface est convexe (+) ou concave (-)
- $k_i = \frac{1-\nu_i^2}{\pi \cdot E_i}$ où E_i est le module de Young et ν_i le coefficient de poisson
- Après déformation élastique, la demi largeur du contact est $b = 2 \cdot \sqrt{q \cdot \frac{k_1 + k_2}{C'_1 + C'_2}}$
- La pression de contact maxi est $p_{\max i} = \frac{4}{\pi} \cdot \left(\frac{q}{2 \cdot b} \right)$

Limite d'endurance à la pression superficielle



N°	Matériau	Composition Désignation	Dureté à cœur	Dureté en surface
0	Alliage d'aluminium	2017	$\sigma_{H\ lim} < 150\ MPa$	
1 2	Fontes grises	FGL 200 FGL 250	HB 170 HB 210	HB 170 HB 210
3 4	Fontes malléables	MB 350 MB 650	HB 140 HB 235	HB140 HB 235
5 6 7	Fontes à graphite sphéroïdal	FGS 420-15 FGS 600-3 FGS 1000-2	HB170 HB 250 HB 300	HB 170 HB 250 HB 300
8 9	Aciers moulés non alliés	GE 295 GE 335	HB 150 HB175	HB 150 HB175
10 11 12	Aciers de construction forgés non alliés	C 40 C 50 C 60	HB 120 HB 150 HB 180	HB 120 HB 150 HB 180
13 14 15 16 17a 17b	Aciers alliés traités dans la masse (trempe et revenu)	C 40 – C 55 34 Cr Mo 4 42 Cr Mo 4 36 Ni Cr Mo 16 30 Cr Ni Mo 8 36 Ni Cr Mo 12	HV10:185 HV10:250 HV10:280 HV10: 310 HV10: 350 HV10:360	HV10:185 HV10:250 HV10 : 280 HV10: 310 HV10: 350 HV10 :350
18 19 20 21	Aciers traités dans la masse, durcis superficiellement à la flamme ou par induction	C 40 – C 55 34 Cr Mo 4 42 Cr Mo 4 36 Ni Cr Mo 16	HV10:220 HV10 : 250 HV10:280 HV10:310	HV 10:530 HV10: 560 HV10:620 HV10:610
22 23	Aciers traités dans la masse, cémentation et nitruration gazeuse de longue durée	42 Cr Mo 4 16 Mn Cr 5	HV10:280 HV10:270	HV10: 580 HV10 :530
24 25	Aciers de nitruration, nitruration gazeuse de longue durée	31 Cr Mo V 9 14 Cr Mo V 6-9	HV10:320	HV 10:700
26 27 28 29	Aciers traités dans la masse ou aciers de cémentation, nitruration au bain ou gazeuse de courte durée	C 45 nitruré 16 Mn Cr 5 nitruré 42 Cr Mo 4 TDM 16 Mn Cr 5 TDM	HV10 : 200	HV1: 400 HV1:550 à 600
30 31 32	Aciers alliés de cémentation cémentés et trempés de Mécanique Générale	16 Mn Cr 5 20 Mn Cr 5 16 Ni Cr 6 18 Ni Cr Mo 6		HRC : 58 à 62

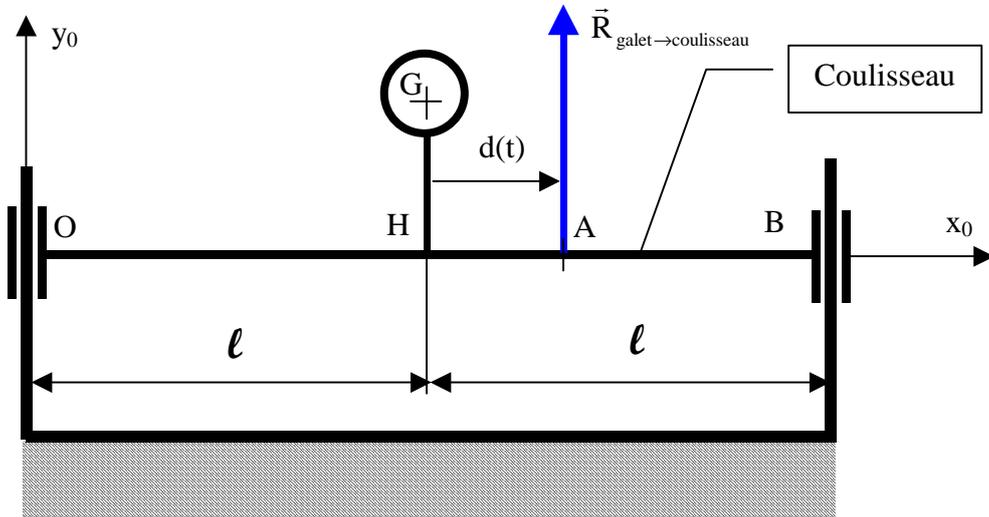
TDM= traité dans la masse

HV1 = Dureté Vickers avec charge de 1daN

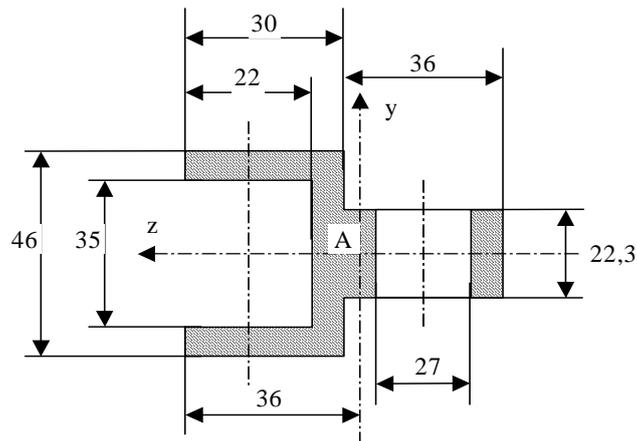
HB = Dureté Brinell

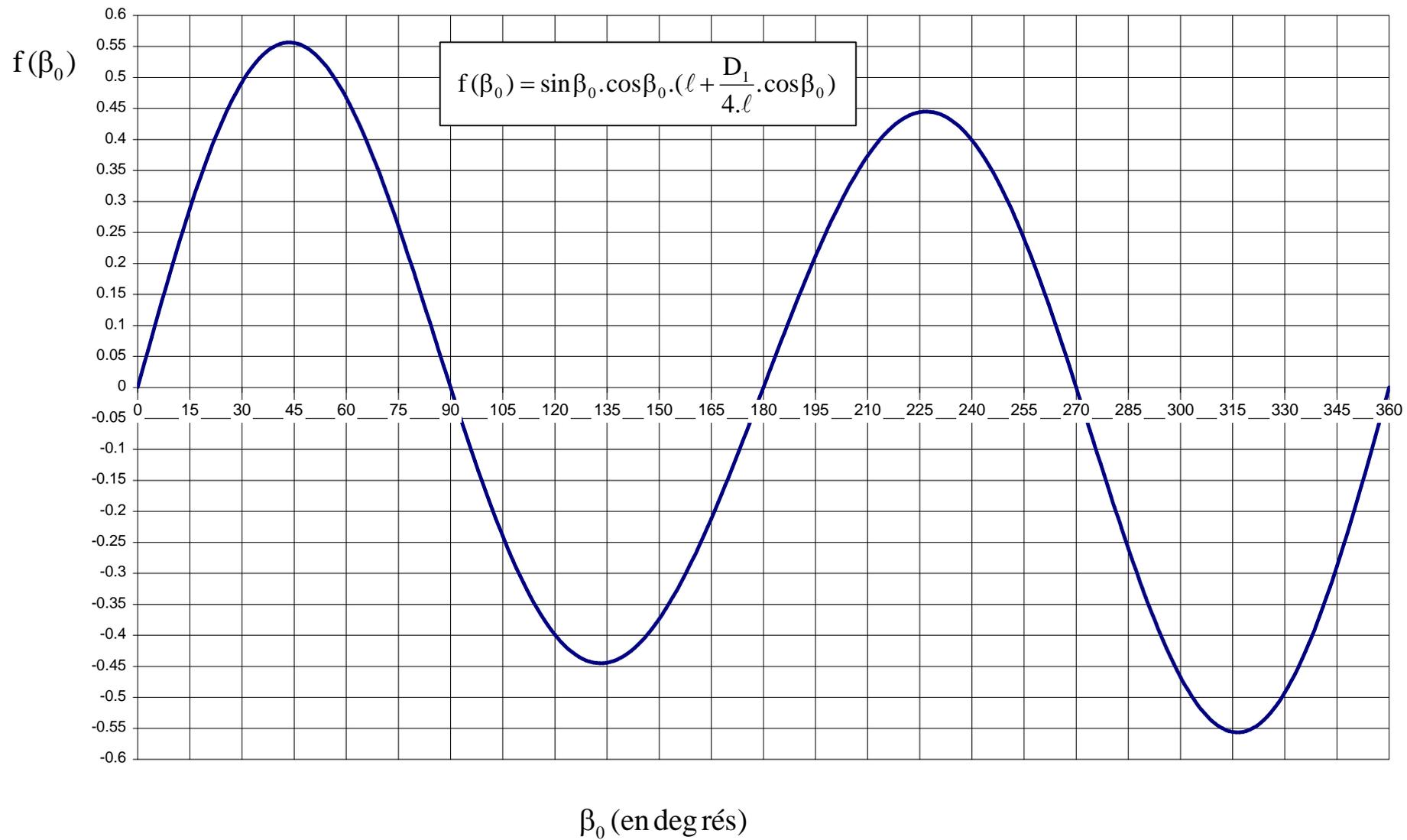
HV10 = Dureté Vickers avec charge de 10daN

HRC = Dureté Rocwell cône

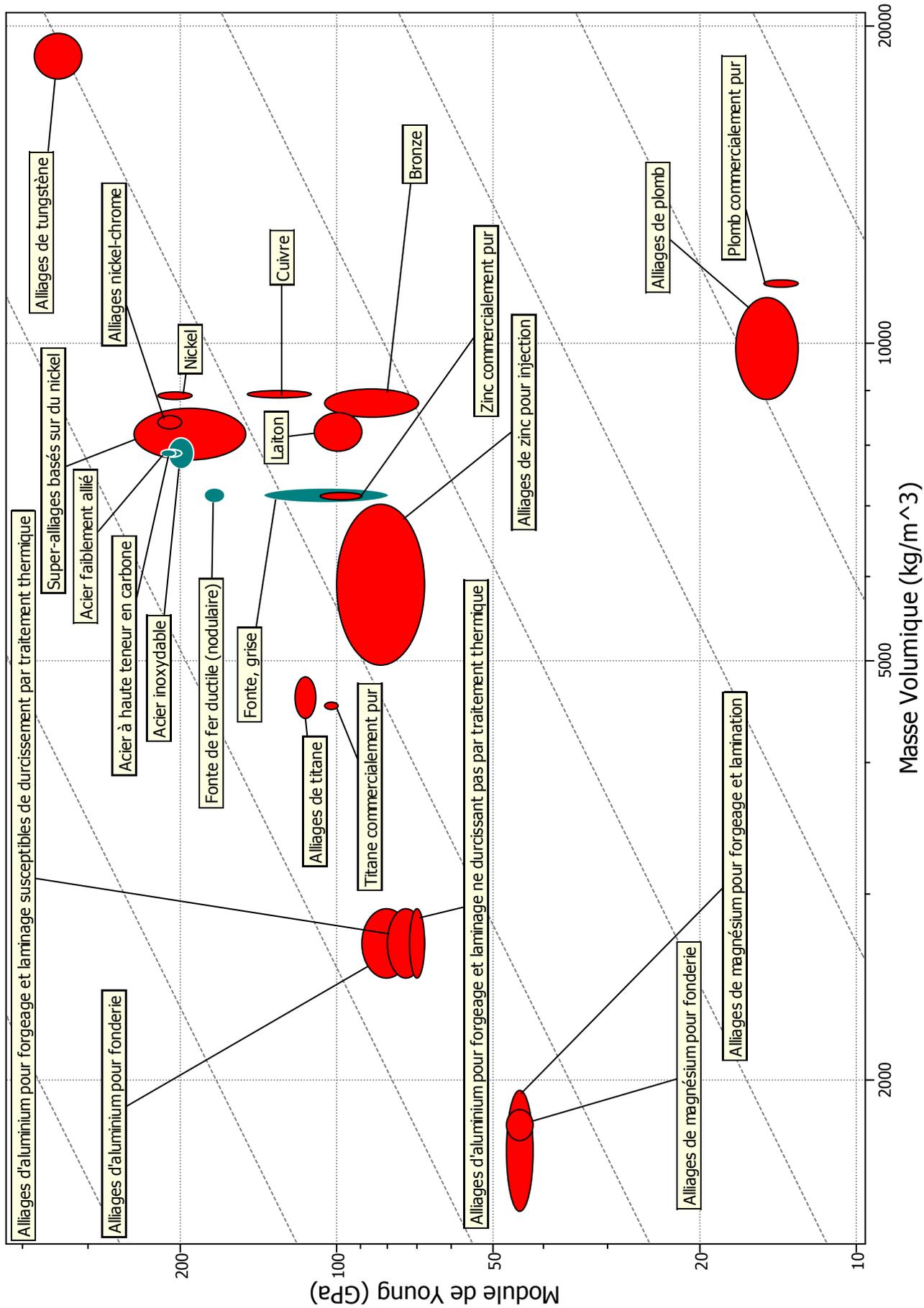


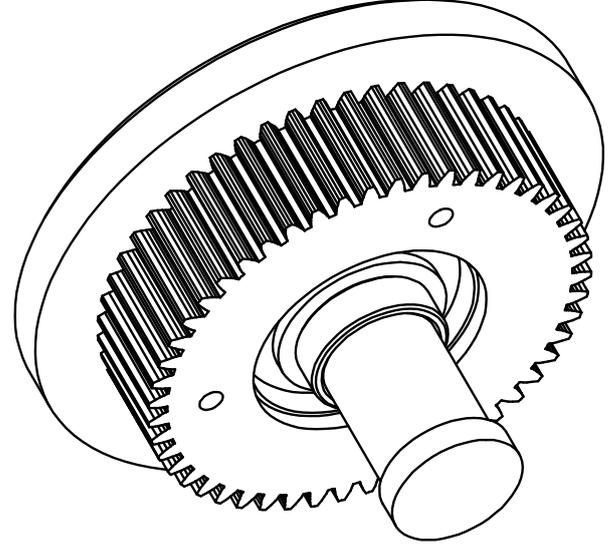
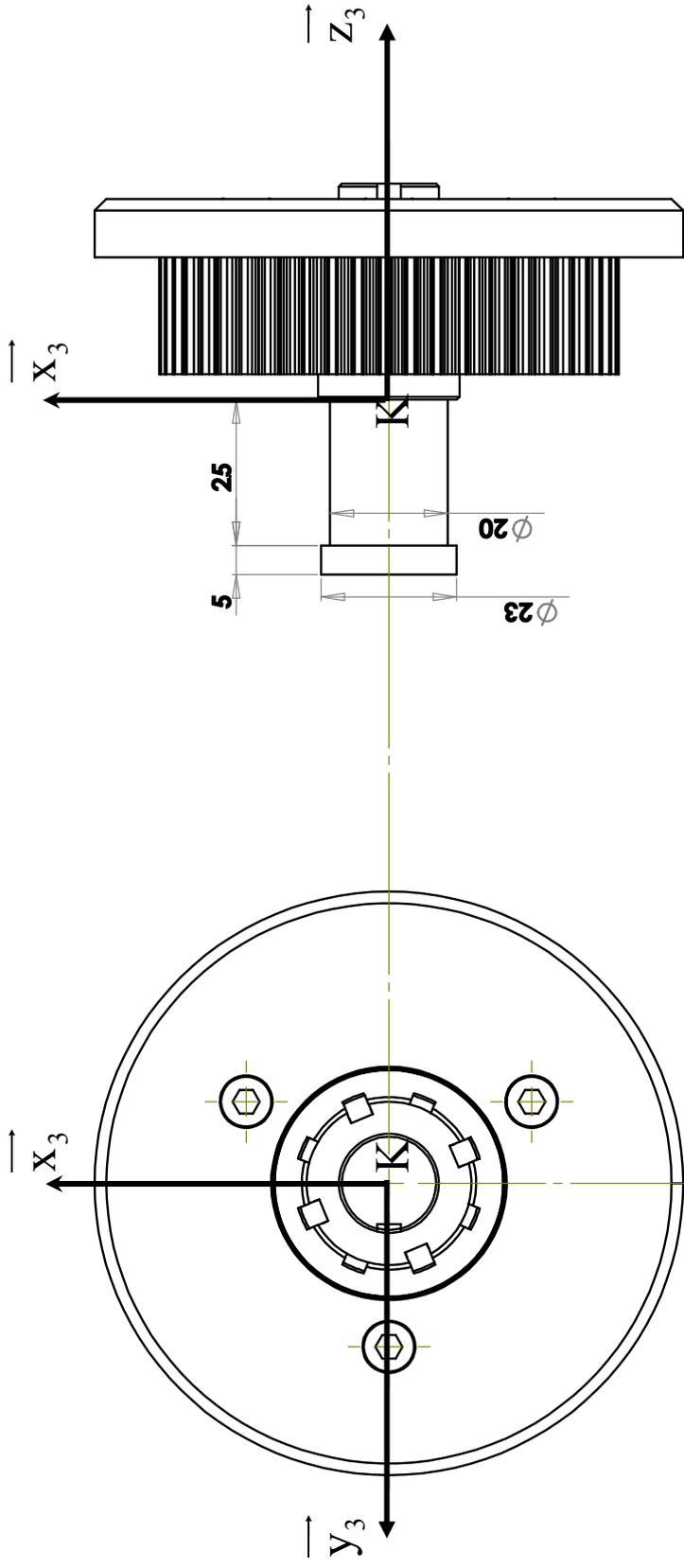
Section droite du coulisseau au droit des points O, H et B





Document 12 : Courbe $f(\beta)$





Dans le repère $R_3 = (K; \vec{X}_3; \vec{Y}_3; \vec{Z}_3)$:

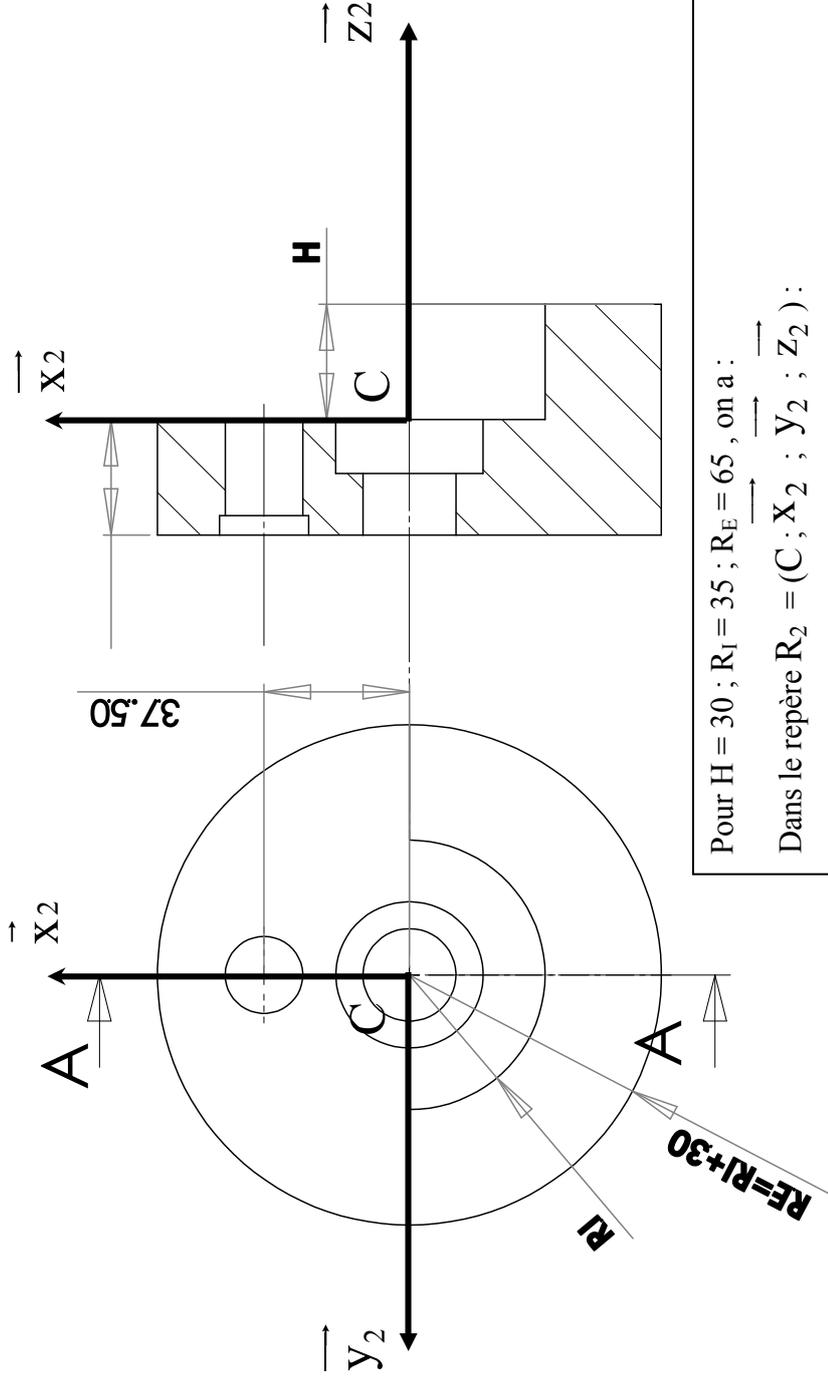
$$I_{(K; E_3; R_3)} = \begin{pmatrix} 8,1 \cdot 10^{-4} & 0 & 0 \\ 0 & 8,1 \cdot 10^{-4} & 0 \\ 0 & 0 & 1,21 \cdot 10^{-3} \end{pmatrix} \quad (\text{en kg.m}^2)$$

Le centre d'inertie G_3 est donné par ses coordonnées dans R_3 :

$$G_3 (0, 0, 16)$$

Masse volumique de chaque constituant de E_3 : $\rho = 7.81 \text{ kg/dm}^3$

Masse de l'ensemble E_3 : $M_3 = 1,3 \text{ kg}$



Pour $H = 30$; $R_1 = 35$; $R_2 = 65$, on a :

Dans le repère $R_2 = (C ; X_2 ; Y_2 ; Z_2)$:

$$I_{(C;2;R_2)} = \begin{pmatrix} 6.10^{-3} & 0 & 0.5.10^{-3} \\ 0 & 6.10^{-3} & 0 \\ 0.5.10^{-3} & 0 & 9.4.10^{-3} \end{pmatrix} \quad (\text{en kg.m}^2)$$

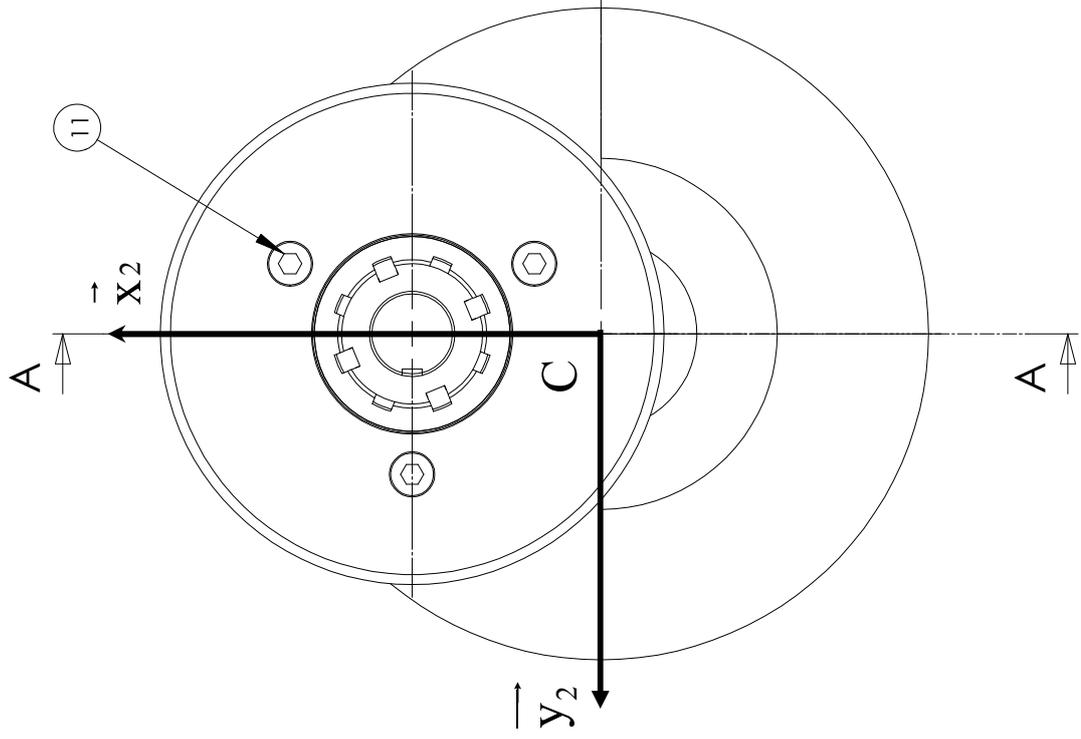
Le centre d'inertie G_2 est donné par ses coordonnées dans R_2 :

$$G_2 (-10, 0, -7)$$

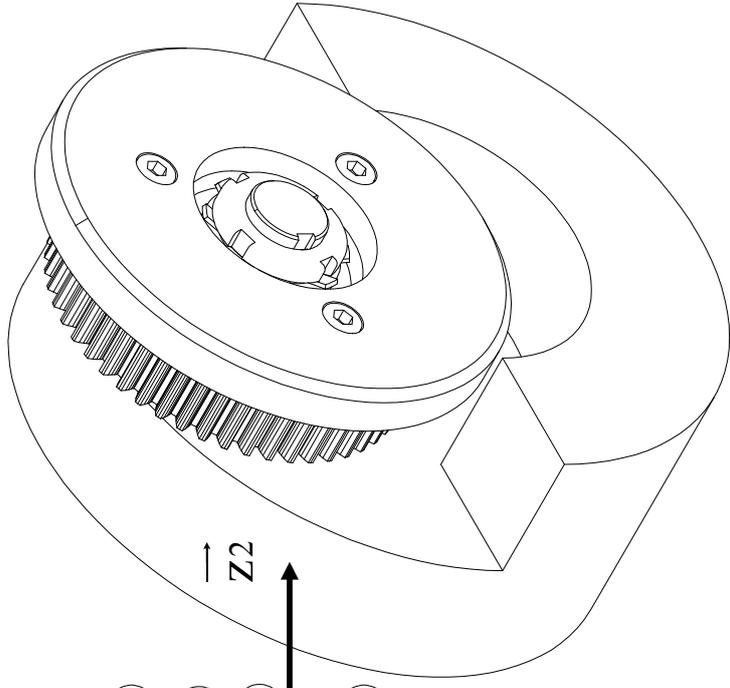
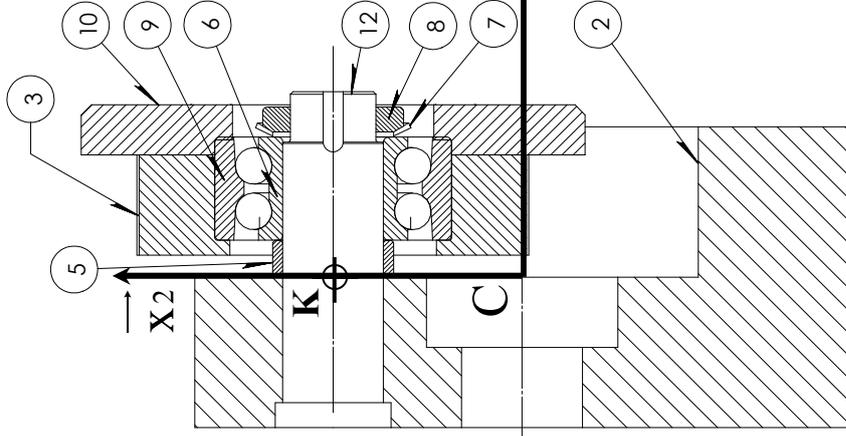
Masse du porte satellite $\mathbf{2}$: $M_2 = 4$ kg

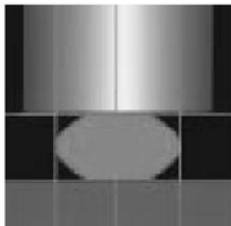
Masse volumique de $\mathbf{2}$: $\rho = 7.81$ kg/dm³

REP	DESIGNATION	NB
2	Porte Satellite	1
3	Satellite HPC YG1 1.5-50	1
5	Entretoise	1
6	BI Roulement SKF 3204 A	1
7	Rondelle frein SKF MB 3	1
8	Ecrou frein SKF KM3	1
9	BE Roulement SKF 3204 A	1
10	Flasque support doigt	1
11	Vis CHc M5X20	3
12	Axe Satellite	1



COUPE A-A





ÉVIDGOM®



(1) Fréquence propre :
2,5 à 7 Hz

DESCRIPTION

L'ÉVIDGOM est un support de révolution en caoutchouc. Schématiquement, l'ÉVIDGOM, peut être assimilé à deux membranes coniques épaisses d'axe commun, et réunies par leur grande base pour constituer une sorte de frette élastique.

Il existe trois formes :

- ÉVIDGOM tout caoutchouc.
- ÉVIDGOM à fixations adhérees.
- ÉVIDGOM à fixations monté sur plaque de base ovale ou carrée (pochette livrée séparément).

FONCTIONNEMENT

La conception du support ÉVIDGOM lui confère les propriétés fondamentales suivantes :

- Une très grande élasticité axiale.
- Fréquence propre très basse (quelques Hertz).
- Effet de butée progressive dans le cas de chocs ou surcharges accidentels.

Avantages :

- Lorsque la caractéristique a un point d'inflexion, on recherchera une suspension telle que la sous-tangente soit supérieure à la flèche.
- L'élastomère utilisé présente un amortissement propre, donc une absorption d'énergie qui constitue un avantage non négligeable par rapport à un ressort métallique.

Recommandations :

- La recherche d'une fréquence propre basse (flèche importante) ne doit pas se faire au détriment de la stabilité de la suspension (hauteur des supports).
- Dans certains cas (utilisation à pleine charge) il est conseillé de prévoir des butées latérales.

(1) les fréquences propres indiquées, sont valables pour les charges maxi des plages d'utilisation citées dans le paragraphe : CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES.

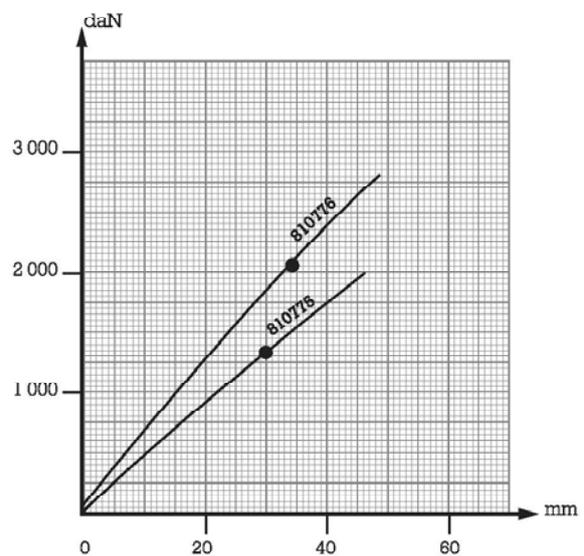
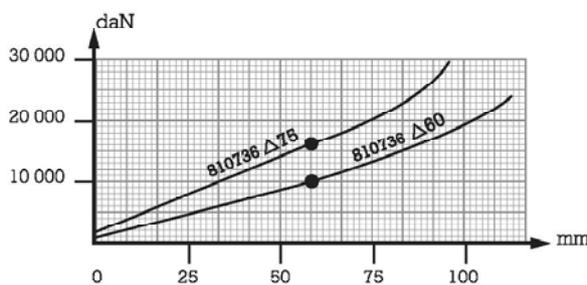
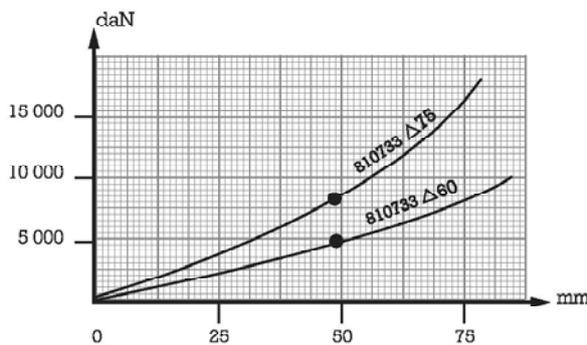
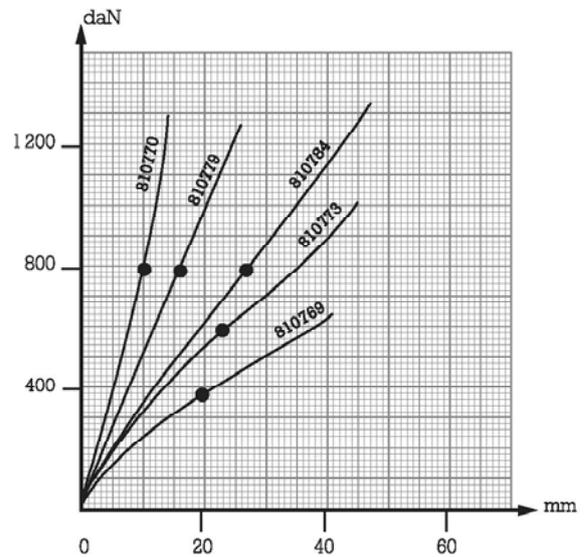
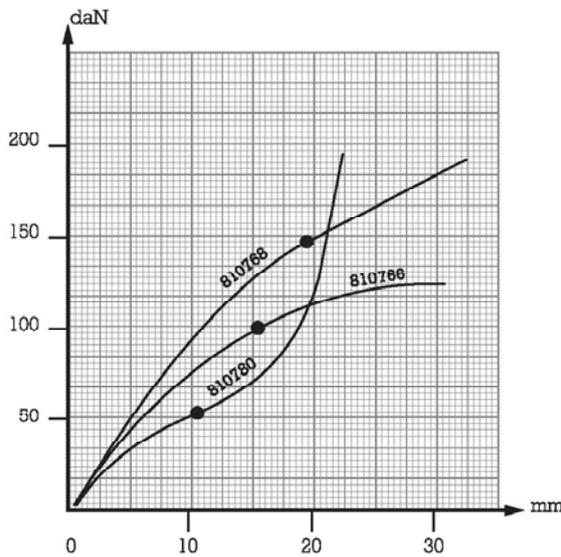
CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

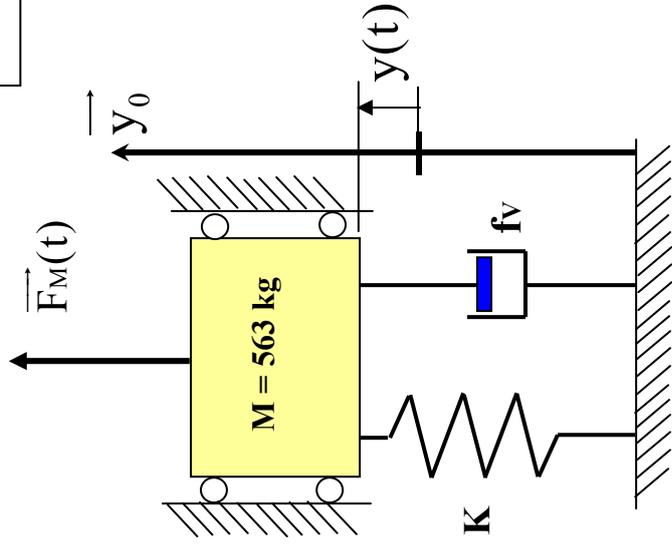
Plage d'utilisation daN	Flèche sous charge max mm	ØA mm sous charge nominale	Hauteur B mm	Référence
5-15	5	40	25	810002
10-40	11	50	55	810003
20-80	14	63	80	810005
15-60	10	80	40	810780
25-100	15	105	70	810766
35-150	18	124	90	810768
100-400	20	136	90	810769
100-390	23	134	110	810012
150-600	24	175	120	810773

Plage d'utilisation daN	Flèche sous charge max mm	ØA mm sous charge nominale	Hauteur B mm	Référence
200-800	26	170	140	810784
200-800	16	175	90	810779
200-800	10	166	56	810770
325-1300	30	175	150	810775
500-2000	35	240	180	810776
1250-5000	50	345	230	810733Δ60
2000-8000	50	345	230	810733Δ75
2250-9000	60	500	290	810736Δ60
3500-14000	60	500	290	810736Δ75

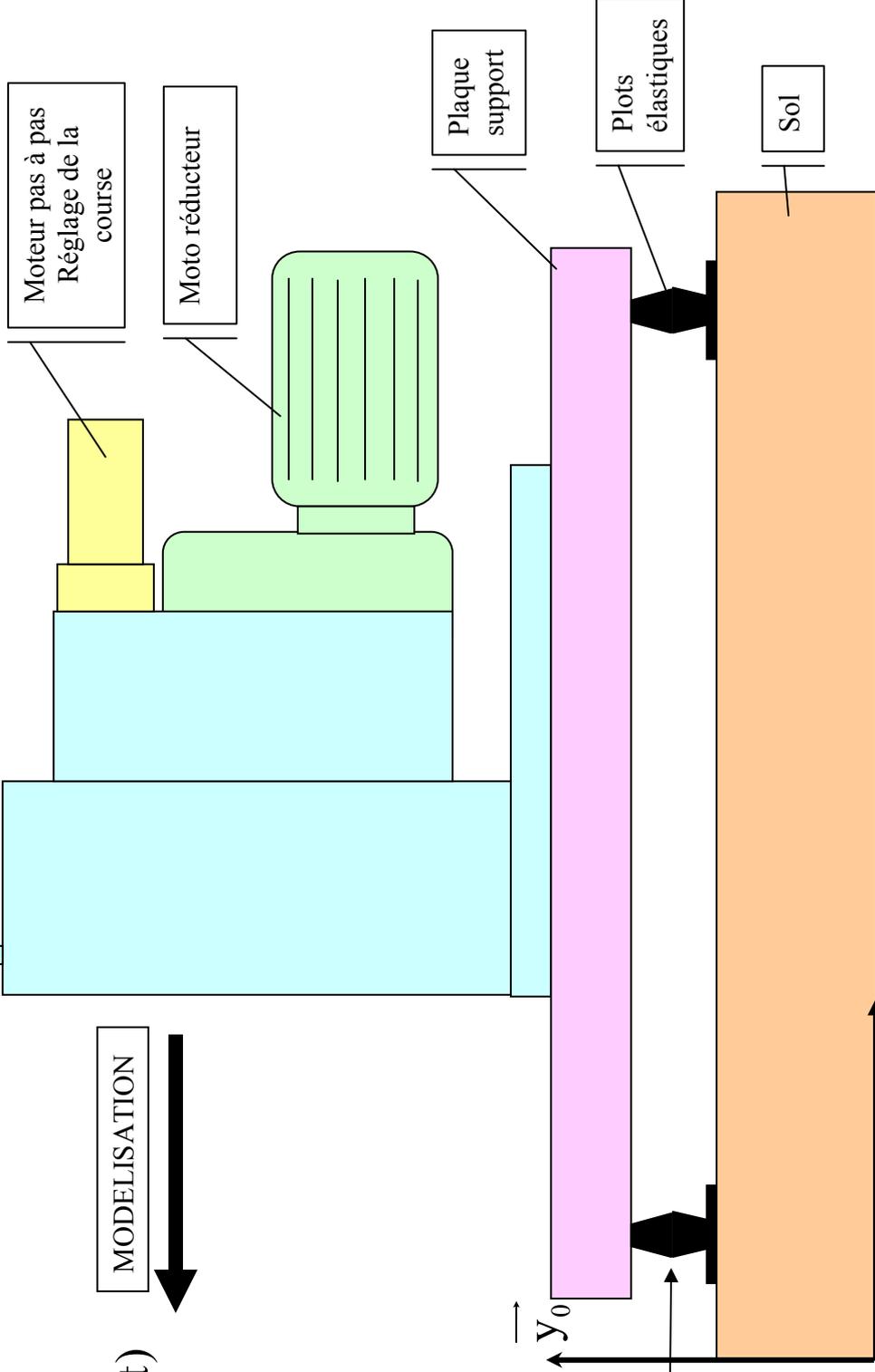
Pour connaître la disposition de nos pièces, consulter notre tarif en cours.

COURBES CHARGE/FLÈCHE EN COMPRESSION AXIALE





MODELISATION



Caractéristiques d'un plot

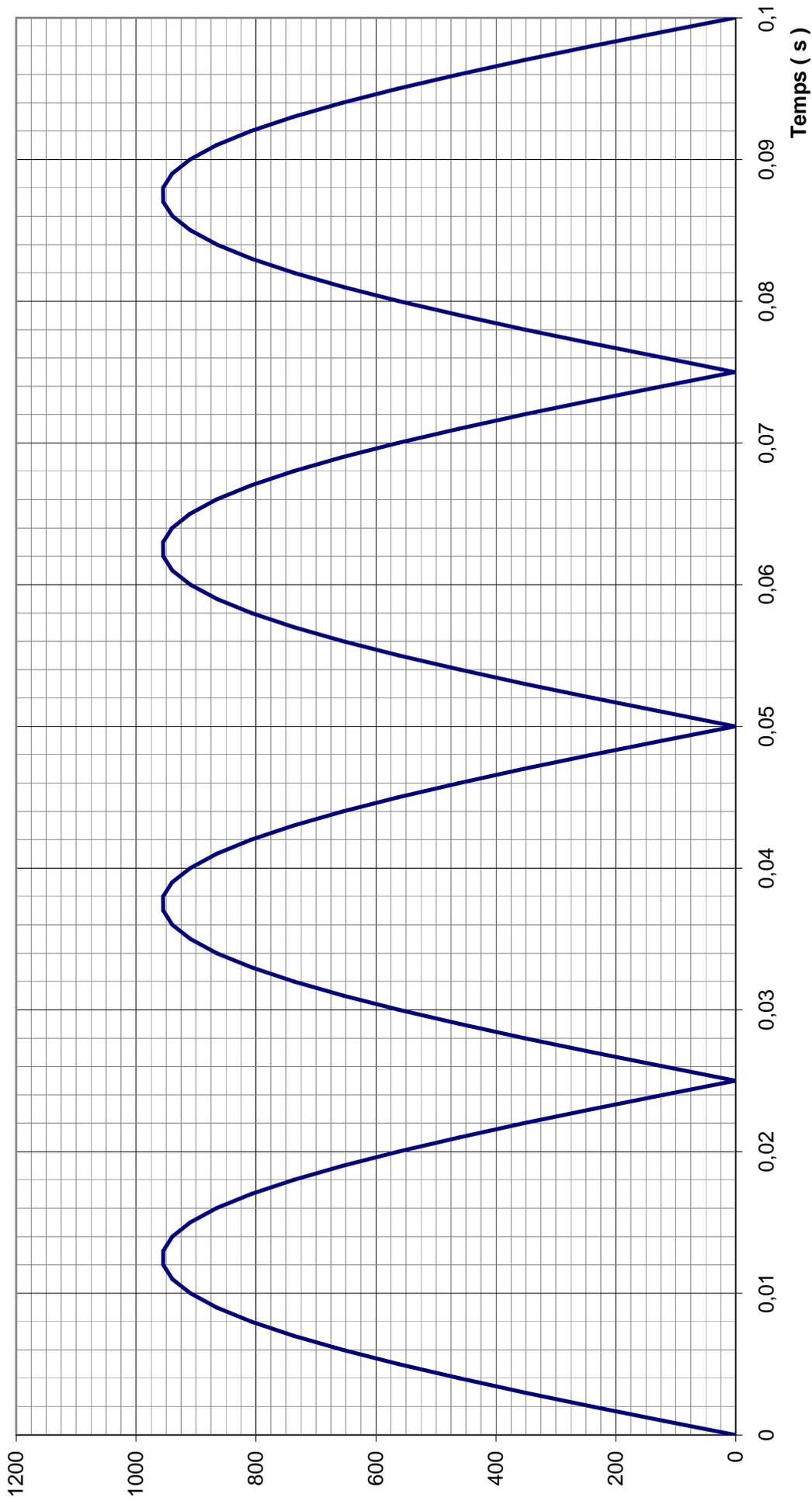
K_1 : Raideur d'un plot élastique (supposé constant dans la zone de fonctionnement).

$K_1 = 50000$ N/m

fv_1 : Coefficient de frottement visqueux d'un plot.

$fv_1 = 530$ N.s/m

F(pignon 27 / roue 28) (N)

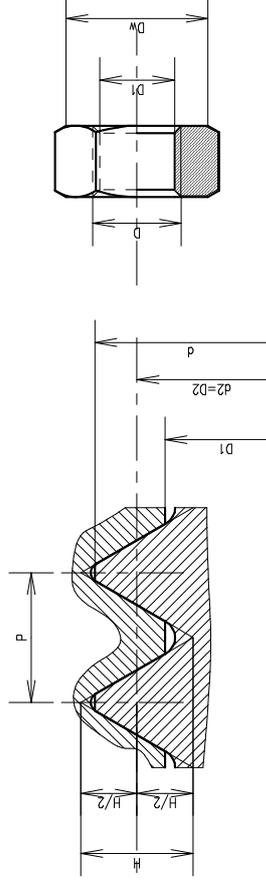


La relation ci-dessous permet de relier la résultante **R** des actions de serrage de l'écrou sur la pièce à serrer au couple **C** exercé par l'opérateur à l'aide d'une clé sur l'écrou ou la vis.

$$\|\vec{C}\| = \|\vec{R}\| \left(\frac{d_m}{2} \cdot \text{tg} \varphi + \frac{d_2}{2} \cdot \text{tg}(\varphi' + \alpha) \right)$$

- $\frac{d_m}{2}$: Rayon moyen de la surface d'appui entre l'écrou (ou la vis) et la pièce serrée ;
- $\frac{d_2}{2}$: Rayon moyen du filetage ;
- $\text{tg}(\varphi) = \frac{\text{tg}(\varphi)}{\cos(\beta)}$ avec β : demi-angle au sommet du filet ($\beta=30^\circ$) ;
- α : Angle d'inclinaison d'hélice $\text{tg}(\alpha) = \frac{\text{pas}}{\pi \cdot d_2}$;
- f : coefficient de frottement supposé identique sous la tête et dans les filets.

Caractéristiques des vis et écrous à profil métrique



P = pas

H = 0,866. **P**

D = **d** = diamètre nominal

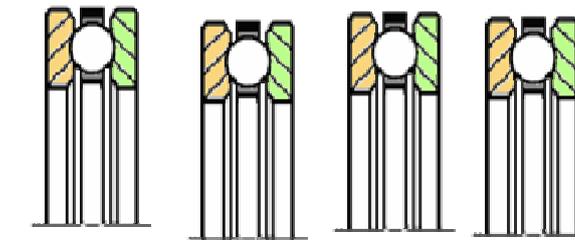
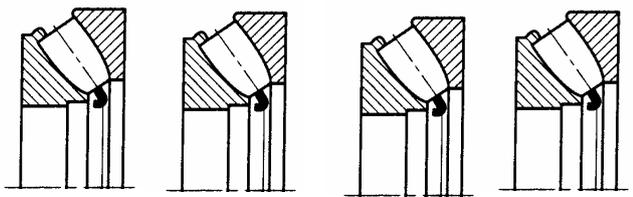
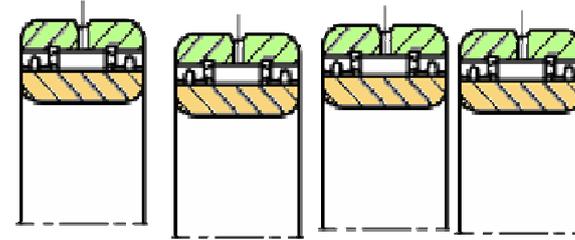
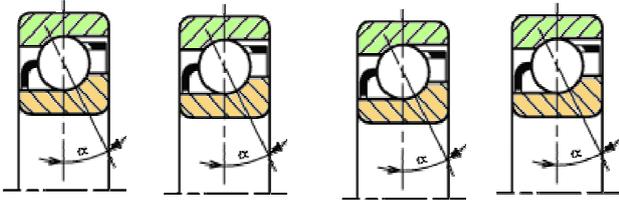
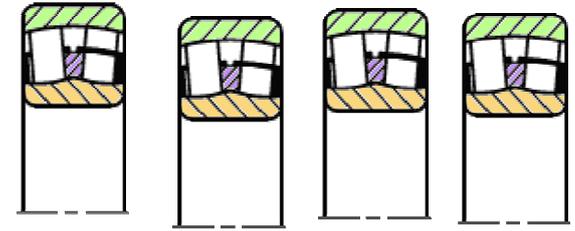
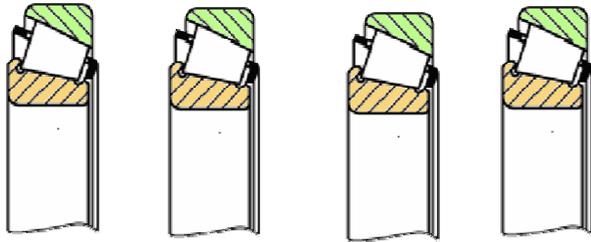
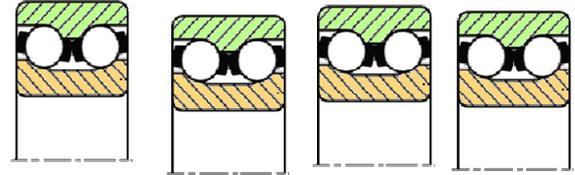
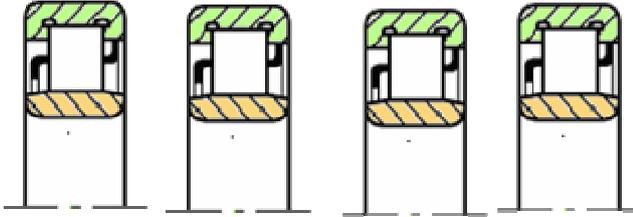
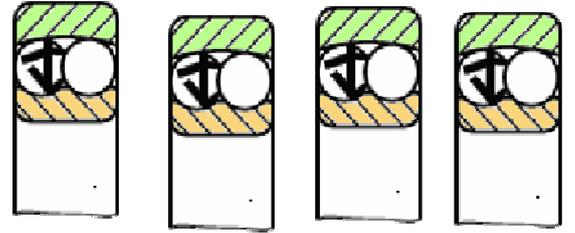
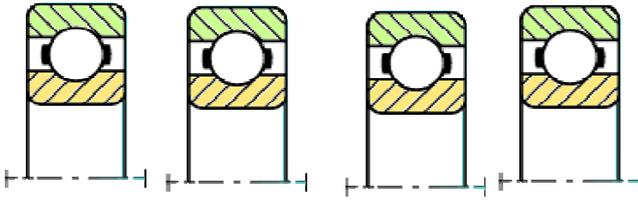
$D_2 = d_2 = d - \frac{3H}{4} = d - 0,6495.P$

$D_1 = d_1 = d_2 - 2 \cdot \left(\frac{H}{2} - \frac{H}{2} \right) = d - 1,0825.P$

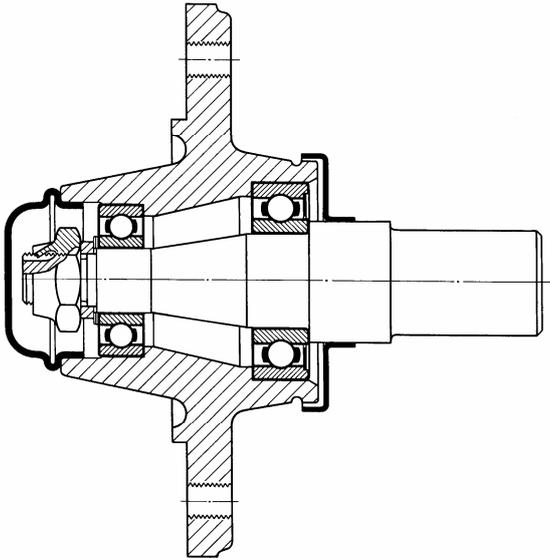
Vis à profil métrique ISO (Symbole M)			Écrou (Symbole H)		
Diamètre Nominal d=D	Pas P	Diamètre sur flancs d ₂ =D ₂	Section résistante équivalente A _s (mm ²)	Diamètre intérieur de l'écrou D ₁	Diamètre extérieur d'appui d _w
5	0,80	4,480	14,2	4,134	6,9
6	1	5,350	20,1	4,918	8,9
8	1,25	7,188	36,6	6,647	11,6
10	1,50	9,026	58	8,376	14,6
12	1,75	10,863	84,3	10,106	16,6
14	2	12,701	115	11,855	19,6
16	2	14,701	157	13,835	22,5
18	2,50	16,376	192	15,294	25,1
20	2,50	18,376	245	17,294	27,7

Classe de qualité de la visserie

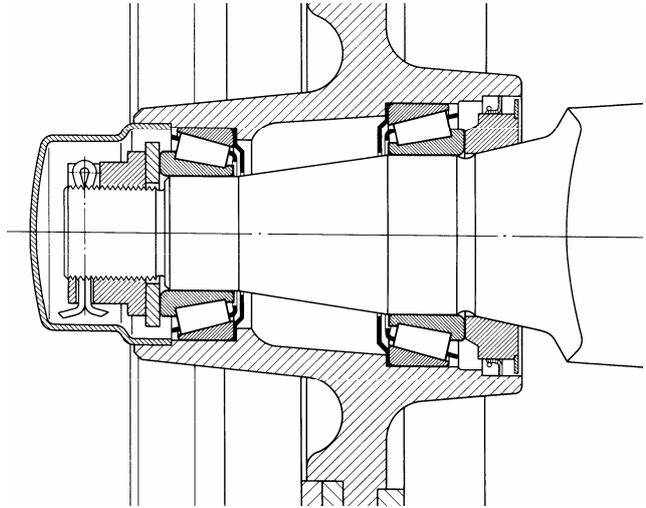
Caractéristiques mécaniques (MPa)	Classe de qualité			
	5-8	6-8	8-8	10-9
Re ou Rp_{0,2}	400	480	640	900
Rr (MPa)	500	600	800	1000
				1200



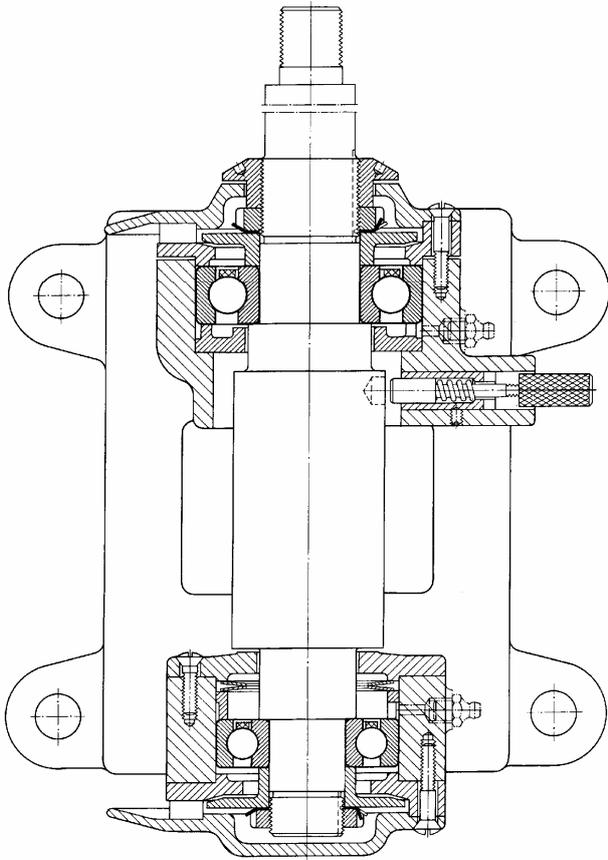
Roue de matériel agricole



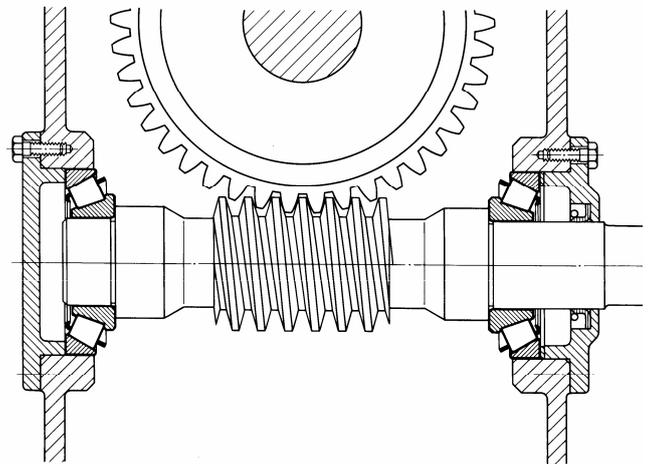
Roue de camion



*Montage de toupie
« Broche de machine à bois »*



Réducteur Roue et Vis



B.2 – ELEMENTS DE CORRIGE RELATIFS A LA PREMIERE EPREUVE D'ADMISSIBILITE

EPREUVE DE MECANIQUE

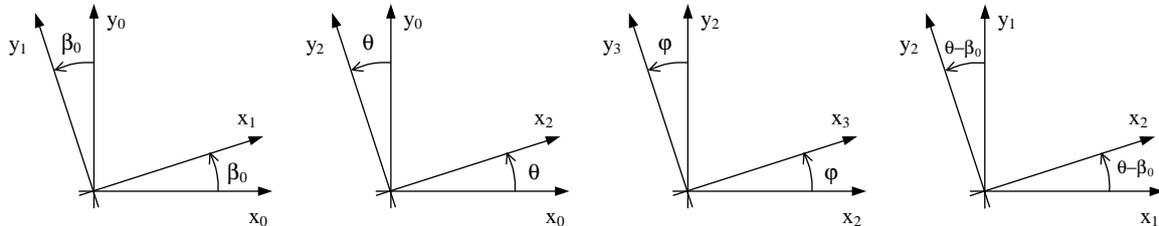
PRENANT APPUI SUR UN SYSTEME INDUSTRIEL :

MACHINE D'ESSAI DE FATIGUE

3 Fonction : Produire un mouvement vertical

Question 1 :

Dans un premier temps, la mise en place des figures "dites de calcul" permettra tout au long du sujet de faciliter les calculs vectoriels.



On peut remarquer que les mouvements se réduisent à des mouvements plans dans (x, y) .

La relation entre $\dot{\theta}$ et $\dot{\varphi}$ est donnée par la traduction de la condition de roulement sans glissement au point I entre la couronne 1 et la roue 3 : $\vec{V}(I \in 3/1) = \vec{0}$

$\vec{V}(I \in 3/1) = \vec{V}(K \in 3/1) + \vec{IK} \wedge \vec{\Omega}(3/1)$ or $\vec{V}(K \in 3/1) = \vec{V}(K \in 2/1)$ car K est le CIR de 3/2

$\vec{V}(I \in 3/1) = \vec{V}(C \in 2/1) + \vec{CK} \wedge \vec{\Omega}(2/1) + \vec{IK} \wedge \vec{\Omega}(3/1)$ or $\vec{V}(C \in 2/1) = \vec{0}$ car C est le CIR de 2/1

$$\vec{V}(I \in 3/1) = -\frac{D_1}{4} \cdot \vec{x}_2 \wedge \dot{\theta} \cdot \vec{z} - \frac{D_1}{4} \cdot \vec{x}_2 \wedge (\dot{\varphi} + \dot{\theta}) \cdot \vec{z}$$

d'où la relation :

$$\dot{\varphi} + 2\dot{\theta} = 0$$

Question 2 : en intégrant la relation précédente, on obtient :

$\varphi(t) = -2 \cdot \theta(t) + \varphi_0$ or on choisit les conditions initiales suivantes à $t=0$, $\varphi = 0$ et $\theta = \beta_0$,

d'où : $\varphi_0 = 2 \cdot \beta_0$ et donc :

$$\varphi(t) = -2 \cdot (\theta(t) - \beta_0)$$

Question 3 :

$\vec{CA} = \vec{CK} + \vec{KA} = \frac{D_1}{4} \cdot (\vec{x}_2 + \vec{x}_3)$ en exprimant cette relation dans la base $(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$ on

obtient :

$$\vec{CA} = \frac{D_1}{2} \cdot \cos(\theta - \beta_0) \cdot \vec{x}_1$$

\vec{CA} étant porté en permanence par (C, \vec{x}_1) , on en déduit que la trajectoire $T(A \in 3/1)$ est un segment de droite sur (C, \vec{x}_1) .

Question 4 :

$\lambda(t) = \overline{CA} \cdot \vec{y}_0$ d'où $\lambda(t) = \frac{D_1}{2} \cos(\theta(t) - \beta_0) \cdot \sin \beta_0$ ou encore en tenant compte des conditions initiales :

$$\lambda(t) = \frac{D_1 \cdot \sin \beta_0}{2} \cdot \cos(\dot{\theta} \cdot t)$$

La course du coulisseau est donc égale à $S = 2 \cdot \bar{\lambda}(t) = D_1 \cdot \sin \beta_0$.

Elle est symétrique par rapport à la position initiale et elle est réglable en modifiant la valeur de β_0 .

Conclusions :

- Le cahier des charges demande des déplacements symétriques par rapport au point de départ. Cela est assuré par la fonction $\cos()$.

- D'après les données techniques $D_1 = m \cdot Z_1 = 150 \text{ mm}$ et $0 < \beta_0 < \frac{\pi}{2}$, d'où

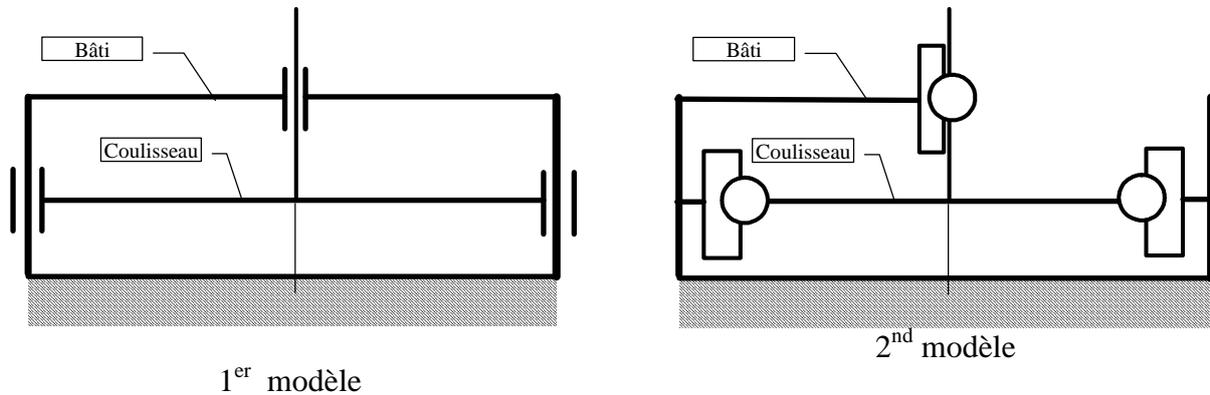
$$\bar{\lambda}(t) = 75 \text{ mm}$$

- On peut donc conclure que le des charges est largement rempli, on a de la marge pour faire évoluer les performances de la machine.

Remarque : le point de fonctionnement à $\beta_0 \approx \frac{\pi}{2}$ n'est pas souhaitable car il conduit à un matage important du rail car dans cette configuration \overline{CA} est porté en permanence par (C, \vec{y}_0) .

4 Sous Fonction : Guider en translation le coulisseau (came)

Question 5 :



Question 6 :

$$1^{\text{er}} \text{ modèle} : h = I_s - E_s + m = 4 + 4 + 4 - 6 \cdot 1 + 1 = 7$$

$$2^{\text{nd}} \text{ modèle} : h = I_s - E_s + m = 2 + 2 + 2 - 6 \cdot 1 + 1 = 1$$

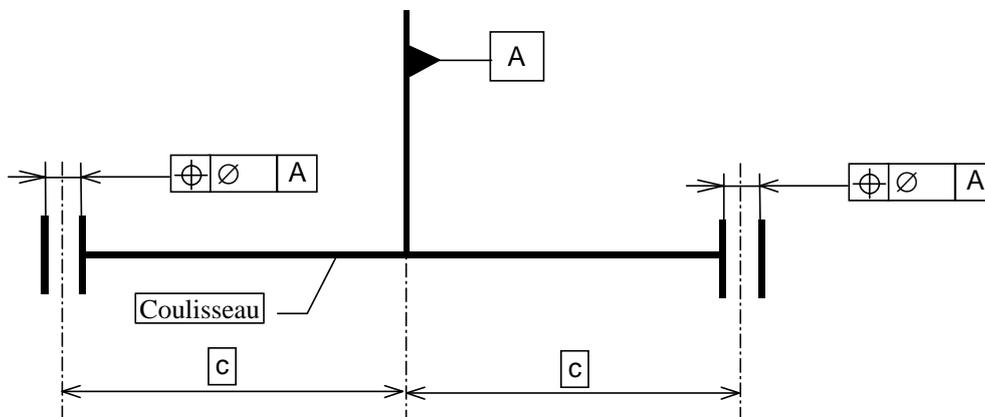
On remarque que dans les deux cas le modèle est hyperstatique. Il faudra donc prendre des dispositions constructives de façon à en limiter les inconvénients.

Question 7 :

L'hyperstatisme va augmenter la rigidité et la précision du système. Par contre cela impose des relations entre le jeu dans les liaisons et les conditions géométriques sur les surfaces de mise en position.

Question 8 :

Il faudra imposer des conditions de parallélisme entre les guides et entre les douilles. Il faudra de plus imposer des entraxes communs. On peut représenter schématiquement ces conditions ainsi il en sera de même sur le bâti.



Remarque : Les conditions ci-dessus sont relatives à des sous-ensembles de pièces, il conviendra ensuite de la répercuter individuellement sur chaque pièce.

5 Sous Fonction : Transformer la rotation du satellite et translation du coulisseau (et transmettre les efforts)

Question 9 :

En appliquant le PFD au coulisseau, on déterminera les efforts du galet sur le rail. L'équation de résultante du PFD en projection sur la direction \vec{y}_0 donne :

$$\vec{R}_{\text{galet} \rightarrow \text{rail}} = m_4 \cdot \vec{\Gamma}(4/0) \cdot \vec{y}$$

$$\text{Or } \vec{V}(4/0) = -\frac{D_1 \cdot \sin \beta_0}{2} \cdot \dot{\theta} \cdot \sin(\dot{\theta} \cdot t) \cdot \vec{y}_0 \text{ et } \vec{\Gamma}(4/0) = -\frac{D_1 \cdot \sin \beta_0}{2} \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \cos(\dot{\theta} \cdot t) \cdot \vec{y}_0$$

$$\text{D'où } \vec{R}_{\text{galet} \rightarrow \text{rail}} = -m_4 \cdot \frac{D_1 \cdot \sin \beta_0}{2} \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \cos(\dot{\theta} \cdot t) \cdot \vec{y}_0$$

$$\vec{R}_{\text{coulisseau} \rightarrow \text{galet}} = m_4 \cdot \frac{D_1 \cdot \sin \beta_0}{2} \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \cos(\dot{\theta} \cdot t) \cdot \vec{y}_0$$

- 1^{ère} configuration : $\beta=90^\circ$: Cette configuration n'est pas souhaitable car le roulement ne se déplace pas par rapport au rail. Cette situation n'est pas envisagée car en dehors du cahier des charges.

$$\text{Dans ce cas } \vec{R}_{\text{galet} \rightarrow \text{rail}} = -m_4 \cdot \frac{D_1 \cdot \sin \beta_0}{2} \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \cos(\dot{\theta} \cdot t) \cdot \vec{y}_0$$

$$\vec{R}_{\text{galet} \rightarrow \text{coulisseau}} = -7,2 \cdot \frac{150}{2} \cdot 62,83^2 \cdot \cos(0) \cdot \sin(90) \cdot \vec{y}_0$$

$$\|\vec{R}_{\text{galet} \rightarrow \text{coulisseau}}\| = 2132 \text{ N.}$$

- 2^{ème} configuration : $\beta = ?$ tel que le débattement sera maximum.

Comme $\lambda(t) = \frac{D_1 \cdot \sin \beta_0}{2} \cdot \cos(\theta \cdot t)$, avec $\lambda=40$ mm cela conduit à $\beta=32,2$ degrés.

Dans ce cas l'effort maxi entre le rail et le galet est de :

$$\vec{R}_{\text{galet} \rightarrow \text{coulisseau}} = -7,2 \cdot \frac{150}{2} \cdot 62,83^2 \cdot \cos(0) \cdot \sin(32,2) \cdot \vec{y}_0$$

$$\|\vec{R}_{\text{galet} \rightarrow \text{coulisseau}}\| = 1136 \text{ N.}$$

Pour un déplacement de l'axe du galet $d = D_1 \cdot \cos \beta = 150 \times \cos 32,2 = 127$ mm

- 3^{ème} configuration : $\beta = ?$ tel que le débattement sera minimum.

Comme $\lambda(t) = \frac{D_1}{2} \cdot \cos(\theta - \beta) \cdot \sin \beta$, avec $\lambda=15$ mm cela conduit à $\beta=11,5$ degrés.

Dans ce cas l'effort maxi entre le rail et le galet est de :

$$\vec{R}_{\text{galet} \rightarrow \text{coulisseau}} = -7,2 \cdot \frac{150}{2} \cdot 62,83^2 \cdot \cos(0) \cdot \sin(11,5) \cdot \vec{y}_0$$

$$\|\vec{R}_{\text{galet} \rightarrow \text{coulisseau}}\| = 425 \text{ N.}$$

Pour un déplacement de l'axe du galet de $d = D_1 \cdot \cos \beta = 150 \times \cos 11,5 = 147$ mm.

Conclusion : Dans le cas le plus défavorable qui correspond au réglage de l'amplitude maxi, l'effort sur le galet à pour expression :

$$\boxed{\vec{R}_{\text{galet} \rightarrow \text{coulisseau}} = 1136 \cdot \cos(62,83 \times t) \cdot \vec{y}_0}$$

5.1 Choix du galet :

Question 10 :

Cahier des charges :

La durée de vie souhaitée est de $L_h=10\ 000$ heures de fonctionnement à $f=10\text{Hz}$ ce qui conduit donc à $L_{\text{cycle}} = L_h \cdot 3600 \cdot f = 15\ 000 \times 3600 \times 10 = 54 \cdot 10^7$ cycles

Chargement :

Compte tenu du fait que la charge varie sinusoidalement, il faut déterminer la charge équivalente :

$F_m = f_m(F_1 + F_2)$ avec $F_1=0$ et F_2 et $f_m=1$ d'après le diagramme 5 du doc technique.

De plus la charge varie selon le type d'essai effectué et l'amplitude du test. On considèrera une "isorepartition" des amplitudes et donc des efforts sur la durée de vie totale. Ce qui conduit à corriger la charge retenue avec la formule (Doc technique : diagramme 3) :

$$F_m = \frac{F_{\min} + 2 \cdot F_{\max}}{3} = \frac{425 + 2 \times 1136}{3} = 900\text{N}$$

L'amplitude moyenne de déplacement est de $d_{\text{moyen}} = \frac{147 + 127}{2} = 137$ mm

Ce qui correspond à n_t BE/BI tour de la BE/BI $n_t = \left| 1 - \frac{2 \cdot d_{\text{moy}}}{\pi \cdot D_{\text{galet}}} \right| = \frac{2 \times 137}{\pi \times 35} - 1 = 1,5$ tours . Le "1"

correspond au fait que la bague intérieure tourne par rapport au rail.

L'amplitude calculée en millions de tours conduit donc à une durée de vie en cycle telle que :

$$L_{\text{cycle}} = \frac{L_{10} \times 10^6}{n_t}$$

Type Galet	Désignation	Charge dynamique	Durée de Vie en millions de tours	Durée de Vie en cycles
Bombé à une rangée de billes	3612	6240 N	$L = \left(\frac{C}{P} \right)^3 = 333 \cdot 10^6$ tours	$22,2 \cdot 10^7$ cycles
Bombé à deux rangées de billes	3057	9560 N	$L = \left(\frac{C}{P} \right)^3 = 1198 \cdot 10^6$ tours	$79,8 \cdot 10^7$ cycles
Bombé à rouleaux	NAST 2Z	9130 N	$L = \left(\frac{C}{P} \right)^{10} = 2260 \cdot 10^6$ tours	$150,6 \cdot 10^7$ cycles

Conclusion : Compte tenu du cahier des charges un roulement double rangées de billes à contact oblique convient à cette application. Un roulement à une seule rangée de bille conduit à une durée de vie trop faible.

Justification du choix des roulements à rouleaux :

Si on se place dans le cas le plus défavorable : Effort maxi (10Hz soit

$\left\| \vec{R}_{\text{galet} \rightarrow \text{coulisseau}} \right\|_{\text{maxi}} = 1136\text{N}$), amplitude maxi (40 mm soit $d_{\text{moy}} = 147$ mm et $n_t = 1,67$ tours/cycle), alors $L = 1040 \cdot 10^6$ tours soit $L_{\text{cycle calculée}} = 62 \cdot 10^7$ cycles. On voit donc que seul le roulement à rouleaux convient dans ce cas là.

5.2 Optimisation du choix de matériau et de la forme du coulisseau

Question 11 : Matage

Avec rail acier $m_4=7,2\text{Kg}$: $\|\vec{R}_{\text{galet} \rightarrow \text{rail}}\| = 1136 \text{ N}$.

Avec rail alu $m'_4=5,1 \text{ Kg}$: $\|\vec{R}_{\text{galet} \rightarrow \text{rail}}\| = 805 \text{ N}$

$R_1=17,5 \text{ mm}$

$R_2=\text{infini}$

Acier : $E_{\text{acier}}=210\,000 \text{ MPa}$, $\nu_{\text{acier}}=0,3$

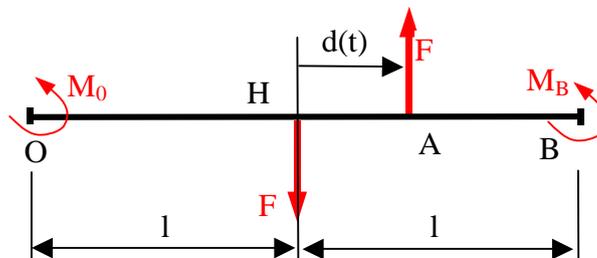
Alliage d'Alu : $E_{\text{alu}}=75\,000 \text{ MPa}$, $\nu_{\text{alu}}=0,33$

$$\sigma_{\text{Hertz}} = \sqrt{\frac{q \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)}{\pi \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right)}}$$

Matériau Galet	Matériau Rail	Action de contact rail/galet	σ_{Hertz} (MPa)
Acier $E_{\text{acier}}=210\,000 \text{ MPa}$, $\nu_{\text{acier}}=0,3$	Alliage d'aluminium $E_{\text{alu}}=75\,000 \text{ MPa}$, $\nu_{\text{alu}}=0,33$	805 N	239 MPa
Acier $E_{\text{acier}}=210\,000 \text{ MPa}$, $\nu_{\text{acier}}=0,3$	Acier $E_{\text{acier}}=210\,000 \text{ MPa}$, $\nu_{\text{acier}}=0,3$	1136 N	388 MPa

Conclusion : La solution avec un rail en alliage d'aluminium conduit à une pression de matage qui est de 239 MPa. Cette valeur est encore trop élevée pour un alliage d'aluminium pour lequel la pression est limitée à 150 MPa. Il faudra donc réaliser le rail en acier type C50 trempé dans la masse pour lequel $400 < P_{\text{max}} < 600 \text{ MPa}$

Question 12 : Moment fléchissant



Application du PFS au rail

$$M_0 + M_B - F \cdot l + F(1 + d(t)) = 0$$

$$M_B = -F \cdot d(t) - M_0 \quad (1)$$

Moment fléchissant

$0 < x < l$	$l < x < l+d(t)$	$L+d(t) < x < 2.l$
$M_{fz_1} = -M_0$	$M_{fz_2} = -M_0 - F(x-l)$	$M_{fz_3} = M_B = -F.d(t) - M_0$

Énergie de déformation

$$W = EI_{Gz} \left[\int_0^l M_0^2 dx + \int_l^{l+d} (-M_0 - F(x-l))^2 dx + \int_{l+d}^{2.l} (-F.d(t) - M_0)^2 dx \right]$$

$$\frac{\partial W}{\partial M_0} = 0 \Rightarrow \int_0^l M_0 dx - \int_l^{l+d} (-M_0 - F(x-l)) dx - \int_{l+d}^{2.l} (-F.d(t) - M_0) dx = 0$$

$$\int_0^{2.l} M_0 dx + \int_{l+d}^{2.l} F.d(t) dx + \int_l^{l+d} F.(x-l) dx = 0$$

$$2.l.M_0 + F.d(t).(2l - l - d) + F \left[\frac{x^2}{2} - l.x \right]_l^{l+d} = 0$$

$$2.l.M_0 + F.d(t).(l - d) + F \left[\frac{(l+d)^2}{2} - l.(l+d) - \frac{l^2}{2} + l.l \right] = 0$$

$$2.l.M_0 + F.d(t).(l - d) + F \left[\frac{l^2}{2} + l.d + \frac{d^2}{2} - l^2 - l.d + \frac{l^2}{2} \right] = 0$$

$$2.l.M_0 + F.d.(l - d) + \frac{d^2}{2} F = 0 \text{ d'où } M_0 = -F \left[\frac{d}{2} - \frac{d^2}{4.l} \right]$$

$$\text{Or d'après (1) } M_B = -F.d(t) - M_0 = -F \left[\frac{d}{2} + \frac{d^2}{4.l} \right]$$

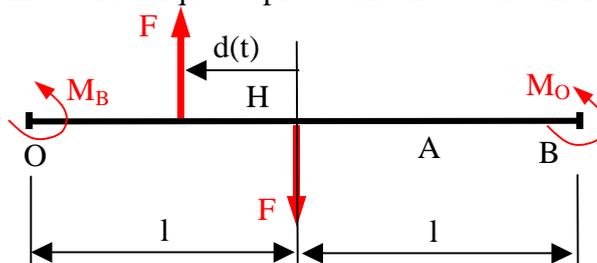
$0 < x < l$	$l < x < l+d(t)$	$L+d(t) < x < 2.l$
$M_{fz_1} = -M_0 = -F \left[\frac{d}{2} - \frac{d^2}{4.l} \right]$	$M_{fz_2} = -F \left[\frac{d}{2} - \frac{d^2}{4.l} \right] - F.(x-l)$	$M_{fz_3} = -F \left[\frac{d}{2} + \frac{d^2}{4.l} \right]$

D'où finalement

$$\left| M_{fz} \right|_{\max} = |F| \left[\frac{d}{2} + \frac{d^2}{4.l} \right] = |R_{\text{galet} \rightarrow \text{coulisseau}}| \left[\frac{d}{2} + \frac{d^2}{4.l} \right]$$

Question 13 :

Quand $d(t) < 0$, le problème est identique au précédent en substituant les valeurs de M_0 et M_B .



Question 14 :

En remplaçant les valeurs de m_4 et d :

$$F = R_{\text{gilet} \rightarrow \text{coulisseau}} = -m_4 \cdot \frac{D_1 \cdot \sin \beta_0}{2} \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \cos(\dot{\theta} \cdot t) \text{ et } d(t) = \frac{D_1 \cdot \cos \beta_0}{2} \cdot \cos(\dot{\theta} \cdot t)$$

On obtient $|M_{fz}|_{\max} = m_4 \cdot \frac{D_1^2}{8} \cdot \dot{\theta}^2 \cdot f(\beta_0)$ avec $f(\beta_0) = \sin \beta_0 \cdot \cos \beta_0 \cdot (1 + \frac{D_1}{4 \cdot l} \cdot \cos \beta_0)$

D'après la courbe, document technique 12, on voit que la fonction admet un maximum pour : $\theta = 44$ degrés et $f(\beta) = 0,56$

$$|M_{fz}|_{\max} = m_4 \cdot \frac{D_1^2}{4} \cdot \dot{\theta}^2 \cdot f(\beta_0) = \frac{7 \times (150 \cdot 10^{-3})^2}{8} \cdot 62,83^2 \times 0,55 = 43 \text{ N.m}$$

Question 15 :

La contrainte maximale en flexion vaut donc :

$$\sigma_f = \frac{MFz \cdot y_{\max}}{IGz} \text{ avec } IGz = \frac{B_1 \cdot H_1^3}{12} - \frac{b_1 \cdot h_1^3}{12} + \dots = 166 \, 121 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_f = \frac{43000 \times 23}{166121} = 5,95 \text{ MPa}$$

Question 16 :

Le coulisseau est soumis de la part du galet et de la charge extérieure à un effort transversale F qui sollicite la poutre en flexion plane. La flèche maximale de la poutre sera de la forme :

$$f = \frac{F \cdot l^3}{C_1 \cdot E \cdot I} \quad (1) \text{ ou } C_1 \text{ est une constante liée à la nature des conditions aux limites du problème}$$

de flexion. En faisant l'hypothèse d'une poutre rectangulaire $I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{A \cdot h^2}{12}$ (2)

L'effort F est engendré par les effets dynamiques et on peut dire dans un premier temps qu'il est de la forme $F = C_2 \cdot m$ (3) avec C_2 une constante lié au mouvement du coulisseau.

De plus la masse peut s'écrire $m = \rho \cdot A \cdot 2 \cdot l$ (4).

Si on souhaite minimiser le flèche en flexion de la poutre cela revient à majorer celle-ci soit :

$$(1) \frac{F \cdot l^3}{C_1 \cdot E \cdot I} < f_{\max}$$

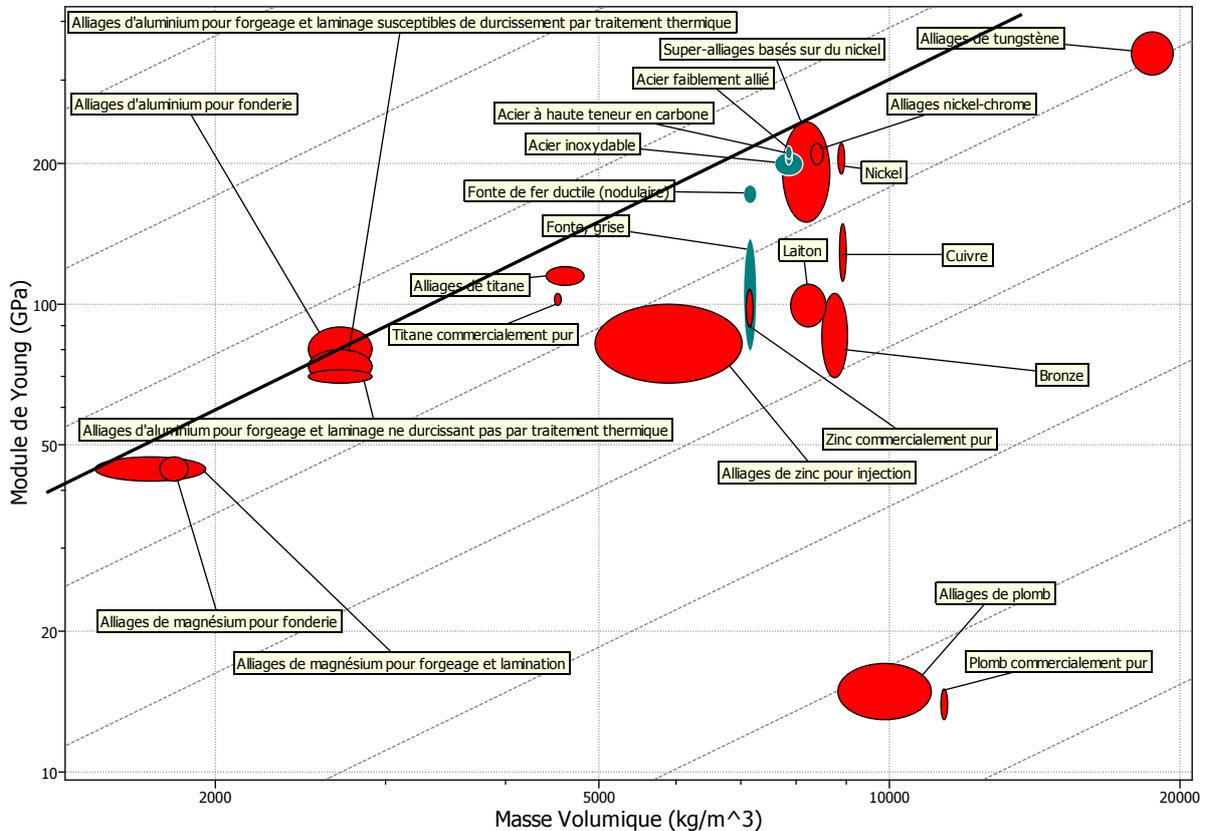
En combinant avec les relations (1), (2) et (3), on trouve :

$$\frac{24 \cdot C_2 \cdot \rho \cdot A \cdot l^3}{C_1 \cdot E \cdot A \cdot h^2} < f_{\max} \text{ d'où } \left(\frac{24 \cdot C_2}{C_1} \right) \cdot \left(\frac{l^4}{h^2} \right) \cdot \left(\frac{\rho}{E} \right) < f_{\max} \text{ enfin } C \cdot \left(\frac{l^4}{h^2} \right) \cdot \left(\frac{\rho}{E} \right) < f_{\max}$$

Question 17 :

Si on souhaite minimiser la flèche, il faut donc maximiser le rapport $\frac{E}{\rho}$

Dans le diagramme log/log les droites de coef. directeur 1 sont des courbes isovaleur de $\frac{E}{\rho}$

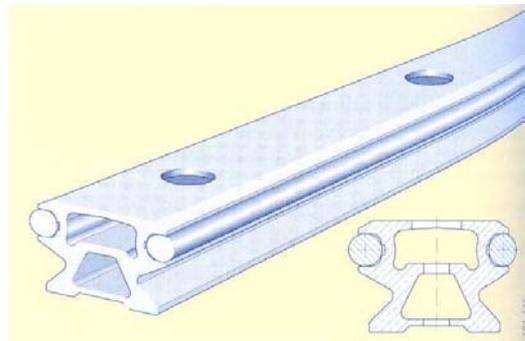


D'après le graphe ci-dessus, on voit donc que plusieurs matériaux ont des performances voisines mais les **alliages d'aluminium de fonderie** sera la plus performant par rapport à ce critère.

Question 18 :

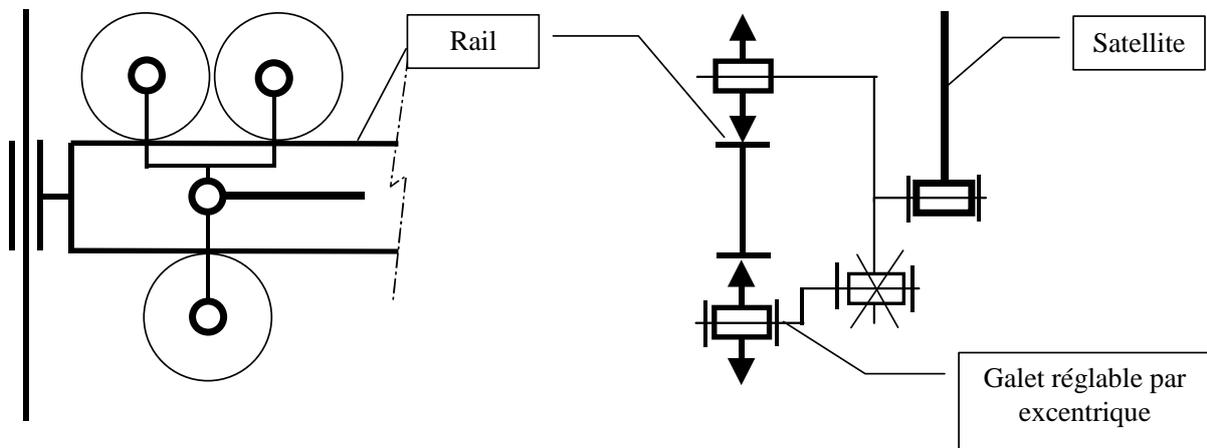
Même en tenant compte de concentration de contraintes liées à la variation de section, les contraintes de flexion sont faibles pour un rail en acier ou même en alliage d'aluminium.

On va donc pouvoir alléger le rail en utilisant un profilé en alliage d'aluminium qui est optimal par rapport à la contrainte de déformation du CdCf. Cela aura pour effet induit de limiter les "effets dynamiques" et donc la contrainte de matage liée au contact avec le galet.



Par contre la surface de roulement devra être dure pour résister aux contraintes de matage. Il faudra donc rapporter des surfaces en acier traité. Ces deux remarques conduisent donc à la réalisation d'un coulisseau en bi-matériau. Voir exemple ci-contre.

Lors d'un cycle complet les efforts de contact entre le rail et le galet vont changer de sens, ce qui compte tenu du jeu va engendrer des chocs. Il faudrait donc une liaison rail/galet sans jeu. On pourrait donc modifier la liaison de manière à annuler le jeu.



6 Fonction : Éviter de transmettre des vibrations

6.1 Conditions d'équilibrage dynamique des masses en rotation

Question 19 :

Les conditions d'équilibrage sont :

- G doit être sur l'axe
- $\vec{\delta}_G(S/R_0)$ doit être un vecteur fixe dans R_0

Question 20 :

Le moment dynamique de l'ensemble S s'exprime par :

$$\vec{\delta}_G(S/R_0) = \frac{d(\vec{\sigma}_G(S/R_0))}{dt}$$

Question 21 :

On peut écrire: $\vec{\sigma}_G(S/R_0) = \vec{\sigma}_G(S_3/R_0) + \vec{\sigma}_G(S_2/R_0)$ (1)

$$\text{Mais } \vec{\sigma}_G(S_3/R_0) = \int_{S_3} \overline{GP} \wedge \vec{V}_{P \in S_3/R_0} dm = \int_{S_3} \overline{GP} \wedge (\vec{V}_{P \in S_3/R_2} + \vec{V}_{P \in S_2/R_0}) dm$$

$$\text{Soit } \vec{\sigma}_G(S_3/R_0) = \int_{S_3} \overline{GP} \wedge \vec{V}_{P \in S_3/R_2} + \int_{S_3} \overline{GP} \wedge \vec{V}_{P \in S_2/R_0} dm$$

Ce qui peut s'écrire:

$$\vec{\sigma}_G(S_3/R_0) = \vec{\sigma}_G(S_3/R_2) + \vec{\sigma}_G(S_3 \in R_2/R_0)$$

En regroupant dans (1):

$$\vec{\sigma}_G(S/R_0) = \vec{\sigma}_G(S_3/R_2) + \vec{\sigma}_G(S_3 \in R_2/R_0) + \vec{\sigma}_G(S_2/R_0)$$

Soit finalement:

$$\vec{\sigma}_G(S/R_0) = \vec{\sigma}_G(S_3/R_2) + \vec{\sigma}_G(S'/R_0)$$

Question 22 :

On peut écrire :

$$\vec{\delta}_G(S_3/R_2) = \frac{d(\vec{\sigma}_G(S_3/R_2))}{dt} + m_3 \overline{VG/R_2} \wedge \overline{VGS_3/R_2}$$

Mais $\overline{VG/R_2} = \vec{0}$ d'où:

$$\vec{\delta}_G(S_3/R_2) = \frac{d(\vec{\sigma}_G(S_3/R_2))}{dt}$$

Question 23 :

On a de même:

$$\vec{\delta}_{G(S'/R0)} = \frac{d(\vec{\sigma}_{G(S'/R0)})}{dt} \text{ car ici } G \text{ est le centre de masse de } S'$$

Question 24 :

Le solide S3 est un solide de révolution d'axe $(G_{S3}; \vec{z}_2)$.

Le torseur dynamique $D(G_{S3}, S3/R2)$ est donc un torseur couple car $\overline{\Gamma}_{G_{S3}/R2} = \vec{0}$

On a donc: $\vec{\delta}_{G(S3/R2)} = \vec{\delta}_{G_{S3}(S3/R2)}$

Mais $\vec{\delta}_{G_{S3}(S3/R2)}$ est porté par \vec{z}_0

Donc $\vec{\delta}_{G(S3/R2)}$ est lui aussi porté par \vec{z}_0

Question 25 :

Les questions précédentes permettent d'écrire:

$$\vec{\delta}_{G(S/R0)} = \frac{d(\vec{\sigma}_{G(S3/R2)})}{dt} + \frac{d(\vec{\sigma}_{G(S'/R0)})}{dt} = \vec{\delta}_{G(S3/R2)} + \vec{\delta}_{G(S'/R0)}$$

On vient de montrer que $\vec{\delta}_{G(S3/R2)}$ est porté par \vec{z}_0 .

Pour que S soit équilibré, il faut que $\vec{\delta}_{G(S/R0)}$ soit un vecteur fixe dans R0. L'égalité ci-dessus implique que $\vec{\delta}_{G(S'/R0)}$ soit un vecteur fixe de R0.

→ S' doit donc être équilibré.

Question 26 :

Comme ceci a déjà été dit, il faut que G soit sur l'axe de rotation et que $D = E = 0$. Ici, compte tenu de la symétrie par rapport au plan Cxz, D est déjà nul, il suffit donc d'annuler le terme E de la matrice d'inertie.

6.2 Équilibrage des masses en rotation**Question 27 :**

En calculant le terme -E de la matrice globale on trouve :

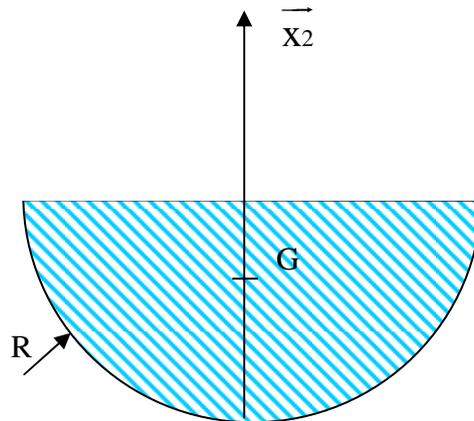
$$-E = 5 \cdot 10^{-4} - m_3 \cdot 16 \cdot 37,5 \cdot 10^{-6} = -2,8 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2$$

L'ensemble tel qu'il est donné document 16 n'est donc pas équilibré.

Question 28 :

SA est la réunion de deux parties de pièces qui forment une pièce de révolution. SA est donc équilibrée.

Question 29 :



Si on applique le premier théorème de Guldin au demi-disque ci-dessus, on obtient :

$$-2\pi x_G \cdot \frac{\pi R^2}{2} = \frac{4}{3} \pi R^3$$

soit :

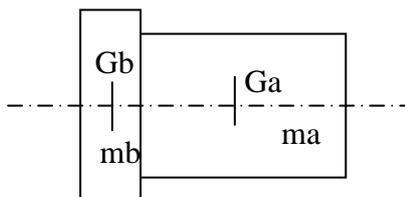
$$x_G = \frac{4R}{3\pi}$$

Si on applique cette formule à la couronne de rayon extérieur RE et de rayon intérieur RI :

$$x_{GB2} = -\frac{1}{(S_E - S_I)} \frac{4}{3\pi} (S_E RE - S_I RI)$$

Soit
$$x_{GB2} = -\frac{4}{3\pi} \frac{(RE^3 - RI^3)}{(RE^2 - RI^2)}$$
 et
$$z_{GB2} = \frac{H}{2}$$

Question 30 :



Il faut ajouter deux éléments de masses ma et mb négatives pour trouver le centre de gravité de la partie SB3

$$ma = \rho V_a = 7,81 \cdot 10^{-6} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 25 = -0.061 \text{ kg}$$

$$mb = \rho V_b = 7,81 \cdot 10^{-6} \cdot \pi \cdot 11,5^2 \cdot 5 = -0.016 \text{ kg}$$

$$Z_{Ga} = -12,5 \quad Z_{Gb} = -27,5 \quad X_{Ga} = X_{Gb} = 37,5$$

$$\text{On a : } m_3 Z_{G3} + ma Z_{Ga} + mb Z_{Gb} = (m_3 + ma + mb) Z_{GB3}$$

$$\text{D'où } Z_{GB3} = 18 \text{ mm et } X_{GB3} = 37,5$$

Question 31 :

Le centre de gravité doit être sur l'axe, ce qui donne:

$$m_{B2} \cdot X_{GB2} + m_{B3} \cdot X_{GB3} = 0 \quad (1)$$

Le produit d'inertie E de l'ensemble doit être nul :

$$m_{B2} \cdot X_{GB2} \cdot Z_{GB2} + m_{B3} \cdot X_{GB3} \cdot Z_{GB3} = 0 \quad (2)$$

Question 32 :

Les deux relations précédentes donnent

$$Z_{GB2} = Z_{GB3}$$

$$\rightarrow H=36$$

Valeur compatible puisque $H < H_{max}=38$

Question 33 :

Explicitons les termes de la relation (1)

$$m_{B2} \cdot X_{GB2} = -\rho\pi \frac{(RE^2 - RI^2)H}{2} \quad \square \quad \frac{4}{3\pi} \frac{(RE^3 - RI^3)}{(RE^2 - RI^2)}$$

$$m_{B2} \cdot X_{GB2} = -\frac{2}{3}\rho H(RE^3 - RI^3)$$

L'équation (1) peut donc s'écrire:

$$\frac{2}{3}\rho H(RE^3 - RI^3) = m_{B3} \cdot X_{GB3}$$

Sachant que $RE=RI+30$, on obtient:

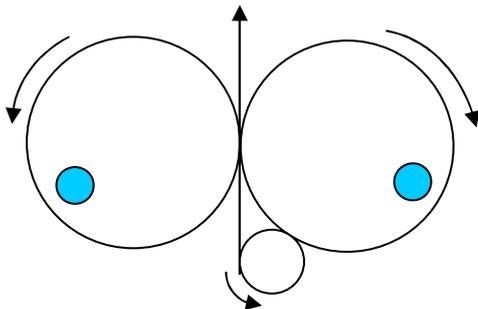
$$\boxed{RI^2 + 30RI - 2411 = 0} \text{ ce qui donne } \boxed{RI=36 \quad RE=66} \text{ valeurs également compatibles.}$$

6.3 Équilibrage des masses en translation

Question 34 :

Il n'est pas possible de compenser les vibrations verticales par une masse excentrée ajoutée aux parties tournantes, on ferait apparaître des vibrations latérales.

Pour compenser exactement ces vibrations, on peut ajouter deux arbres engrenant ensemble, tournant en sens opposés et portant chacun une masselotte excentrée.



Question 35 :

La résultante dynamique de l'ensemble E s'écrit:

$$(M - m_4)\vec{\Gamma}_{G/R0} + m_4\vec{\Gamma}_{G4/R0} = \left[(M - m_4)\ddot{y} + m_4(\ddot{\lambda} + \ddot{y}) \right] \vec{y}_0$$

Le théorème de la résultante appliqué à l'ensemble E s'écrit:

$$-Ky - fv\dot{y} = (M - m_4)\ddot{y} + m_4(\ddot{\lambda} + \ddot{y})$$

soit:

$$\boxed{M\ddot{y} + fv\dot{y} + Ky = -m_4\ddot{\lambda}}$$

Question 36 :

L'équation précédente montre que:

$$\boxed{F_M(t) = -m_4\ddot{\lambda}}$$
 Effort oscillant d'excitation

L'effort transmis au sol peut s'écrire:

$$\boxed{F_T(t) = fv\dot{y} + Ky}$$

Question 37 :

La résultante dynamique de l'ensemble E / R0 s'écrit: $m_4\vec{\Gamma}_{G4 \in 4/R0}$

Le théorème de la résultante s'écrit simplement: $\vec{F}_{sol/E} = m_4\vec{\Gamma}_{G4 \in 4/R0}$

L'effort transmis au sol et l'effort d'excitation sont égaux et on a:

$$\vec{F}_T = \vec{F}_M = -\vec{F}_{sol/E} = -m_4\vec{\Gamma}_{G4 \in 4/R0}$$

Soit encore:

$$\boxed{\vec{F}_T(t) = \vec{F}_M(t) = -m_4 \frac{D1}{2} \dot{\theta}^2 \sin \beta \cos(\dot{\theta}t) \vec{y}_0}$$

L'amplitude est maxi lorsque la course est maximale et lorsque la fréquence est maxi.

$$\boxed{\|\vec{F}_T\|_{\max} = -m_4 \frac{D1}{2} \dot{\theta}^2 \sin \beta_0} \text{ avec } \sin \beta_0 = 0.533$$

Soit :

$$\boxed{\|\vec{F}_T\|_{\max} = 10226 \text{ N}}$$

Question 38 :

$$K=4K1=200000 \text{ N/m}$$

$$fv = 4fv1 = 2120 \text{ Ns/m}$$

Question 39 :

En prenant la transformée de Laplace de chaque membre de l'égalité précédente:

$$\frac{Y(p)}{F_M(p)} = \frac{1}{Mp^2 + fvp + K} = \frac{1}{M(p^2 + \frac{fv}{M}p + \frac{K}{M})}$$

L'identification avec la forme canonique donne:

$$\boxed{\omega_0 = \sqrt{\frac{K}{M}}} \quad \boxed{z = \frac{fv}{2M\omega_0}}$$

Question 40 :

L'effort transmis au sol peut s'écrire:

$F_T(t) = fv\dot{y} + Ky$, ainsi, en prenant la transformée de Laplace :

$$F_T(p) = M\omega_0^2 \left(\frac{2z}{\omega_0} p + 1 \right) \quad (3)$$

Mais on a :

$$F_M(p) = M\omega_0^2 \left(\frac{p^2}{\omega_0^2} + \frac{2z}{\omega_0} p + 1 \right) \quad (4)$$

En divisant membre à membre l'égalité (3) par (4), on obtient le rapport cherché:

$$\boxed{\lambda(p) = \frac{F_T(p)}{F_M(p)} = \frac{\frac{2z}{\omega_0} p + 1}{\frac{p^2}{\omega_0^2} + \frac{2z}{\omega_0} p + 1}}$$

Question 41 :

Le rapport en régime harmonique est $\lambda(j\omega)$:

$$\lambda(j\omega) = \frac{\frac{2z\omega}{\omega_0} j + 1}{-\frac{\omega^2}{\omega_0^2} + \frac{2z\omega}{\omega_0} j + 1} \quad \text{ce qui donne :}$$

$$\boxed{\bar{\lambda}(\omega) = \sqrt{\frac{1 + 4z^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2}{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2} \right)^2 + 4z^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2}}$$

Question 42 :

$$z = \frac{fv}{2M\omega_0} = \frac{2120}{2 \cdot 563 \cdot 18,84} = 0,1$$

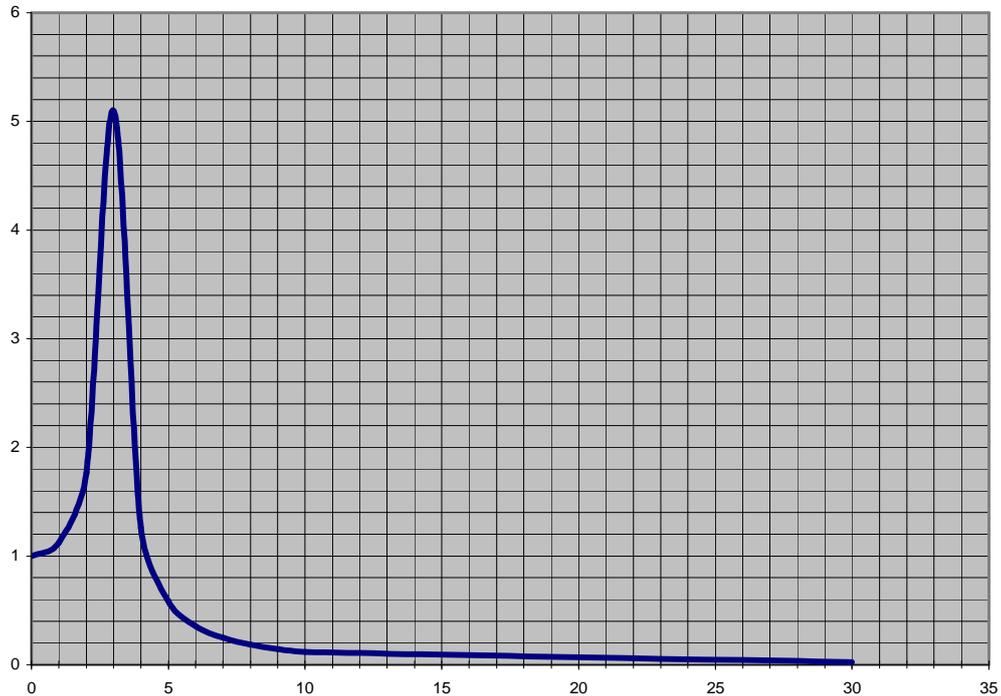
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{K}{M}} = 18,8 \text{ rad/s} ; \omega_p = \omega_0 \sqrt{1 - z^2} = 18,74 \text{ rad/s et}$$

$$\omega_r = \omega_0 \sqrt{1 - 2z^2} = 18,65 \text{ rad/s}$$

Ces trois pulsations sont très proches du fait de la faible valeur du facteur d'amortissement.

Question 43 :

Le graphe $\bar{\lambda}(\omega)$ est donné ci-dessous:



On remarque un pic à la fréquence de résonance $f_0 = 3$ Hz qui a pour valeur 5. Pour les fréquences $f = f_0$ et $f = f_0\sqrt{2}$, le coefficient de transmission vaut 1. Pour $f > f_0\sqrt{2}$, le coefficient de transmission est d'autant plus bas que la fréquence est élevée.

Question 44 :

Fréquence f (Hz)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	30
F sans plot	0	11	45	102	182	284	409	557	727	920	1136	10226
F avec plot	0	13	80	521	228	165	145	137	134	134	135	231

Le cahier des charges est respecté presque sur toute la gamme. Il y a évidemment un problème à la résonance. Lors d'essais à basse fréquence, on peut alléger l'ensemble E en retirant des masses additionnelles pour augmenter la fréquence propre. On peut aussi envisager de prévoir une seconde série de plots adaptés pour les fréquences basses (en choisissant des plots de raideur plus importante).

Question 45 :

Lors des essais effectués à des fréquences supérieures à 10 Hz et pendant le démarrage de la machine, le passage à 3Hz peut poser problème sauf si on démarre à course nulle (pas de mouvement du coulisseau, donc pas d'effort d'excitation), puis lorsqu'on a passé la fréquence critique, on peut alors augmenter la course sans risque.

7 Sous Fonction : Changer le réglage de l'amplitude des mouvements

Question 46 :

Angle de pression de $\alpha=20^\circ$

$$\text{Rayon primitif de la couronne } R_{p_{\text{couronne}}} = \frac{m_{\text{couronne}} \times Z_{\text{couronne}}}{2} = \frac{1,5 \times 120}{2} = 90 \text{ mm}$$

Le couple théorique max à transmettre par frottement :

$$C_{f_{\text{théorique}}} = R_{p_{\text{couronne}}} \times \|\bar{R}_{\text{pignon} \rightarrow \text{couronne}}\| \times \cos \alpha = 90 \cdot 10^{-3} \times 955 \times \cos 20 = 80,7 \text{ N.m}$$

Avec un modèle de pression de contact uniforme entre des pièces indéformables :

$$C_f = \frac{2}{3} \cdot F \cdot f \cdot \left(\frac{R_{\text{Max}}^3 - R_{\text{min i}}^3}{R_{\text{Max}}^2 - R_{\text{min i}}^2} \right)$$

mais compte tenu de la faible hauteur des surfaces en contact, on peut écrire : $C_f = F \cdot f \cdot R_{\text{moy}}$

$C_f = n_{\text{vis}} \cdot F_{\text{vis}} \cdot f \cdot (R_{\text{moyS1}} + R_{\text{moyS2}})$. On pourra estimer le rayon moyen de contact à partir des cotes mesurées sur le plan.

$$D'où \quad F_{\text{vis}} = \frac{C_f}{f \cdot n_{\text{vis}} \cdot (R_{\text{moyS1}} + R_{\text{moyS2}})} = \frac{80,7 \cdot 10^3}{0,15 \times 8 \times (85,25 + 74)} = 422 \text{ N}$$

$R_{\text{moy S2}}$ correspond au rayon moyen sous les têtes de vis car, en l'absence de goupille de positionnement entre 29 et 25, c'est cette surface qui limite de couple de frottement transmissible entre 28 et 30.

Question 47 :

Le couple de serrage des vis est donné par la relation :

$$\|\bar{C}\| = \|\bar{R}\| \cdot \left(\frac{d_m}{2} \cdot \text{tg} \varphi + \frac{d_2}{2} \cdot \text{tg}(\varphi' + \alpha) \right)$$

$$\frac{d_m}{2} = \frac{d_{\text{têteCHC}} - d_{\text{trou}}}{4} = \frac{8,5 + 6}{4} = 3,625 \text{ mm}$$

$$d_2 = d - 0,6495 \cdot p = 5 - 0,6495 \times 0,8 = 4,48 \text{ mm}$$

$$\varphi' = \text{artg} \left(\frac{\text{tg}(\varphi)}{\cos(\beta_0)} \right) = \text{artg} \left(\frac{0,15}{\cos 30} \right) = 9,83 \text{ degrés}$$

$$\alpha = \text{artg} \left(\frac{\text{pas}}{\pi \cdot d_2} \right) = \text{artg} \left(\frac{0,8}{\pi \times 4,48} \right) = 3,25 \text{ degrés} ;$$

$$\|\bar{C}_{\text{serrage}}\| = 422 \cdot \left(3,65 \times 0,15 + \frac{4,48}{2} \cdot \text{tg}(9,38 + 3,25) \right) = 442 \text{ N.mm}$$

Compte tenu des incertitudes liées au serrage manuel, il faut multiplier cet effort par 4 :

$$\|\bar{C}_{\text{serrage}}\| = 1768 \text{ N.mm}$$

Question 48 :

La contrainte nominale de traction engendrée dans la vis

$$\sigma_t = \frac{4 \times F_{\text{vis}}}{A_s} = \frac{4 \times 422}{14,2} = 119 \text{ MPa}$$

La contrainte nominale de torsion est de

$$\tau = \frac{M_t \cdot r}{I_o} = \frac{2 \cdot M_t}{\pi \cdot r^3} = \frac{2 \times 1768}{\pi \times 2,125^3} = 117 \text{ MPa}$$

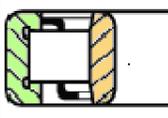
$$\sigma_{\text{eq von-mises}} = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{119^2 + 3 \times 117^2} = 235 \text{ MPa}$$

La concentration de contrainte en fond de filet fait qu'il faudra choisir un coefficient de sécurité $s=3$.

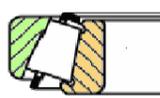
Question 49 :

On fera le choix de vis de classe de qualité 10.9 ($R_e = 900 \text{ MPa}$). Il sera préférable de revoir la conception en multipliant le nombre de vis pour passer à 16 de façon à mieux répartir la pression de contact.

CRITERE n°1:.....TYPE DE CONTACT

Exemple	Type de contact	AVANTAGE	INCONVENIENT
	CONTACT PONCTUEL	Vitesse limite plus grande	Charges modérées
	CONTACT LINEIQUE	Charges plus importantes	Vitesse limite plus faible

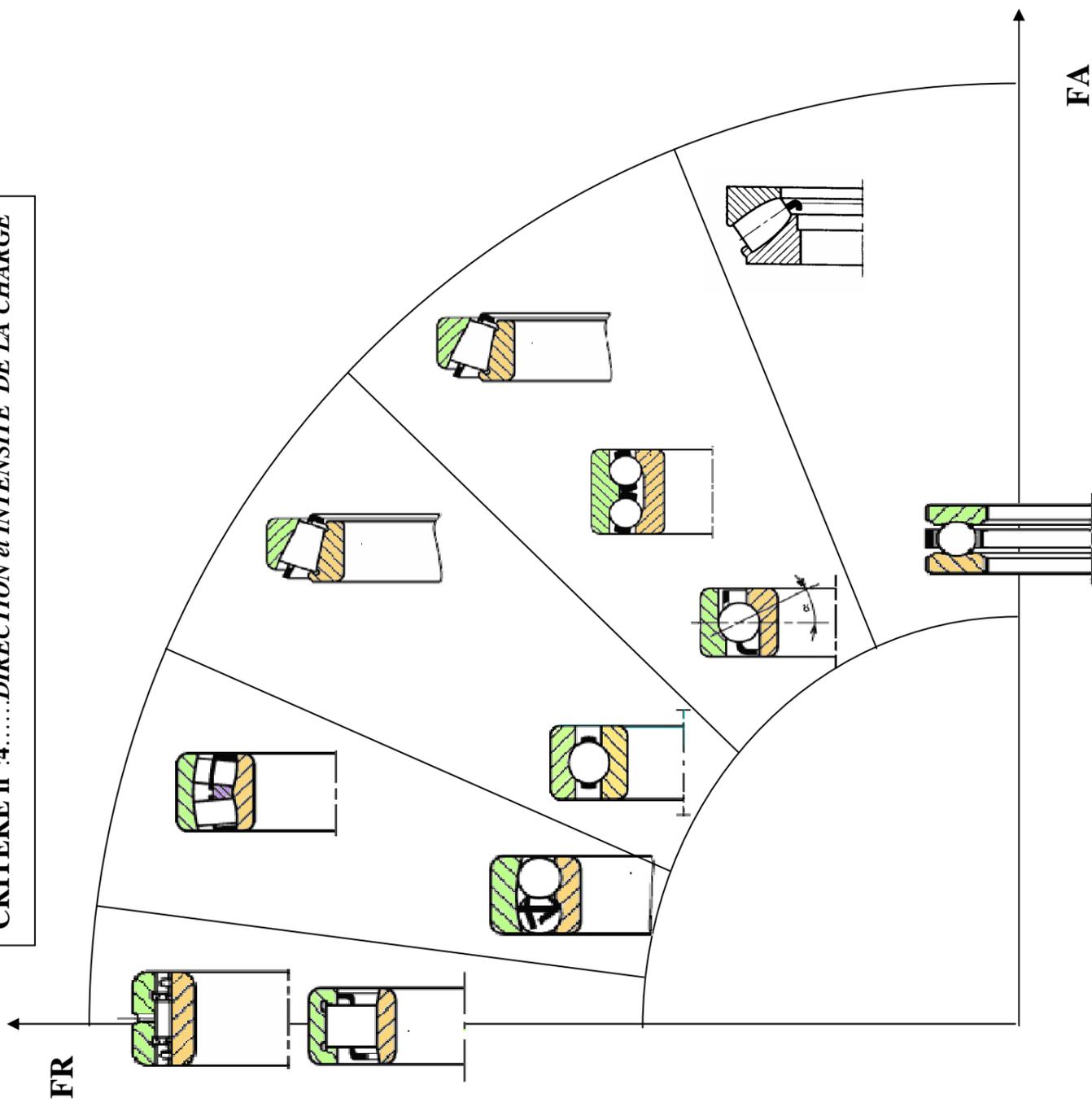
CRITERE n°2:.....REGLAGE DU JEU INTERNE.....

ROULEMENT FERME		Jeu interne pré réglé 5 classes: C0: jeu normal C1 , C2 < jeu réduit C3, C4 ou C5 jeu augmenté
ROULEMENT OUVERT		Jeu interne réglable

CRITERE n°3:.....ANGLE DE ROTULAGE PERMIS

Exemple	Exemple	Rotulage possible
Roulement rigide		2 à 10' (1' = 1/60°)
Roulement à rotule		1 à 3°

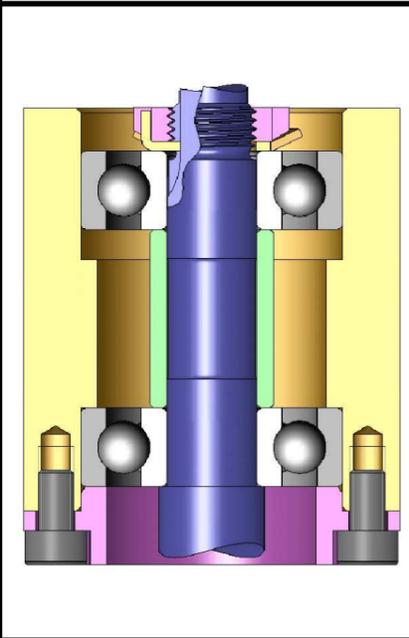
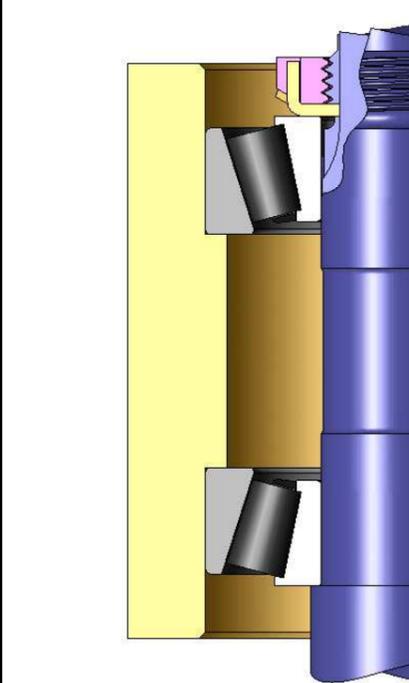
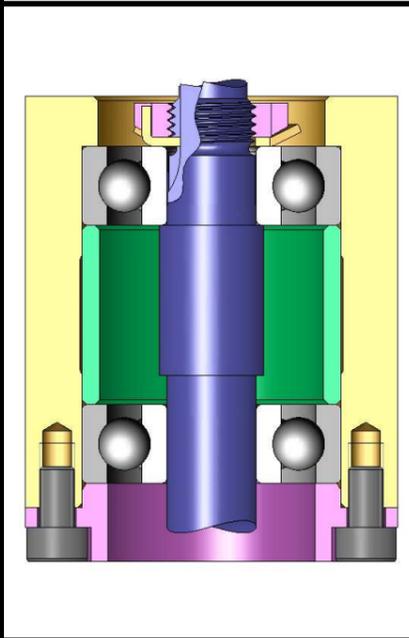
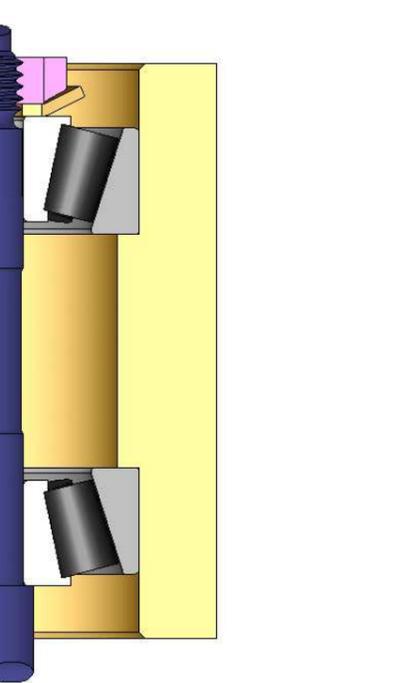
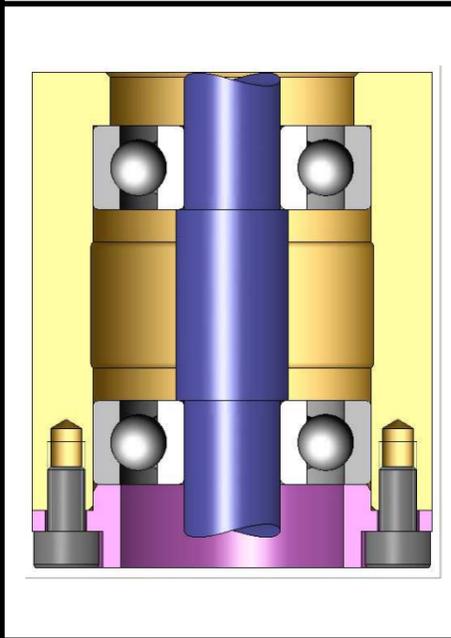
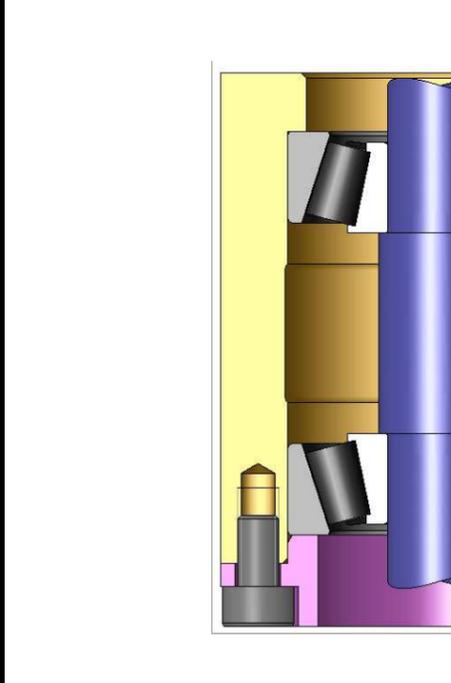
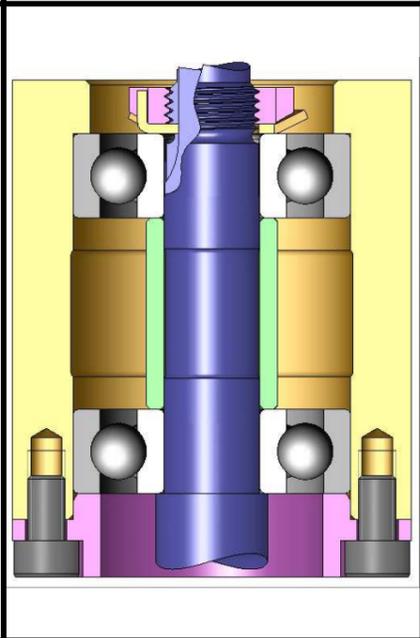
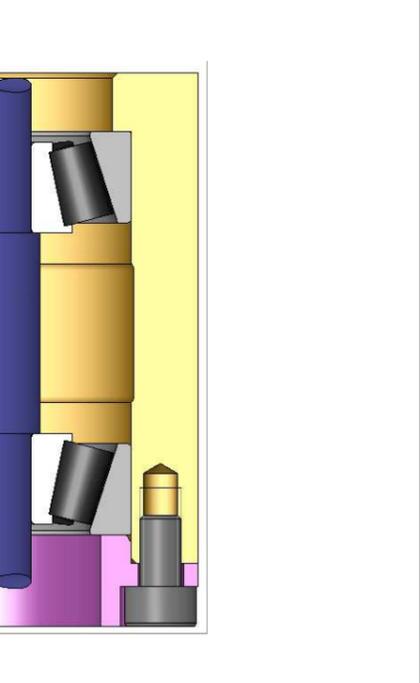
CRITERE n°4:.....DIRECTION et INTENSITE DE LA CHARGE



AUTRES CRITERES:

- **ENCOMBREMENT RADIAL**
- **Le moins encombrant reste les douilles à aiguilles**
- **PRIX DE REVIENT**



MONTAGE DE ROULEMENTS RIGIDES A BILLES		MONTAGE DE ROULEMENTS EN OPPOSITION (roulements à jeu interne réglable)	
	<p><u>MONTAGE ARBRE LONG</u> <u>Arbre tournant par rapport à la charge</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Montage isostatique ➤ Pas de réglage de jeu à effectuer ➤ BI serrées ➤ BE glissantes ➤ Les efforts axiaux sont encaissés par le roulement de gauche 		<p>MONTAGE EN O (préconisé pour les arbres courts)</p> <p>4 arrêts axiaux</p>
	<p><u>MONTAGE ARBRE LONG</u> <u>Alesage tournant par rapport à la charge</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Montage isostatique ➤ Pas de réglage de jeu à effectuer ➤ BE serrées ➤ BI glissantes ➤ Les efforts axiaux sont encaissés par le roulement de droite 		<p>Réglage du jeu interne par l'écrou</p> <p>Montage préconisé pour</p> <p><u>Alesage tournant par rapport à la charge</u></p> <p>(On peut parfois trouver ce montage pour des pignons coniques montés en porte à faux avec un arbre tournant par rapport à la charge)</p>
	<p><u>MONTAGE ECONOMIQUE 4 arrêts axiaux</u> <u>Arbre tournant par rapport à la charge</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Montage non isostatique ➤ réglage de jeu obligatoire ➤ BI serrées ➤ BE glissantes ➤ Les efforts axiaux sont encaissés par les 2 roulements ➤ La dilatation de l'arbre réduit le jeu axial de la liaison. 		<p>Réglage du jeu interne par cales sous le chapeau</p> <p>Montage préconisé pour</p> <p><u>Arbre tournant par rapport à la charge</u></p> <p>Stabilité du montage meilleure pour des arbres long</p> <p>Parfois utilisé pour des arbres courts pour obtenir une liaison rotule</p>
	<p><u>MONTAGE ECONOMIQUE 6 arrêts axiaux</u> <u>Arbre tournant par rapport à la charge</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Montage non isostatique ➤ réglage de jeu obligatoire ➤ BI serrées ➤ BE glissantes ➤ Les efforts axiaux sont encaissés par les 2 roulements ➤ La dilatation de l'arbre réduit le jeu axial de la liaison. 		<p>MONTAGE EN X (préconisé pour les arbres longs)</p> <p>4 arrêts axiaux</p>