Secrétariat Général

Direction générale des ressources humaines

Sous-direction du recrutement

MINISTÈRE
DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE

Rapport des membres du jury

Session 2009

Concours externe de l'agrégation

Génie Mécanique

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

Agrégation de Génie Mécanique
Concours externe
Session 2009

Plan du rapport

Rapport du jury 2

1 – Composition du jury 3
2 – Résultats de la session 2009 4
3 – Compte-rendu de la première épreuve d'admissibilité :
Étude d'industrialisation 6
4 – Compte-rendu de la seconde épreuve d'admissibilité
Analyse et conception des systèmes 7
5 – Compte-rendu de la troisième épreuve d'admissibilité
Automatique et Informatique Industrielle 11

6 – Compte-rendu de la première épreuve d'admission
Technologie 12
7 – Compte-rendu de la seconde épreuve d'admission
Soutenance d'un dossier industriel 21
8 – Compte-rendu de la troisième épreuve d'admission
Epreuve de Travaux Pratiques 27

9 – Références des textes officiels et des programmes 32

Agrégation de Génie Mécanique
Concours externe
Session 2009

RAPPORT DU JURY

Agrégation de Génie Mécanique
Concours externe
Session 2009

1 – Composition du jury

Attard	Adeline	Professeur agrégé
Baton	Jean-Jacques	Inspecteur d'académie - Inspecteur Pédagogique Régional
Bercot	Michel	Professeur agrégé
Chanal	Hélène	Professeur agrégé
Diverchy	Jean-Jacques	Inspecteur d'académie - Inspecteur Pédagogique Régional
Gamelon	Cédric	Professeur agrégé
Glemarec	Gilles	Professeur agrégé
Kouiss	Kahlid	Maître de conférences
Le Pivert	Patrick	Inspecteur d'académie - Inspecteur Pédagogique Régional
Ournac	Véronique	Professeur agrégé
Pateloup	Vincent	Professeur agrégé
Poulachon	Gérard	Maître de conférences
Rage	Michel	Inspecteur d'académie - Inspecteur Pédagogique Régional
Ray	Pascal	Professeur d'université – *Vice-président*
Rossi	Olivier	Professeur agrégé
Taillard	Philippe	Inspecteur d'académie - Inspecteur Pédagogique Régional
Taraud	Dominique	Inspecteur général de l'éducation nationale - *Président*
Velut	Christophe	Professeur agrégé

2 – RESULTATS DE LA SESSION 2009

Concours externe

Nombre de postes :.....18

Nombre d'Admissibles : 40

Nombre d'Admis : 18

Moyenne d'admissibilité du premier Admissible : 15,4
Moyenne d'admissibilité du dernier Admissible : 5,4

Meilleure moyenne des trois épreuves d'Admission : 17,5
Plus basse moyenne des trois épreuves d'Admission : 10,66

Moyenne générale obtenue par le premier Admis : 16,83
Moyenne générale obtenue par le dernier Admis : 8,87

Tableau des moyennes d'admissibilité et d'admission des candidats reçus

Admissibilité		Admission		Totaux		
Total	Moy	Total	Moy	Total	Moy	Rang
46,2	***15,4***	71,6	***17,9***	117,8	***16,8***	***1***
43,3	***14,4***	61,0	***15,3***	104,3	***14,9***	***2***
43,0	***14,3***	56,4	***14,1***	99,4	***14,2***	***3***
34,8	***11,6***	62,4	***15,6***	97,2	***13,9***	***4***
38,5	***12,8***	56,4	***14,1***	94,9	***13,6***	***5***
33,7	***11,2***	60,8	***15,2***	94,5	***13,5***	***6***
30,4	***10,1***	62,0	***15,5***	92,4	***13,2***	***7***
34,8	***11,6***	54,4	***13,6***	89,2	***12,7***	***8***
33,9	***11,3***	53,0	***13,3***	86,9	***12,4***	***9***
34,9	***11,6***	48,4	***12,1***	83,3	***11,9***	***10***
33,2	***11,1***	44,4	***11,1***	77,6	***11,1***	***11***
33,0	***11,0***	43,0	***10,8***	76,0	***10,9***	***12***
41,3	***13,8***	34,6	***8,7***	75,9	***10,8***	***13***
29,6	***9,9***	43,6	***10,9***	73,2	***10,5***	***14***
20,3	***6,8***	52,6	***13,2***	72,9	***10,4***	***15***
33,8	***11,3***	32,0	***8,0***	65,8	***9,4***	***16***
27,7	***9,2***	38,0	***9,5***	65,7	***9,4***	***17***
23,5	***7,8***	38,6	***9,7***	62,1	***8,9***	***18***

Commentaires généraux du président de jury pour la session 2009.

La session 2009 du concours externe de l'agrégation de génie mécanique a été marquée par la diminution sensible du nombre des inscrits qui s'explique surement par l'arrêt prolongé du recrutement au niveau CAPET induisant le tarissement du vivier d'étudiants en IUFM préparant traditionnellement les deux concours, CAPET et agrégation.

La disparition de ce vivier induit des résultats contrastés aux épreuves d'admission comme aux épreuves d'admissibilité.

Pour l'admission, nombre de candidats, manifestement mal préparés, obtiennent de mauvais résultats globaux sans que les épreuves écrites, d'un haut niveau d'exigences scientifiques et techniques, n'arrivent à les départager finement.
Cette situation, se conjuguant au nombre limité d'inscrits et au nombre de postes à pourvoir, a entrainé également des résultats contrastés aux épreuves d'admission.

Les candidats bien préparés et du niveau du concours ont obtenu des résultats équivalents à ceux de ces dernières années, alors que les candidats faibles à l'écrit n'ont fait que confirmer à l'oral leurs faiblesses, montrant même parfois des carences inquiétantes.

Au final, la session 2009 du concours a conservé son niveau de sélectivité et les 18 postes pourvus le seront par des professeurs agrégés compétents et performants.

Au niveau des attentes, cette session s'inscrit dans la continuité des années précédentes, marquées par la volonté d'ouvrir le champ de la productique à l'ensemble des procédés et processus relevant de la production de biens manufacturés et de se rapprocher des contraintes des concepteurs à travers la pré industrialisation des pièces fabriquées.

Deux points faibles ont été, une fois de plus, identifiés et restent à améliorer :

- Les niveaux de conception et de culture technologique mécanique de certains candidats sont inquiétants, à l'écrit lors de l'épreuve de conception comme à l'oral, pour les épreuves de Technologie et de Dossier. La formation initiale, très scientifique, de certains candidats devient alors un handicap qu'il ne faut pas sous-estimer et qu'il conviendrait de compléter par un travail sur l'acquisition d'une véritable culture technique.

- Le niveau d'investissement de certains candidats dans l'épreuve de dossier. Cette épreuve se prépare durant l'année, dans la durée et la réflexion. Elle permet à un candidat de montrer sa capacité à s'approprier et à comprendre un sujet technique réel, industriel, justifiant ainsi le rôle et l'existence des professeurs de Sciences et techniques industrielles. Il n'est donc pas acceptable, du point de vue du jury, de constater des impasses, des dossiers bâclés, des sujets artificiels, sans lien avec l'industrie ou traités au plus bas niveau.

L'agrégation de génie mécanique continue donc d'être un concours exigeant, reconnaissant à ses lauréats une grande polyvalence professionnelle, marquant une capacité d'adaptation importante, un niveau de culture scientifique et technique très élevé et un potentiel d'efficience pédagogique reconnu et apprécié.

Le jury espère que ces conseils, ajoutés à ceux proposés dans les commentaires de chaque épreuve, aideront les futurs candidats à mieux s'y préparer et à y réussir.

Dominique Taraud

3 – COMPTE RENDU DE LA PREMIERE EPREUVE D'ADMISSIBILITE

ÉTUDE D'INDUSTRIALISATION : voir fichiers joints au format PDF

- **SUJET :**
  - *A1_Sujet_Epr_Indus_Agreg_GM_Ext_2009.pdf*
- **CORRIGÉ**
  - *A2_Corrige_Epr_Indus_Agreg_GM_Ext_2009.pdf*
- **COMMENTAIRES**
  - *A3_Commentaires_Epr_Indus_Agreg_GM_Ext_2009.pdf*

4 – COMPTE RENDU DE LA SECONDE EPREUVE D'ADMISSIBILITE

ANALYSE ET CONCEPTION DES SYSTÈMES

- **SUJET :**
  - *B1_sujet_conception_Agreg_GM_Ext_09.pdf*
- **CORRIGÉ**
  - *B2_sujet_conception_Agreg_GM_Ext_09_corrige.pdf*
- **COMMENTAIRES**
  - *B3_Epreuve_conception_commentaires_Agreg_GM_Ext_09.pdf*

5 – COMPTE RENDU DE LA TROISIÈME ÉPREUVE D'ADMISSIBILITE

ÉPREUVE D'AUTOMATIQUE ET INFORMATIQUE INDUSTRIELLE

Voir fichier joint en format PDF :

- *C1_Epreuve_AII_Agreg_Ext_GM 09_sujet_corrigé_commentaires.pdf*

Agrégation de Génie Mécanique
Concours externe
Session 2009

6 – COMPTE RENDU DE LA PREMIERE EPREUVE D'ADMISSION

EPREUVE DE TECHNOLOGIE

J.J. BATON– J.J. DIVERCHY – C. GAMELON – V. PATELOUP

A partir de connaissances relatives à l'ensemble des procédés et des processus utilisés dans la production de biens manufacturés ainsi qu'à leur automatisation, leurs contraintes d'applications et leurs performances technico économiques, l'épreuve de leçon de technologie vise à vérifier le potentiel pédagogique des candidats, leur aptitude à imaginer des scénarii de formation efficaces, à transmettre des connaissances justes et adaptées de façon motivante et structurée et à organiser les apports de connaissances dans un contexte de formation donné.

Le déroulement de l'épreuve

L'épreuve comporte une préparation d'une durée de 4 heures à l'issue de laquelle le candidat présente au jury sa leçon pendant une durée maximale de 45 minutes sans intervention du jury. Au terme de l'exposé, 15 minutes sont réservées à un entretien avec les membres du jury. Cet échange est destiné à apporter des précisions et des justifications relatives à la démarche pédagogique retenue mais également au fond technologique et scientifique.

Pendant la phase de préparation, le candidat a accès aux référentiels des principales formations de génie mécanique. Pour toutes les leçons, le dossier remis au candidat comporte l'ensemble des éléments nécessaires à la préparation de la leçon : ressources à caractère scientifique, pédagogique et industriel.
Un dossier numérique contenant les ressources informatiques identiques à celles fournies dans le dossier « papier » est à la disposition du candidat. D'autres documents peuvent être proposés, également sous forme numérique, sans être disponibles dans le dossier papier (séquences vidéo, animations, simulations…). Dans ce cas, les éléments fournis sous forme papier restent cependant suffisants pour répondre aux attentes de la leçon.

Le candidat dispose dès le début de la phase de préparation d'un micro-ordinateur portable lui permettant d'exploiter les documents numériques fournis et de préparer sa prestation devant les membres du jury. La salle d'interrogation dispose : d'un tableau blanc, d'un rétroprojecteur, d'un vidéo projecteur connectable sur le micro-ordinateur portable et de deux écrans de projection.

Les attentes du jury, les critères d'évaluation

Le jury désirant pouvoir vérifier les capacités globales du candidat à s'exprimer à l'écrit ainsi qu'à l'oral et à transmettre un message pédagogique de façon efficace, deux phases sont attendues au cours de l'exposé de la leçon:

- **Une description de l'intégralité de la séquence pédagogique envisagée dans laquelle la séance développée sera clairement identifiée. Le positionnement de cette séquence dans le cursus de la formation choisie sera précisé.**
- **Une simulation d'une leçon devant élèves. Durant cette phase, le candidat pourra utiliser le tableau blanc, le vidéoprojecteur et le rétroprojecteur.**

La leçon de technologie est la seule épreuve du concours dont l'un des objectifs explicites est l'évaluation des capacités potentielles des candidats à être capables de transmettre des connaissances adaptées à un public considéré.
Pour cela, le jury prend en compte:

- les contenus scientifique, technique et méthodologique lié à la leçon;
- la dimension épistémologique et l'articulation des savoirs;
- la dimension didactique de la leçon proposée.

Cette évaluation intègre le point de vue de l'élève et peut globalement s'exprimer par les interrogations suivantes :

- « Qu'est ce que l'élève a appris ? »: adéquation avec les objectifs du référentiel qui sont assignés au candidat.
- « Quelle est la problématique proposée à l'élève ? »: question visant à apprécier la situation générant la motivation de ce dernier et donnant du sens à l'apprentissage.
- « Comment l'élève a appris, dans quelle séquence et à partir de quelles articulations des savoirs ? »
- « Qu'est-ce que l'élève doit retenir, avec quelle formalisation des connaissances enseignées ? »

Sur ce dernier point, le jury apprécie que la presque totalité candidats propose des fiches de formalisation des connaissances judicieusement composées.

Les interrogations sont complétées par l'évaluation des capacités de communication orale et écrite des candidats durant la présentation ainsi que sa réactivité durant l'entretien lors d'un dialogue portant sur les aspects technique, scientifique et pédagogique de la leçon proposée.

Compte tenu du fait que les dossiers remis aux candidats contiennent la grande majorité des informations à caractère technique et scientifique nécessaires à la leçon, le contenu technique et scientifique ne devrait pas constituer un obstacle et le candidat doit pouvoir se concentrer sur la structure pédagogique de sa leçon. **Cependant, les candidats montrant de grandes lacunes sur le thème abordé dans la leçon sont inévitablement pénalisés.**

Sans attendre d'un candidat inexpérimenté un savoir-faire pédagogique qui ne s'acquiert qu'avec l'expérience, le jury sait apprécier des constructions de séquences rigoureuses, fondées sur l'analyse des phénomènes, l'expression de paramètres influents, l'exploitation de classifications amenant les élèves à découvrir et utiliser des modèles technologiques et scientifiques pertinents.

Thèmes des leçons proposées

Pour chacun des thèmes, les leçons proposées portent sur un point du programme d'une classe précisée. Le dossier remis au candidat comprend quatre types d'informations:

- **Le niveau de formation auquel doit se situer la leçon.**

Les niveaux sont relatifs aux enseignements de Productique ainsi que d'Automatique et Informatique Industrielle dans les classes de seconde (options ISI et ISP), première et terminale STI et SSI, dans les sections de techniciens supérieurs (Conception de Produits Industriels, Industrialisation des Produits Mécaniques, Etude et Réalisation des Outillages, Conception et Industrialisation Microtechniques, Mécanique et Automatique Industrielle, Maintenance Industrielle), dans les départements Génie Mécanique et Productique ou Qualité Logistique Industrielle et Organisation des IUT, ainsi que dans les classes préparatoires aux grandes écoles de type PTSI et PT. Les programmes officiels de ces formations sont fournis.

- **Les objectifs de la leçon attendue** accompagnés de recommandations générales aux candidats.
  Chaque leçon est déclinée en un nombre limité d'objectifs opérationnels à atteindre dans le cadre d'une séquence pédagogique d'enseignement **à décrire et à justifier**.

  Le jury rappelle qu'une séquence pédagogique est une suite structurée de séances de formation, positionnées dans le cursus de formation de la classe imposée, donnant lieu à des activités pédagogiques à préciser (travaux pratiques, cours, visites d'usines, activités de projet, travaux dirigés, évaluations, etc.), répondant à des objectifs de formation intermédiaires choisis pour leur pertinence et leur réalisme.

- **Des extraits significatifs de bases de connaissances**.
  L'épreuve de leçon ne s'appuyant pas exclusivement sur les connaissances propres de chaque candidat, des données sont fournies sous forme de documents photocopiés ainsi que sous forme numérique.

- **Des données techniques et pédagogiques** utilisables pour bâtir la leçon attendue.
  Ces documents proposent des supports techniques d'origines diverses (plans industriels, dossiers de formation, articles de revues techniques, sujets d'examens) choisis pour leur relation avec le sujet à traiter. Les candidats pourront les utiliser pour illustrer leur leçon.
  Ces documents ne sont pas toujours utilisables directement et nécessitent parfois une adaptation de la part du candidat. C'est à ce dernier de trouver les bonnes conditions d'utilisation par rapport au niveau de formation concerné et aux objectifs visés.

De nombreuses images ou animations issues de simulations diverses sont parfois proposées aux candidats qui sont alors invités à les intégrer dans leurs présentations.

Sur le plan technique, les thèmes des leçons proposées relèvent des catégories suivantes :

- L'automatique et l'informatique industrielle.

  Les leçons proposées dans ce champ concernent essentiellement les concepts de base de l'automatique des systèmes continus linéaires et des systèmes à événements discrets. Les candidats doivent s'attacher à présenter clairement les concepts associés aux supports proposés **en évitant de longs développements mathématiques ou des leçons « catalogue »**.
  Pour les leçons proposées en post baccalauréat, le candidat doit être capable d'aborder la modélisation des systèmes en s'efforçant de faire le lien entre les modèles proposés et la réalité.

  Exemples de leçons relatives à ce thème : systèmes asservis, capteurs et détecteurs…

- Les relations produit-matériau-procédé.

  Le développement de l'ingénierie simultanée, la continuité et les performances de la chaîne informatique tout au long de la vie d'un produit industriel manufacturé et le développement du travail collaboratif imposent que chaque professeur de génie mécanique ait pris conscience des enjeux de la pré industrialisation des produits.
  Cette phase, à l'interface entre la conception préliminaire et l'industrialisation, induit une étroite collaboration entre concepteurs et fabricants. Les récents logiciels d'aide au choix des matériaux, des procédés et de simulation de tous les procédés classiques, offrent de nouvelles possibilités qui intéressent directement les techniciens de la production.

  Des leçons, en particulier en BTS Conception de Produits Industriels et Industrialisation des Produits Mécaniques, sont proposées sur ce thème. Elles traitent de la justification des formes d'une pièce selon un procédé donné ou du choix d'un procédé et de la définition de la pièce associée dans une logique de travail collaboratif avec les techniciens de conception.

  Exemples de leçons relatives à ce thème : obtention de pièces en moule métallique par gravité, o*btention de pièces plastiques par injection*…

- Les procédés primaires de mise en forme.

  Il s'agit là de traiter des principaux procédés permettant d'aboutir aux formes primaires des pièces (forgeage, moulage, etc.).
  Dans tous les cas les objectifs proposés sont relatifs aux principes fondamentaux régissant les procédés, aux classifications permettant des choix ultérieurs et aux règles et méthodes associées aux pièces produites. Le jury tient à vérifier que les connaissances du candidat lui permettent de dégager les points fondamentaux d'une formation technologique ouverte sur les contraintes technico économiques. Les candidats se doivent de proposer une leçon motivante et intéressante, fondée sur une dynamique de confrontation avec **des études de cas, plus que sur un inventaire juste mais stérile qui n'intéresse pas les élèves**.
  Exemples de leçons relatives à ce thème : le procédé de moulage au sable, le procédé d'estampage...

- Les procédés secondaires de transformation.

  Si les leçons portant sur ce thème traitent essentiellement de l'usinage par enlèvement de matière, les candidats doivent être capables d'aborder précisément d'autres procédés, comme le découpage ou le pliage.
  Les leçons peuvent aborder des sujets pointus tels « *La production industrielle des filetages sur centre d'usinage* » comme des thématiques plus générales sur des phases de préparation des usinages telles « *Choix de stratégies d'usinage* ».

  Exemples de leçons relatives à ce thème : c*hoix et mise en œuvre des outils de coupe en tournage, étude de l'usinage de pièces sur centres d'usinage, mise en œuvre des machines à commande numérique, usinage grande vitesse…*

- Les procédés tertiaires de transformation.

Il s'agit des procédés complémentaires (traitements thermiques, traitements de surface, assemblages) associés aux procédés primaires et secondaires.
Les leçons attendues sur ce thème ne portent pas sur la transmission de connaissances très spécialisées dans ces domaines particuliers que les élèves pourront approfondir s'ils sont un jour confrontés à ce besoin.
Il s'agit davantage **d'être capable de justifier un traitement, son processus associé et son intégration** dans la réalisation d'une pièce en vue d'obtenir un comportement attendu.

Exemple de leçons relatives à ce thème : Traitements thermiques dans la masse, intégration d'un traitement de ce type dans une gamme de fabrication, Traitements thermiques superficiels des alliages ferreux…

- Le mesurage et le contrôle.

  Sur ce thème, les leçons intègrent obligatoirement le décodage des spécifications géométriques (selon la norme ISO) et à leur mesurage. Le jury apprécie la rigueur de la lecture des spécifications ainsi que la mise œuvre d'une démarche de contrôle explicite.

  Exemples de leçons relatives à ce thème : mesurage de la position relative de deux surfaces, métrologie des surfaces usinées – rugosité, maîtrise statistique des procédés, cartes de contrôle et critères de capabilité…

- Organisation de la production.

  Les leçons portant sur ce thème vont des aspects très techniques comme la mise en place d'une démarche SMED à des aspects plus organisationnels tels que l'implantation physique d'ateliers, l'ordonnancement d'ateliers, la gestion ou le suivi d'une production.

  Exemples de leçons relatives à ce thème : gestion de production de type MRP – planification – ordonnancement, production en flux tiré,…

Constats et recommandations du jury

L'évaluation de l'acquisition des connaissances visées.
Le jury constate que les évaluations proposées à l'issue d'une séquence d'acquisition de connaissances s'avèrent parfois insuffisamment réfléchies.

La structuration pédagogique d'une séquence.
Comme cela a déjà été précisé, la leçon proposée s'intègre dans une séquence de formation. L'organisation de celle-ci et les objectifs visés par les séances qui la composent doivent être présentés et justifiés. Le jury attend que le candidat **justifie par des arguments liés au thème de la leçon proposée, et non par des généralités pédagogiques**, le modèle d'apprentissage retenu.
En fonction du thème proposé, le jury invite donc les candidats à utiliser toute la palette des modèles d'apprentissage comme:

- des séquences actives, porteuses de sens et de motivation, qui peuvent prendre diverses formes (activités pour découvrir et expliciter un problème, démarches actives d'analyse d'une situation, expérimentations pour constater les effets de variations de paramètres, synthèses d'activités préalables,…).
- des séquences plus traditionnelles, essentiellement transmissives, fondées sur des apports classiques de cours, TD, TP d'application et activités d'évaluation.

Le choix de la leçon présentée.
La leçon proposée au jury par le candidat doit **être au cœur du thème à traiter.**
Les candidats doivent donc éviter de traiter longuement des domaines périphériques ou annexes qui ne relèvent pas directement des objectifs opérationnels attendus. Ils doivent également expliciter rapidement les raisons justifiant le choix de la leçon présentée et justifier les parties non présentées devant le jury.
Le jury apprécie les leçons s'appuyant sur des « problèmes techniques » pertinents et motivants, justifiant des apports de connaissance structurés et amenant l'élève à comprendre le « pourquoi » de ce qu'il apprend.

La structure pédagogique d'une séance de travaux pratiques.
Les candidats ne présentent pas toujours le contenu précis des séances de travaux pratiques, alors que les enseignements de productique, d'ISP ou d'AII sont majoritairement dispensés sous cette forme.
Le jury conseille donc aux candidats de ne pas hésiter à proposer des scénarii d'activités de travaux pratiques définissant, par exemple, les éléments suivants:

- l'objectif de formation visé défini de façon précise;
- la fiche de formalisation des connaissances visées associée au TP, s'il s'agit d'un TP de découverte, récapitulant les acquis nouveaux que l'élève doit retenir;
- la fiche d'intentions pédagogiques du professeur qui s'appuie sur le cahier des charges pédagogique fixé;
- le problème technique proposé à l'élève, donnant du sens aux activités du TP;
- le scénario d'activités attendues, complété par les aides techniques et les bases de données mises à disposition durant le TP.

L'utilisation des supports numériques.
Le développement des outils numériques et des outils de présentation modifie en profondeur l'acte de formation. Certaines leçons ne peuvent plus se faire sans utiliser des illustrations extraites de ces outils.
Le choix a été fait de ne fournir que des éléments traités (images, vidéos, présentations, articles). Les candidats n'ont donc pas, dans cette épreuve, à manipuler des logiciels spécialisés. Il leur suffit de savoir maîtriser les outils de base des technologies de l'information et de la communication pour être capable d'intégrer des éléments choisis dans les diapositives de leur présentation.

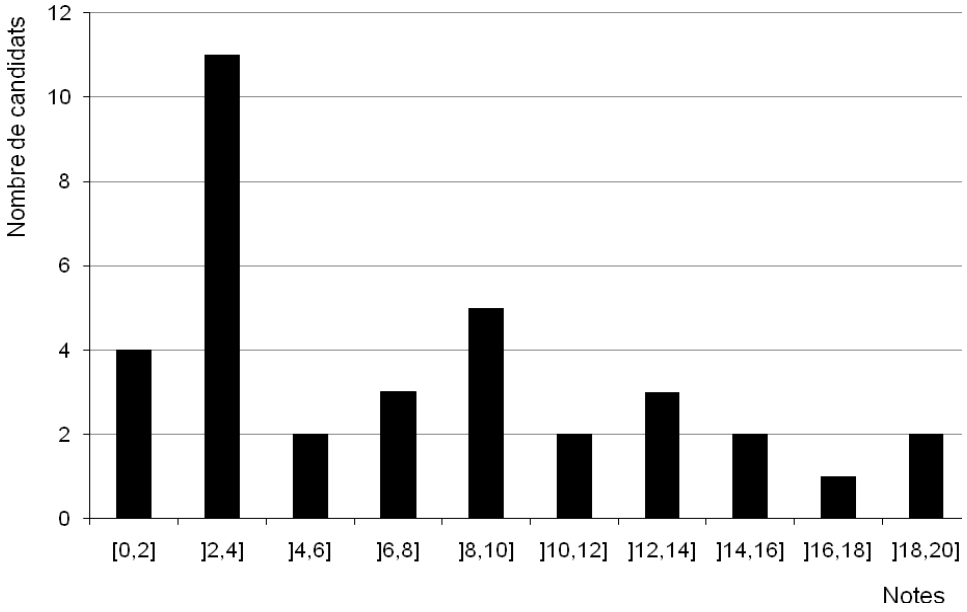
La qualité des leçons observées.
Le jury constate que certains candidats cherchent à contourner le travail attendu, soit en ne présentant pas de leçon, soit en développant une partie annexe de la leçon demandée, soit encore en restituant au tableau des documents non adaptés aux élèves ciblés.

Nombre de leçons de technologie doivent faire ressortir les principes techniques que les élèves doivent comprendre et apprendre. Le jury attache beaucoup d'importance au fait que ces principes doivent être justifiés et expliqués. Une leçon de technologie ne doit pas se limiter à un catalogue de « recettes » opérationnelles ou à un inventaire de données permettant à un technicien de faire sans comprendre.

L'adaptation du niveau de la leçon au niveau que doit atteindre l'élève est fondamentale. Certains candidats se réfugient vers un niveau d'exposé trop élevé : le jury considère que c'est une erreur fondamentale. L'épreuve n'est pas destinée à juger le niveau scientifique du candidat, même si la faiblesse de ce niveau le pénalise, mais à appréhender sa capacité à transmettre les éléments nécessaires à l'élève pour l'amener d'un niveau de connaissance identifié vers un niveau ciblé.

Une leçon de synthèse ne peut se limiter à une simple reformulation des découvertes antérieures des élèves, mais doit permettre au professeur d'organiser, de compléter, de structurer, et de hiérarchiser des connaissances partielles découvertes en amont et relatives à un objectif de formation précis. Ce type de leçon se doit d'apporter une véritable « valeur ajoutée » pédagogique.

Distribution des notes



La moyenne générale de l'épreuve est de 7,83 sur 20 et l'écart type de 5,49.

Conclusions générales

Le jury constate une amélioration appréciable de la qualité de la réflexion des candidats au regard des leçons proposées sur le plan de la réflexion pédagogique des candidats. En effet, des stratégies pédagogiques intéressantes ont été proposées et justifiées avec pertinence.

Le jury regrette que quelques candidats ne répondent pas complètement aux attentes de l'épreuve. A savoir, le candidat doit présenter au jury :

- **La séquence pédagogique dans laquelle s'insère la leçon retenue, en justifiant ses choix,**
- **La leçon telle qu'il la présenterait à des élèves**

Le jury est également conscient de la difficulté de cette épreuve, surtout lorsqu'elle est proposée à des candidats sans expérience professionnelle d'enseignement.
Il s'efforce donc de déceler les qualités potentielles de ces candidats par rapport à leur projet professionnel et sait « oublier » certaines maladresses techniques ou pédagogiques.
Même si cela peut apparaître artificiel à certains candidats, il est nécessaire que le jury puisse évaluer les candidats en action. **Une partie non négligeable de la présentation de la leçon retenue doit correspondre à une séance réelle devant élèves. Toutefois, il s'agit d'une simulation et il ne faut pas attendre du jury la moindre participation.**

La leçon ne doit pas se limiter à une simple description de la séquence pédagogique proposée. Il est indispensable que les candidats fassent preuve d'une réflexion préalable et sérieuse sur les objectifs visés, l'organisation d'une séquence, la structure d'une leçon, l'identification des éléments liés à une évaluation et qu'ils montrent de réelles capacités de communication, de réactivité et de conviction. La lecture des programmes de formation présents dans la salle de préparation permet au candidat d'identifier le niveau d'acquisition des connaissances abordées au cours de la leçon.

Il est également important que les candidats fassent preuve d'un état d'esprit innovant en pédagogie, en imaginant des scénarii de formation variés, mettant en œuvre de manière maîtrisée et réaliste les outils informatiques.
Le jury met en garde les candidats concernant une utilisation abusive du vidéoprojecteur. C'est certes un outil précieux de communication, mais cela ne saurait remplacer l'utilisation du tableau avec le souci d'obliger les élèves à conserver des traces des connaissances essentielles apportées par la leçon présentée.
La technologie se doit de participer à la maîtrise de la langue, au même titre que les autres disciplines. Aussi le jury exige du candidat un développement écrit de la leçon sur tableau blanc.

Enseigner et former devient une activité de plus en plus complexe qui nécessite la maîtrise de compétences multiples, en sciences et techniques, en informatique, en communication, en pédagogie et en didactique…
Les candidats qui réussissent sont ceux qui savent mobiliser ces compétences, allier rigueur scientifique et technique, structuration pédagogique, force de conviction, dynamisme, motivation et qualité de communication.

Agrégation de Génie Mécanique
Concours externe
Session 2009

7 – COMPTE RENDU DE LA SECONDE EPREUVE D'ADMISSION

ÉPREUVE DE SOUTENANCE D'UN DOSSIER INDUSTRIEL

G. GLEMAREC - V. OURNAC - M. RAGE - P. RAY - O. ROSSI

Cette épreuve impose aux futurs professeurs de s'engager, dès leur début de carrière, dans un processus de rapprochement avec le monde de l'entreprise. Elle doit amener le candidat à conduire une analyse technique et économique d'un problème industriel authentique relative à l'industrialisation et à la réalisation de produits mécaniques. Cette analyse peut être soit à l'initiative de l'entreprise soit à celle du candidat mais dans les deux cas menée en coopération.

Ce compte rendu vise à mettre en évidence les caractéristiques de l'épreuve et les attentes du jury, afin de permettre aux candidats de conduire leur préparation dans les meilleures conditions.

Les textes réglementaires définissant l'épreuve

L'épreuve est définie par deux textes :

- la définition réglementaire (BO n° 38 du 21 octobre 2004)
- l'additif (BO spécial n°7 du 1er juillet 2004) précisant la constitution du dossier industriel :

Soutenance d'un dossier industriel de production

Le dossier préparé par le candidat ne doit pas dépasser cinquante pages. Il ne peut se réduire à une simple compilation de documents industriels ou de documents issus de constructeurs. Il doit être organisé et mis en forme par le candidat qui ne retient que les éléments indispensables à la compréhension et aux études qu'il a choisi de développer. Il contient :

- les plans et documents techniques nécessaires à la compréhension du système de production et du produit considérés. Les fichiers informatiques (maquette numérique, simulations diverses, programmations, etc.) sont fournis sur un cédérom joint au dossier ;

- le dessin de définition de la ou des pièces dont la production est étudiée. Les problèmes d'industrialisation (justification du triptyque produit-matériau-procédé), de cotation et de tolérance normalisés, sont explicités ;

- les études conduites exploitant les connaissances attendues d'un professeur agrégé dans le domaine du génie mécanique et de la production industrielle doivent respecter les contraintes suivantes :

. Actualité du procédé et des moyens mis en oeuvre ;

. Traitement d'un problème pertinent au regard du support utilisé ;

. Non limitation de l'étude à des problèmes pointus afin de permettre au candidat de mettre en évidence sa capacité à s'approprier l'économie générale d'un environnement de production ;

. Prise en compte des exigences de la qualité en référence aux spécifications du produit ;

. Prise en compte de données technico-économiques contraignant la réalisation et la qualification du produit.

- les simulations (de fonctionnement, de comportement, de procédés, ...), lorsqu'elles sont utiles, sont obtenues à partir de logiciels exploitant autant que possible les possibilités d'intégration offertes par les modeleurs de nouvelle génération.

- toutes les informations permettant de justifier les choix techniques réalisés pour la production étudiée et/ou les évolutions projetées.

- une proposition succincte (une ou deux pages au maximum) d'exploitation(s) pédagogique(s) pouvant être liée(s) à tout ou partie des travaux développés. Chacune doit indiquer le niveau de classe retenu, les objectifs terminaux et intermédiaires visés et expliquer en quoi ce choix peut être efficace. Cette partie doit rester très limitée à des intentions et ne pas faire appel à des connaissances et des applications fines de démarches pédagogiques particulières.

Pour la soutenance du dossier, le jury met à la disposition du candidat un environnement informatique dont le détail (matériel et logiciels) est publié annuellement. À défaut de vouloir utiliser ce matériel, le candidat se munit d'un ordinateur portable disposant des logiciels qui lui sont nécessaires et qu'il peut connecter sur un vidéo projecteur mis à sa disposition.

Afin de préparer son environnement de présentation, la salle d'exposé lui est ouverte une heure avant sa présentation.

Le déroulement de l'épreuve

Avant la soutenance proprement dite, le candidat dispose d'une heure pour préparer l'environnement nécessaire à son exposé. Un poste informatique avec vidéo projecteur et un rétroprojecteur sont mis à sa disposition.

A l'heure prévue pour la soutenance, le jury rejoint le candidat dans la salle ainsi préparée. Le candidat expose alors pendant une durée maximale d'une demi-heure. A l'issue de l'exposé, le jury interroge le candidat sur différents points du dossier, se confortant ainsi dans l'idée qu'il s'agit bien d'un travail personnel résultant d'un échange approfondi avec une entreprise industrielle sur un problème de production authentique.

Les attentes du jury, les critères d'évaluation

Le jury attend qu'au travers de l'épreuve de soutenance de dossier industriel les candidats démontrent leur capacité à conduire des investigations prenant en compte de réels problèmes techniques posés au sein d'un système de production. Ces investigations doivent déboucher sur un travail personnel d'analyse sérieuse, de propositions de solutions techniques répondant aux problèmes posés, le tout démontrant la maîtrise d'une démarche scientifique pertinente complétée si cela est possible par des résultats d'expérimentation. Le niveau de confidentialité ne devra pas nuire à la constitution du dossier et au dialogue avec le jury.

Par ailleurs l'aptitude à constituer un dossier avec les outils modernes de la PAO, la maîtrise des outils informatiques de simulation et de CAO et un savoir faire en communication technique (plans d'ensemble et de détails, logigrammes, etc…) sont des éléments déterminants pour un futur enseignant en sciences et techniques industrielles. Ces éléments doivent être conformes aux normes en vigueur. Ils sont naturellement appréciés lors de la constitution et de la soutenance du dossier.

L'évaluation du candidat au cours de l'épreuve se fait en deux temps :

- le premier temps consiste en une étude du dossier avec ses compléments informatiques. La qualité du dossier est liée à :
  - son organisation,
  - sa présentation et sa qualité rédactionnelle,
  - l'authenticité du problème technique étudié,
  - la rigueur technique et scientifique des analyses,
  - la pertinence des documents informatiques associés.
- le deuxième temps concerne la soutenance et l'entretien. L'évaluation s'effectue sur le fond et sur la forme. Cela conduit à apprécier :
  - la pertinence du problème traité au regard du support,
  - l'authenticité et la modernité,
  - la rigueur et l'exactitude des développements techniques et scientifiques,
  - la pertinence dans l'utilisation des outils informatiques,
  - la pertinence des propositions pédagogiques,
  - la pertinence des réponses aux questions du jury,
  - la qualité et l'efficacité des outils de présentation,
  - la rigueur du vocabulaire et la qualité de l'expression orale.

Typologie des dossiers présentés en 2009

Les différents dossiers soutenus à la session 2009 peuvent être classés en huit catégories, les deux premières correspondent au cadre de l'épreuve :

- Les dossiers traitant d'une problématique industrielle orientée "procédé ou/et processus" à l'initiative de l'entreprise ou du candidat.

  Ces dossiers se caractérisent par un contexte industriel bien appréhendé par le candidat, les conduisant à une analyse et une étude pertinente d'un problème industriel authentique. Celui-ci concerne aussi bien la mise au point de procédé que la qualification ou l'optimisation de processus ou encore l'organisation de la production. Ce type de dossier, très apprécié par le jury, est celui qui est le plus conforme à la définition de l'épreuve.

- Les dossiers traitant d'une problématique industrielle orientée "automatisation en production" à l'initiative de l'entreprise ou du candidat.

  Ces dossiers sont de même nature que les précédents, mais appliqués à un champ disciplinaire différent. Il est dommage que les problèmes liés à l'automatisation de procédé et processus ne soient pas plus abordés par les candidats alors que de nombreux problèmes de production mériteraient une investigation approfondie dans le domaine de l'automatique.

Celles qui suivent ne respectent pas la définition de l'épreuve et sont sévèrement sanctionnées par le jury :

- Les dossiers "scolaires" utilisant une pièce issue du monde industriel, pour faire valoir des savoirs et savoir-faire universitaires du champ de la discipline.

  Il s'agit là de dossiers dans lesquels les candidats, ayant extrait une pièce d'un contexte industriel (avec une connaissance insuffisante de l'environnement), applique à cette pièce des démarches et procédures mobilisant des outils théoriques parfois de haut niveau sans mettre en relation calculs et conclusions avec la réalité d'un problème industriel authentique. L'absence fréquente d'éléments conclusifs pertinents a pénalisé ce type de

dossier jugé artificiel sur le plan de la relation entre les mondes de l'entreprise et de la formation.

- Les dossiers portant sur la description ou l'optimisation des procédés ou processus ne développant pas d'approche scientifique avec le niveau requis pour le concours.

  Le traitement complet d'un processus de production étudié en BTS IPM ou d'un thème de BTS MAI en est un exemple.

- Les dossiers des candidats surpris d'être admissibles à l'agrégation.

  Il s'agit là de dossiers construits dans l'urgence, souvent prélevés d'un travail collectif, et dont l'adéquation à l'épreuve est bien souvent négative.

- Les dossiers « exposé technologique ou visite technique »

  Ces dossiers sans contenu scientifique ou technique présentent sous forme d'exposés des procédés originaux ou un processus industriel sans analyse associée à une problématique approfondie.

- Les dossiers des candidats ne répondant pas aux exigences de l'épreuve.

  Une faible minorité de candidats construisent leur dossier à partir de problèmes de conception et non d'industrialisation ou de réalisation.

- Les dossiers déjà présentés lors d'une session précédente

  Compte tenu de l'effet mémoire, il est fortement conseillé aux candidats d'enrichir de façon conséquente leur dossier par le développement d'une nouvelle problématique ou par l'approfondissement réel de celle déjà abordée.

Constats et recommandations du jury

A propos de la problématique

Une des lacunes récurrentes constatée par le jury concerne l'absence de problème technique et de traitement associé. Identifier une problématique industrielle ne consiste pas à dérouler un schéma type : diagramme des interacteurs, FAST, description relation Produit – Procédé - Matériau, description d'une réalisation (gamme d'usinage etc…).
La compréhension de la problématique passe bien sûr par une mise en situation qui doit éviter au candidat de ne rien savoir sur l'environnement du produit, situation qui témoigne d'un manque de curiosité peu apprécié. La relation entre le produit associé à son environnement et les contraintes de l'industrialisation a permis à plusieurs candidats de bien clarifier leur présentation. De même, les éléments les plus pertinents du dossier d'industrialisation de l'entreprise doivent être mis en valeur par le candidat. Ces éléments, nécessaires à la compréhension du dossier ne sauraient en aucun cas en constituer le corps principal.

L'articulation "produit-procédé-matériau" est souvent fort importante pour une bonne compréhension de la problématique. Malgré tout, elle ne doit pas systématiquement conduire à des développements importants où l'artifice prend le pas sur la logique et la cohérence, par l'utilisation d'indices de performance dénués de sens.

Le jury ne considère pas que le prélèvement d'une pièce lors d'un passage en entreprise soit suffisant pour dégager un problème industriel authentique : l'entretien a largement confirmé ce point de vue par l'ignorance dans laquelle se trouvait le candidat des conditions de l'industrialisation et de la réalisation de la pièce étudiée. De même, un exposé simplement descriptif d'un processus ou d'un procédé ne peut être en aucun cas un niveau de réponse suffisant aux exigences de cette épreuve.

La construction du dossier
La majorité des dossiers sont bien présentés et leur construction est assez souvent cohérente. Cependant, ils souffrent parfois d'une structure archétypique qui ôte trop de liberté aux développements. Il n'y pas de modèle unique tant les préoccupations, et donc les poids relatifs des parties, peuvent être différents.

Les candidats doivent veiller à proposer des documents graphiques aux normes en relation avec l'étude menée. Le jury pourra toutefois être amené à demander les documents originaux de l'entreprise. En cas d'informations mentionnées « confidentielles » le jury s'engage à ne pas les reproduire ou les divulguer à des personnes extérieures pour que cet aspect ne constitue pas un obstacle pour le candidat.

Quel que soit le sujet analysé procédé ou processus, les éléments de définition du produit et de la pièce étudiée (cahier des charges fonctionnel du produit, dessin de définition, documents graphiques descriptifs du ou des outillages…) doivent être associés au dossier.

Les fichiers informatiques font partie du dossier. Ils ne peuvent donc pas se limiter au dossier proprement dit. S'ils peuvent aider à une présentation du contexte, ils doivent aussi contribuer à une bonne perception des études et des simulations avec les conditions de leur réalisation.

Dans sa courte partie pédagogique, le dossier doit présenter des propositions. Celles-ci, outre la situation calendaire et la conformité aux référentiels et programmes, doivent mettre en situation la ou les activités proposées et leurs finalités pédagogiques. La pertinence de l'application pédagogique au regard du support proposé et du problème technique associé est appréciée par le jury.

L'exploitation pédagogique doit mettre en évidence :

- les objectifs de formation en conformité avec les référentiels et programmes ;
- l'identification des connaissances à acquérir par l'apprenant ;
- la mise en évidence de l'adéquation entre l'utilisation de la problématique développée dans le dossier avec les objectifs de formation et les connaissances visées.

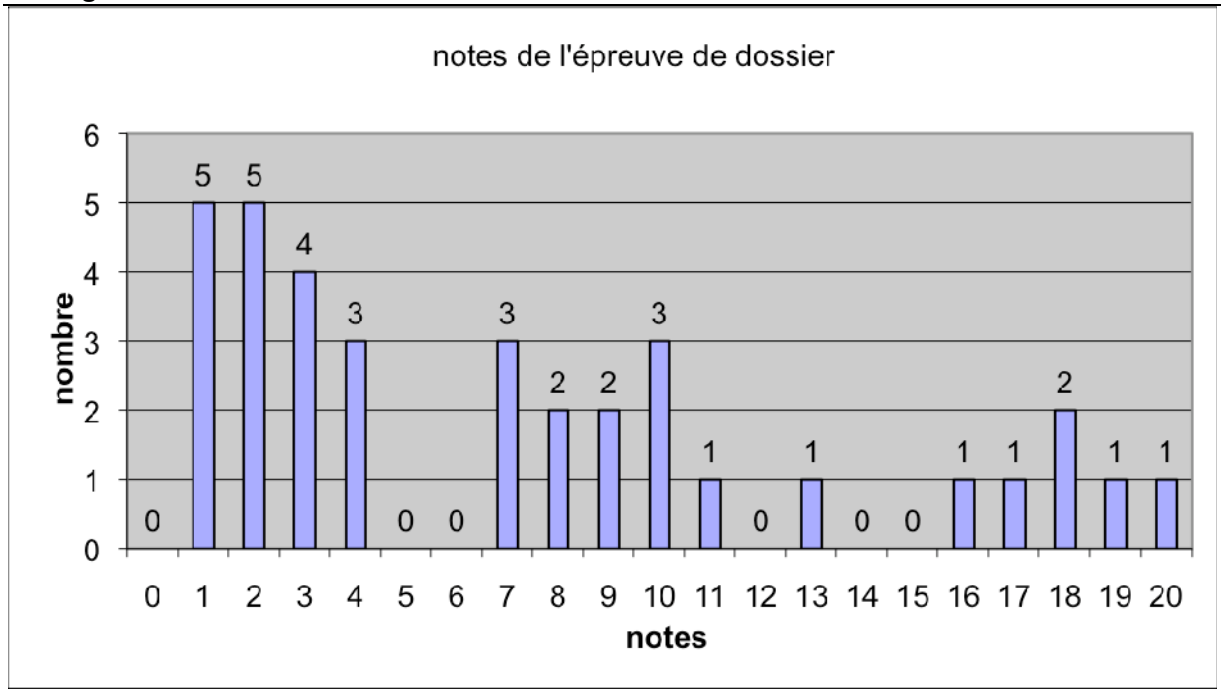
La soutenance
La soutenance est un exercice particulier qui ne peut se concevoir comme un simple affichage des pages du dossier. La plupart des exposés sont de bonne facture pour ce qui concerne les outils de présentation. Les candidats ont bien compris qu'il ne fallait ne pas perdre de temps dans une recopie au tableau des informations qui figurent dans les diaporamas, le jury disposant du dossier et donc d'une mémoire de la structure de la présentation.
Les nombreuses simulations proposées par les candidats ont montré que si l'outil informatique est bien maîtrisé, les modèles qui régissent les comportements ou les conditions aux limites sont quelques fois absents des interprétations. Une grande sagacité s'impose donc dans leur mise en œuvre comme dans leur exploitation.

Par ailleurs, les candidats doivent être attentifs à ne pas donner d'informations non justifiables ou dont ils ignorent la réalité, tout comme ils doivent éviter d'utiliser des mots dont le contenu leur est étranger. Nombre d'entre eux ont reçu en retour une question demandant des précisions qui ont bien sûr manqué !

Les réponses aux questions du jury et la communication
Les questions posées par le jury permettent d'approfondir quelques-unes des informations données par le candidat, dans le dossier autant que dans l'exposé et à renforcer au sein du jury la conviction que le dossier présenté résulte bien d'un travail personnel.

Les réponses absentes ou évasives relatives au contexte de l'industrialisation, de la réalisation ou de l'automatisation sont peu appréciées car elles témoignent d'un réel manque d'investigation au sein de l'entreprise.

Histogramme des résultats



La moyenne générale de l'épreuve est de 07,27 sur 20.

Conclusions générales

Pour réussir cette épreuve, il y a lieu de s'appuyer sur une étude authentique issue du milieu industriel, dans laquelle un ou plusieurs problèmes techniques ou économiques sont appréhendés.

A travers la résolution totale ou partielle d'un ou plusieurs de ces problèmes, le candidat doit mobiliser ses connaissances avec rigueur scientifique et technique.

Au cours de la présentation devant le jury, il doit faire apparaître sa maîtrise de l'étude, la part de sa réflexion personnelle et faire preuve de qualité de conviction et de communication.

Le dossier qui caractérise cette épreuve s'inscrit dans la démarche que doit conduire tout enseignant de génie mécanique pour lui permettre d'exploiter, à des fins d'enseignement, des supports industriels réels, faire apparaître les problèmes techniques et économiques soulevés et les solutions retenues pour les résoudre.

Agrégation de Génie Mécanique
Concours externe
Session 2009

8 – COMPTE RENDU DE LA TROISIÈME ÉPREUVE D'ADMISSION

ÉPREUVE DE TRAVAUX PRATIQUES

A. ATTARD – M. BERÇOT– H. CHANAL - K. KOUISS

P. LE PIVERT - G. POULACHON - P. TAILLARD – C. VELUT

1. REMARQUES GENERALES

En s'appuyant sur différents supports et procédés, l'épreuve de travaux pratiques a pour vocation principale de valoriser l'aptitude de futurs enseignants à :

- appréhender un procédé ou un système par l'observation attentive des conditions technico-économiques de sa mise en œuvre ;
- s'approprier des problématiques techniques ;
- mobiliser des connaissances scientifiques et techniques pour résoudre un problème réel ;
- conduire une expérimentation en vue d'une validation d'hypothèses et/ou de modèles ;
- faire l'analyse critique des résultats obtenus dans une logique d'obtention de la qualité requise et/ou d'amélioration de la productivité.

Chaque travail pratique proposé aux candidats intègre tout ou partie des activités suivantes :

- analyse des données d'industrialisation et du contexte proposé de mise en œuvre ;
- identification des problèmes techniques ;
- définition d'un protocole d'expérimentation ;
- mise en œuvre des équipements et réalisation de l'expérimentation ;
- mesure et analyse des résultats ;
- proposition d'évolution des conditions de réalisation et validation des solutions proposées par la mise en œuvre finale.

La mise en œuvre totalement maîtrisée des machines et procédés utilisés aux différents niveaux d'enseignement des lycées et des IUT n'est pas déterminante pour réussir cette épreuve.

2. DEROULEMENT DE L'EPREUVE

2.1. Exécution du travail pratique, durée 7 heures

Dans le cadre de la résolution d'un problème technique, le candidat est conduit à mettre en œuvre des équipements relatifs à différents procédés de fabrication : usinage, formage, assemblage.

La maîtrise des connaissances fondamentales dans les domaines de la fabrication, la métrologie, la mécanique et l'automatique est indispensable pour mettre en œuvre les différents équipements proposés aux candidats et résoudre les problèmes techniques auxquels ils sont confrontés.

La maîtrise de démarches expérimentales structurées, de méthodes d'analyse de problèmes et de traitements des données recueillies fait partie des exigences de cette épreuve.

Un membre du jury assure pour chacun des candidats, un suivi tout au long des 7 heures de mise en œuvre afin :

- de lui présenter le matériel mis à sa disposition ;
- de l'assister en cas de difficulté matérielle ;
- de l'aider à respecter le cadre de l'étude ;
- de procéder à une première évaluation entrant dans l'élaboration de la note finale.

Pour cette phase de préparation de 7 heures, les critères d'évaluation sont les suivants :

- Aptitude à la mobilisation des connaissances scientifiques et techniques :
  - validité des hypothèses formulées ;
  - pertinence des modèles utilisés ;
  - qualité du raisonnement et structuration de l'analyse ;
  - maîtrise des connaissances scientifiques et technologiques mobilisées ;
  - pertinence des expérimentations conduites ;
  - justesse de l'interprétation des résultats.
- Aptitude à la mise en œuvre des équipements :
  - autonomie et dynamisme dans la mise en œuvre des matériels ;
  - qualité et pertinence de la mise en œuvre;
  - qualité de l'organisation du poste de travail.

COMMENTAIRES RELATIFS A LA PHASE D'EXECUTION DU TRAVAIL PRATIQUE

Lors de l'étude proposée au candidat, doivent être mobilisées des compétences relatives :

- *à la mise en oeuvre et à la maîtrise des moyens ;*
- *à la définition d'un protocole d'expérimentation ;*
- *à l'exploitation scientifique des résultats.*

Plusieurs candidats ont bien compris les objectifs de l'épreuve et une réelle progression a été constatée. Néanmoins les commentaires ci-dessous pointent des axes de travail pour les candidats en recherche d'amélioration.

Au titre de la mise en œuvre, on observe souvent une ambition qui se limite à la réalisation d'une pièce, sans se soucier de problèmes identifiables dans nombre de procédés : mise en position, maintien en position, identification et quantification des grandeurs de pilotage et de

réglage. La métrologie d'une pièce ne peut se limiter à l'analyse des spécifications souvent correctement faite. Les propositions de gammes de mesure manquent bien souvent de réalisme et l'utilisation d'une MMT ne peut être la seule réponse à un besoin de mesurage. Pour les automatismes, le jury constate que les connaissances des candidats sur les techniques d'implémentation des modèles de commande ont bien progressées.

Au titre de la définition d'un protocole d'expérimentation, il est constaté, pour certains candidats, une méconnaissance des indicateurs de performance d'un processus. Le manque de définition d'une stratégie d'expérimentation conduit trop souvent le candidat à une perte de temps.

Au titre de l'exploitation scientifique des résultats, nombres de lacunes dans les connaissances théoriques usuelles ne permettent pas une analyse correcte. Les bases de la statistique et leur exploitation en production (loi normale, taille des échantillons, exploitation des résultats…), la modélisation isostatique comme la détermination des spécifications de fabrication sont insuffisamment maîtrisées. Les résultats annoncés ne sont jamais associés à des incertitudes. Les candidats éprouvent fréquemment des difficultés à justifier et mettre en place des actions correctives.

La réussite de cette phase d'exécution du travail pratique nécessite un équilibre entre ces trois composantes. Les difficultés rencontrées par certains candidats sont préoccupantes pour des enseignants ou de futurs enseignants amenés à concevoir et encadrer des séances de travaux pratiques.

2.2. Présentation des travaux réalisés et entretien avec le candidat, durée 1 heure

Le candidat dispose de 30 minutes pour présenter son investigation menée pendant le travail pratique. Il s'agit d'un exposé scientifique et technique de haut niveau qui doit mettre en évidence la démarche utilisée, exploiter les résultats des manipulations et proposer des interprétations et des conclusions.

Les questions posées, pendant 30 minutes, à l'issue de l'exposé ont pour but essentiel d'aider le candidat à valoriser ses compétences. Le jury attend des réponses claires et concises ; seuls les points exposés ou contenus dans le sujet font l'objet d'approfondissements lors de cette phase d'entretien.

Les critères d'évaluation pour l'exposé et l'entretien sont les suivants :

■ présentation de la problématique, justification de la démarche, exploitation des résultats :
- qualité du raisonnement et structuration des résultats de l'analyse ;
- justification des hypothèses formulées ;
- justification des modèles utilisés ;
- justesse de l'interprétation des résultats ;
- qualité de la communication et précision du vocabulaire employé.

■ réponses aux questions posées :
- maîtrise des connaissances scientifiques et technologiques ;
- pertinence des réponses aux questions posées ;
- réactivité face au questionnement et précision de la réponse.

COMMENTAIRES RELATIFS A LA PHASE DE PRESENTATION DU TRAVAIL PRATIQUE.

Les candidats doivent avoir pour objectif de montrer leur aptitude à comprendre les différents problèmes posés et à confronter l'analyse théorique conduite avec les résultats de leur expérimentation en gardant un esprit d'analyse critique.

Si la description du contexte de l'étude est nécessaire, il est important de rappeler que la présentation doit principalement porter sur la problématique abordée et sur la démarche mise en œuvre pour y apporter une réponse. Les candidats doivent s'attacher à décrire et expliquer les actions conduites et surtout à formuler les conclusions de leurs expérimentations. Un manque d'analyse du problème technique ne doit pas conduire à mener des essais désordonnés. Un manque d'expérimentation ou de mise en œuvre ne peut être remplacé par un exposé de manipulations supposées.

Il est conseillé aux candidats de se préparer à une meilleure gestion du temps, quelques uns ayant limité leur intervention à 10 ou 15 minutes.

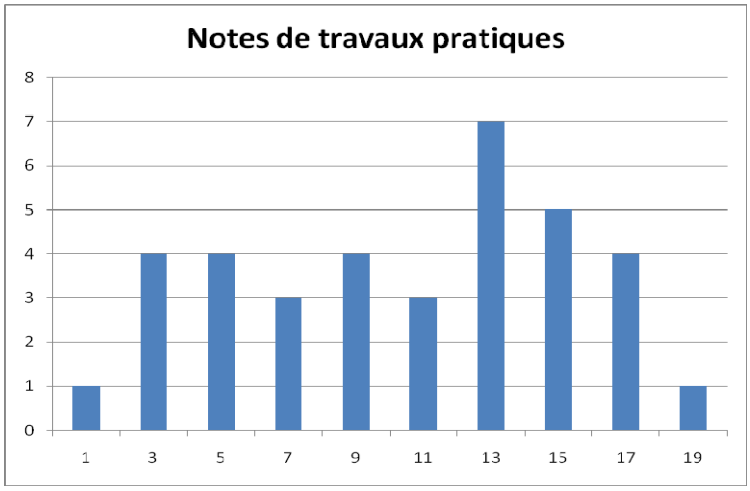
Trop de candidats se contentent lors de l'exposé de présenter une réponse à chacun des items de guidance proposés dans le texte du sujet. Le jury apprécierait une meilleure synthèse du travail et une plus grande qualité des documents projetés, des croquis et des écritures au tableau.

Si ces recommandations s'adressent à de nombreux candidats, le jury a été sensible au dynamisme de certaines prestations et à des présentations d'une qualité remarquable.

2.3. Histogramme des résultats

Remarque : Pour 40 candidats admissibles, 4 candidats ne se sont pas présentés à l'épreuve. La moyenne est de 10,5.

L'histogramme ci-contre ne les prend pas en compte.



3. THEMES D'ETUDES DES TRAVAUX PRATIQUES

Pour chacun des thèmes abordés, décrits succinctement ci-dessous, plusieurs travaux pratiques ont été proposés aux candidats. La métrologie et/ou le contrôle font quasi systématiquement partie des activités proposées aux candidats, tout comme l'utilisation d'éléments logiciels de la chaîne numérique.

1. Étude de préindustrialisation

L'adaptation du produit aux procédés ou processus de fabrication peut amener à la modification de sa définition – formes et spécifications géométriques ou mécaniques,

adaptation du choix du matériau. La réalisation d'un prototype vient alors valider les hypothèses formulées.

2. Limites des procédures de réglages externes

La mise au point d'une production impose de nombreux préréglages externes qui ne sont pas sans conséquences sur les résultats obtenus. Plusieurs activités permettent d'apprécier l'influence des différents éléments de la chaîne numérique et de la boucle machine/porte-outil/outil/porte-pièce/pièce, et d'en déduire des règles limitatives d'emploi de ces réglages externes.

3. Optimisation sous contraintes technico-économiques

En fonction d'un contexte technico-économique particulier, les candidats sont amenés à définir les conditions optimales d'emploi des procédés, des outils et/ou des outillages. Le cas échéant cette recherche peut s'appuyer sur un plan d'expériences.

4. Recherche et validation d'un processus sous contraintes géométriques ou de déformation

Des spécifications géométriques et dimensionnelles peuvent amener des contraintes portant sur le processus, le choix d'outils, le choix de conditions de coupe, le choix des porte-pièces. Plusieurs travaux pratiques proposent d'analyser l'effet de ces contraintes, de conduire des expérimentations et de conclure sur les valeurs des paramètres à utiliser et la validité du processus envisagé.

Les comportements de la pièce ou de l'outil lors de l'usinage peuvent entraîner des déformations ou des contraintes particulières qu'il est nécessaire de quantifier pour envisager des actions correctives. Elles nécessitent la modélisation des efforts de coupe et de bridage puis la recherche des conditions aux limites permettant une approche par simulation.

5. Analyse et réglage d'un système asservi

Pour les systèmes automatisés continus, les travaux pratiques sont construits de telle manière à ne négliger aucune des parties constitutives d'un asservissement. Le candidat est amené à traiter des questions relatives à la chaîne d'acquisition (capteurs TOR, codeurs, résolveurs), aux éléments de sécurité, aux boucles d'asservissement, à la compensation des défauts mécaniques (jeux, frottement, défauts géométriques).

6. Analyse et programmation d'un système séquentiel

Pour les systèmes automatisés séquentiels, les travaux pratiques s'intéressent au développement de la commande. Les candidats sont amenés à faire des études de gestion de modes de marches et d'arrêt pour différents postes en prenant en compte les aspects de sûreté de fonctionnement, puis à traduire les résultats de leurs analyses en « programmes automates » en utilisant les environnements de programmation mis à leur disposition.

Pour cette session, les travaux pratiques retenus pour la partie fabrication sur les procédés sont les suivants :

- l'usinage par enlèvement de matière sur machines à commande numérique de 3 à 5 axes;
- l'usinage grande vitesse sur centre d'usinage ;
- le décolletage sur tour multiaxes à alimentation automatique ;

- le grignotage ou pliage sur machine à commande numérique ;
- le soudage sur poste robotisé ;
- l'emboutissage ;
- l'injection plastique.

Pour le domaine des automatismes industriels, les supports exploités ont été :

- une unité d'assemblage à transfert libre ;
- une unité de transitique de cellule flexible ;
- un axe de commande numérique ;
- une machine numérisée trois axes.

9 – 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 spécial n°3 du 26 avril 2003 pour le programme
- BO spécial n°4 du 28 mai 2008 pour le programme
- BO spécial n°5 du 17 juillet 2008 pour les modalités administratives

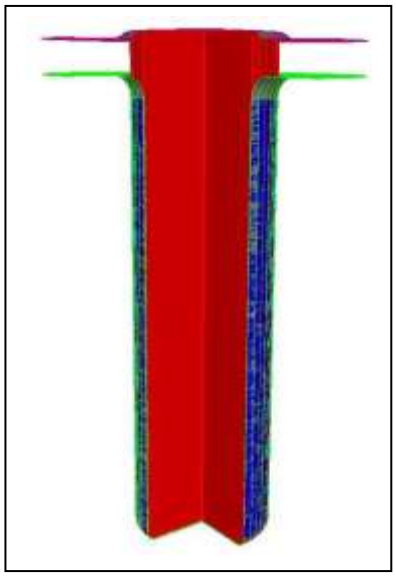
CORRIGE

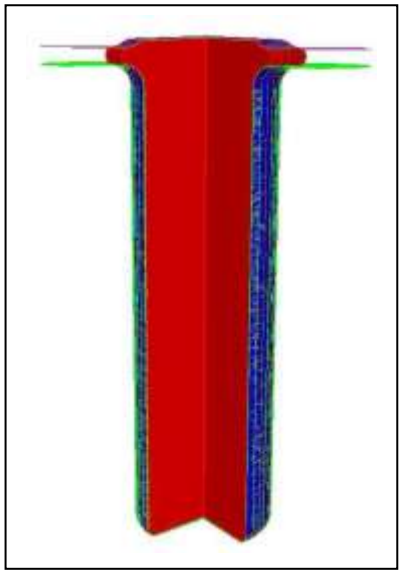
PARTIE A – ÉLABORATION DE LA PIÈCE BRUTE

A.1 – Opération de refoulement

Indiquer le type de machine permettant de réaliser la phase de refoulement. Sous forme de schémas et/ou de dessins à main levée, définir le principe de l'outillage. Préciser les fonctions assurées par chacune des parties composant cet outillage.

Cette opération nécessite un outillage inférieur qui s'ouvre (éjection) et se ferme rapidement après introduction du lopin chaud (930°C). L'opération sur presse hydraulique demande approximativement 700 tonnes d'effort.





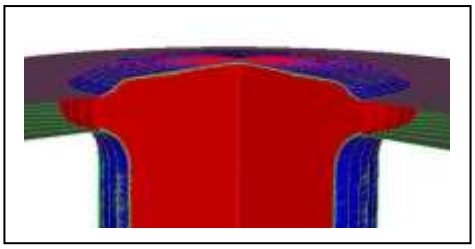
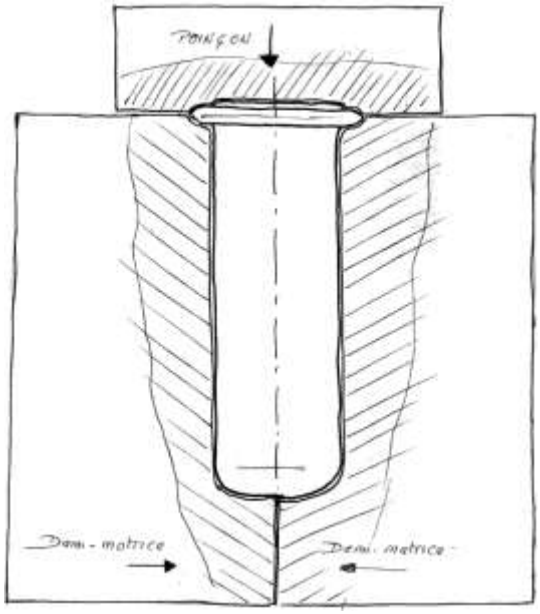


Schéma de principe de l'outillage



Les deux demi matrices constituent l'outillage inférieur qui doit s'ouvrir et se refermer rapidement.

Fonctions assurées par cet outillage inférieur :

- *maintenir et positionner la pièce pendant l'opération de refoulement ;*
- *obtenir la forme inférieure de la collerette.*

Fonctions assurées par le poinçon :

- *communiquer l'effort de refoulement au lopin ;*
- *obtenir la forme supérieure de la collerette.*

<u>Autre solution</u> : Une autre possibilité est de refouler dans une matrice inférieure monobloc. Il faut alors ajouter une dépouille de 1° et un éjecteur de diamètre égal au diamètre de fond.
Cette solution est plus classique, mais elle nécessite davantage de métal et le chauffage de la totalité du lopin de départ.

A.2 – Opération de matriçage

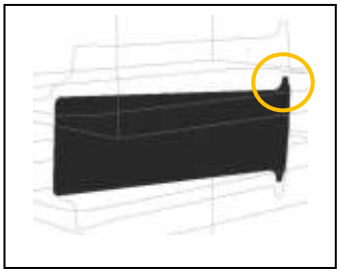
Le Document Technique **DT-6** fournit des images extraites d'une simulation numérique de la phase de matriçage en partant de conditions de travail, non encore optimisées, du processus prévisionnel d'élaboration de la pièce brute :

- les figures 1 et 2 donnent la position de la pièce au sein de l'outillage au démarrage de l'opération de matriçage (ouverture de l'outillage = 110 mm) ;
- les figures 3, 4 et 5 montrent les zones de contact outillage-pièce au cours du formage (ouverture de l'outillage = 4 mm) ;
- à l'instant qui correspond à la fin de la fermeture de l'outillage (matrices en contact), la figure 6 indique l'état de contact matière-outillage, la figure 7 fournit une cartographie des températures au sein du matériau et la figure 8 donne une image de l'état de déformation du matériau (Log Є = Log (L / Lo)) cumulé (refoulement + matriçage).

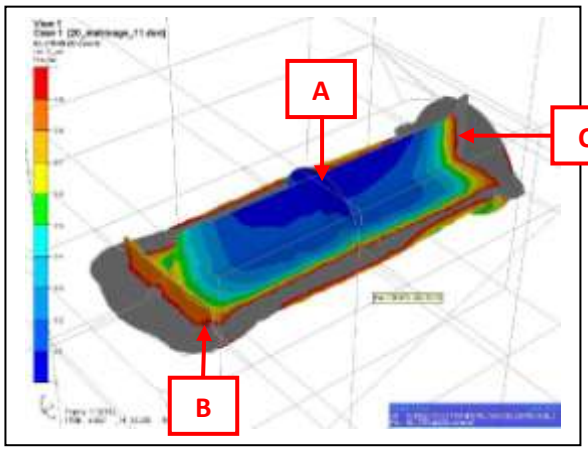
S'agissant d'une simulation numérique, tous les renseignements apportés par ces figures sont prévisionnels.

À l'aide du tableau ci-dessous, à reproduire sur feuille de copie, préciser l'exploitation qui peut être faite des informations apportées par chacune des figures et les conséquences prévisibles quant à la qualité de la pièce brute obtenue et quant au déroulement du processus d'élaboration :

- de manière générale,
- dans le cadre du matriçage de la trompette de liaison.

Figures	***Qualité de la pièce obtenue***	***Déroulement du processus***
Fig. 1, 2 et 5	 *La position de l'ébauche au démarrage du matriçage est inclinée par rapport au plan de fermeture des matrices. Cette forme d'ébauche et cette position inclinée conduisent à créer un défaut de type « recoupe » qui apparaît sur la figure 5. La matrice supérieure « racle » ou recoupe l'ébauche en créant un bourrelet ou un repli.*	*L'usinage ultérieur de la collerette devra supprimer ce défaut (disparition lors de l'opération de carottage).*
Fig. 3 et 4	*Ces 2 figures, qui correspondent au même stade de la simulation du matriçage que la figure 5, indiquent les premières zones formées par l'outillage et, notamment le début d'écoulement de la bavure. C'est entre les deux branches de la chape (bout opposé à la collerette) que débute le formage de la bavure. Celle-ci se révèle légèrement excédentaire (constat confirmé sur la figure 6). Dans le cas d'une section d'ébauche trop forte, l'excèdent de matière doit s'écouler complètement vers le cordon de bavure. Dans les zones où l'empreinte est remplie avant la fin du formage, le glissement de cet excédent de matière perturbe le fibrage du matériau. Le taux d'écrouissage y est important. Le « délaminage des fibres au plan de joint », expression utilisée par les forgerons pour désigner cette perturbation, peut provoquer des fissures à l'ébavurage et aux traitements thermiques.*	*Pas de modification de forme de l'ébauche au voisinage de la chape :* *- la matière située entre les deux branches de la chape sera enlevée lors de l'opération de carottage (le « délaminage des fibres au plan de joint » dans cette zone sera donc sans conséquences) ;*

	Le forçage de l'écoulement de l'excédent de matière vers la bavure est consommateur d'énergie, il conduit, d'autre part, à une usure prématurée des outillages (érosion de la gravure de chacune des deux matrices).	*- le gain économique d'une réduction d'énergie et d'une réduction de l'usure des outillages n'est avéré face au coût d'une modification de l'ébauche au voisinage de la chape.*
Fig. 6	*Le remplissage montre un manque léger de bavure autour de la collerette. L'épaisseur de la collerette réalisée lors de l'ébauche est insuffisante.*	*<u>Opération de débit des lopins</u> : augmenter la longueur du lopin.* *<u>Opération de refoulement</u> : augmenter l'épaisseur de la collerette et réduire la longueur du cylindre de ø132*
Fig. 7	*La cartographie des températures fait apparaître une différence de 180°C au sein du matériau : 910°C au cœur de la pièce ; 730°C en périphérie de collerette et en périphérie de matière entre oreilles. Cette grande variation de température est due aux temps d'attente à la sortie du four et à la vitesse de forgeage.* *Le choix de la température de forgeage est dicté par des considérations métallurgiques, il en résulte une incidence sur :* *- <u>l'homogénéité de la structure</u> obtenue au sein du matériau (lors du matriçage, changement d'état de l'alliage non simultané en tous points de la pièce) – ici, la température ne dépasse pas 980°C, il n'y a donc pas de passage en phase β – l'histoire thermomécanique de chaque zone de la pièce (température, déformation) influencera la recristallisation et donc la taille de grain finale ;* *- <u>l'effort de forgeage</u>, compte tenu de la relation liant la contrainte d'écoulement du matériau à la température / l'effet de la température sur la contrainte d'écoulement est nettement plus important sur le titane que sur l'acier (lorsque leur température se rapproche de la température ambiante, les alliages de titane se caractérisent par une forte augmentation de leur résistance à la déformation - en conséquence, dès que la température décroît, le titane a une forte tendance au <u>criquage</u>).*	*Réduire les temps d'attente en sortie de four.* *Optimiser la vitesse de forgeage.*

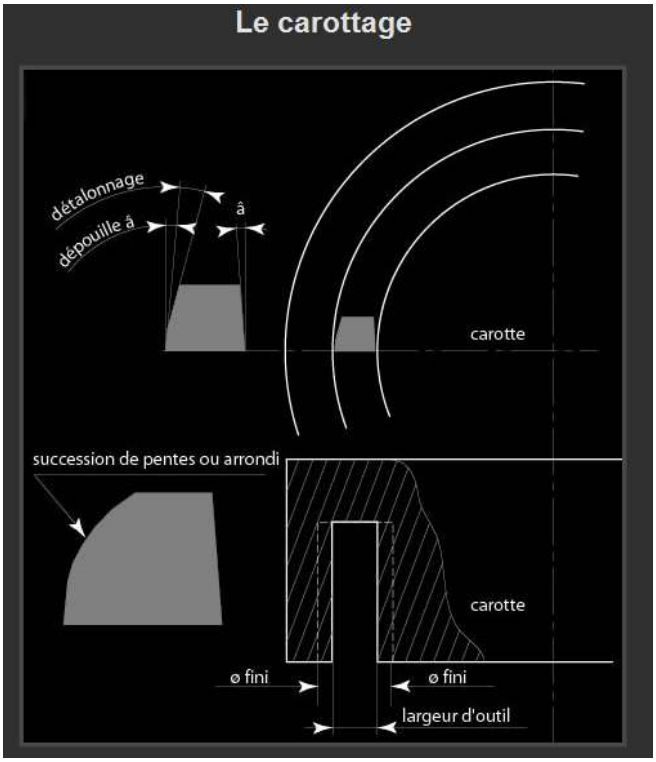
Fig. 8	*État de la déformation cumulée (refoulement + matriçage)*  *En zone A, parties supérieure et inférieure du cylindre de ø132 (L/Lo = 1 donc ε = 0), il n'y a pas (ou peu) de déformation de la matière. C'est une zone dite « Zone morte ».* *En zone B, cordon de bavure, et zone C, formage du ø extérieur de la collerette, la déformation est maximale. La collerette a subi une déformation importante au cours de la première opération : le refoulement.* *Entre ces deux extrêmes, la pièce obtenue présente une hétérogénéité de déformation inévitable.* *Cette hétérogénéité aura une influence sur la structure du matériau obtenue. Pour une bonne résistance à la fatigue de cette pièce de sécurité, il convient de viser l'obtention d'une microstructure de type équiaxe.* *En revanche, la taille de grain (G ou d) est variable suivant les zones de la pièce. On recherche un grain fin.*	*L'obtention d'une microstructure équiaxe résulte :* - *du traitement thermomécanique du lopin de départ (forgeage ou laminage et traitement thermique de recristallisation) pour obtenir une macrostructure fine et régulière ;* - *du taux de corroyage obtenu suite au refoulement et au matriçage et au traitement thermique associé en fin de matriçage (ici recuit).*

A.3 – Opération de carottage

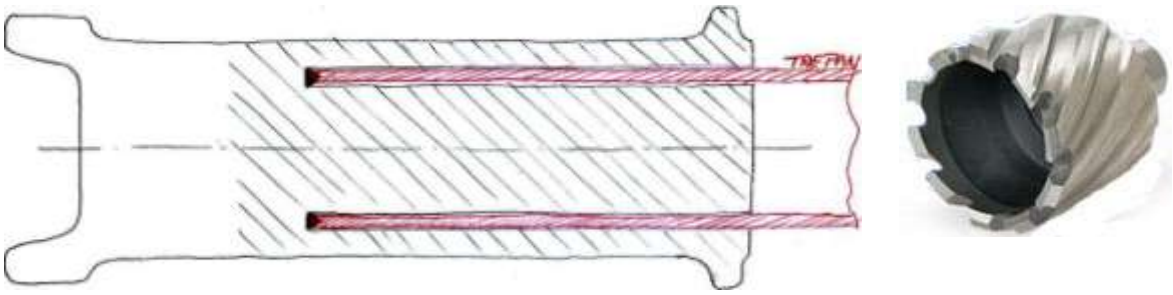
Le Document Technique **DT-4** présente l'ébauche matricée et définit le cylindre de matière, appelé carotte, issu de l'opération de carottage. Indiquer en quoi consiste cette opération de carottage et préciser les intérêts d'une telle opération. Sous forme de schémas et/ou de dessins à main levée, définir le principe de l'outillage nécessaire.

Il s'agit de réaliser un alésage de grande dimension (ici Ø100 mm) sur des profondeurs courtes ou longues à l'aide d'un outil appelé outil à carotter ou bien trépan (opération de trépanage). Cette opération permet d'enlever un grand volume cylindrique de matière sans avoir à le transformer tout en copeaux.

Réalisation d'une « carotte » à l'aide d'un outil de type « Trépan » ou encore « scie cloche »



Application au carottage de la trompette de liaison



Intérêts du carottage (ou trépanage) :

- *faible volume de copeaux générés pour réaliser l'alésage par rapport à une opération de perçage ou de fraisage (si il n'y avait pas d'opération de carottage, il y aurait 3242 cm^3 de matière à évacuer qui, transformée en copeaux fragmentés "espérons-le", peuvent représenter avec un taux de foisonnement de l'ordre de 1200 %, 38 904 cm^3 de copeaux) ;*
- *maîtrise de la vitesse de coupe (usinage à Ø constant) ;*
- *facilité de recyclage ou de réutilisation de la carotte : solution simple, pour ce type de pièces, d'application des procédures aéronautiques attachées aux pièces de haute sécurité (conserver une partie de pièce « témoin » et permettre la confection d'éprouvettes pour contrôle systématique des caractéristiques du matériau de chaque pièce)*
- *une attention particulière doit être portée à l'évacuation des copeaux : risques de « bourrage » entre l'outil et la carotte ou/et la pièce.*

PARTIE B - ÉTUDE PARTIELLE DE LA GAMME OPÉRATOIRE

La nomenclature des phases d'obtention du produit fini est précisée sur le Document Technique **DT-7**. Ce produit fini correspond à la trompette de liaison usinée et équipée de deux bagues de réparation définies sur le Document Technique **DT-8**.
Les phases figurant en gras feront l'objet d'une étude détaillée.

B.1 Etude de la phase 20 : Essais mécaniques pour contrôle réception matière

B1.1 Indiquer le rôle de cette phase 20 dans le processus opératoire de la fabrication de la trompette.

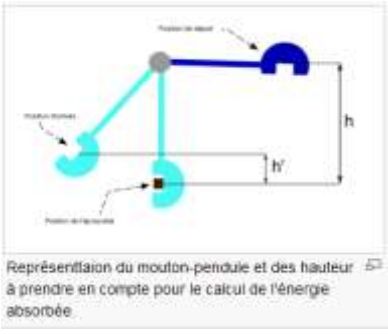
Vérification de l'adéquation des caractéristiques mécaniques avec le cahier des charges suite au procédé de matriçage et au recuit de relaxation. Il s'agit d'un contrôle à 100%.
Il s'agit d'une pièce vitale (de sécurité), qui ne doit présenter en conséquence aucuns défauts de santé matière. Il est donc important de vérifier toutes ces caractéristiques mécaniques avant de débuter l'usinage qui apportera une très forte valeur ajoutée. De plus, les résultats des essais permettront aussi d'apporter une traçabilité des pièces au cours de leur utilisation.

B.1.2 Détailler les contrôles qui seront effectués, ainsi que les plages de valeur d'acceptation.

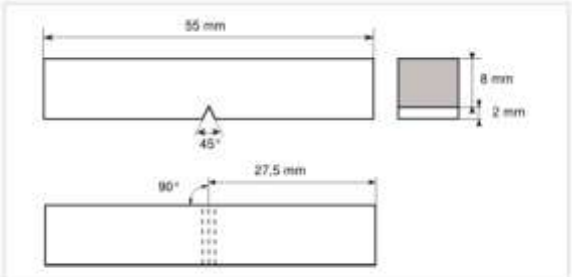
Sur le dessin de définition de la trompette à l'état brut (**DT-4**) *se trouvaient les caractéristiques mécaniques à contrôler.*
Ces essais mécaniques strandards permettront d'établir un certificat de conformité matière.

- *Essais de traction sur éprouvettes extraites dans le sens long et travers (suivant les indications issues de* **DT-4***). Résistance mécanique à la rupture Rm comprise entre 900 et 1160 MPa, Résistance élastique pour un allongement de 0,2% ; $Rp_{0.2}$>830 MPa, Allongement à la rupture A%>10% (sens long) et >8% (sens travers).*
- *Essais de dureté Brinell HB compris entre 260 et 360 HB. Mesure de l'empreinte d'une bille (diamètre ou profondeur) sous une charge connue.*
- *$E = \sigma / \varepsilon$; module de Young ou d'élasticité longitudinal, représenté graphiquement par la pente de la droite dans le domaine élastique (voir* **DR-B13***).*
- *Essais de résilience KCU >25 (sens long) et 20 (sens travers). Cet essai caractérise la ténacité d'un matériau (résistance au choc)et s'effectue au mouton de Charpy qui permet de mesurer l'énergie nécessaire pour rompre une éprouvette munie d'une amorce de rupture en forme de U dans notre cas. L'éprouvette peut présenter aussi une entaille en forme de Vé (KCV).*

Il est à noter que certains essais sont faits dans les sens long et travers pour vérifier l'anisotropie du matériau.

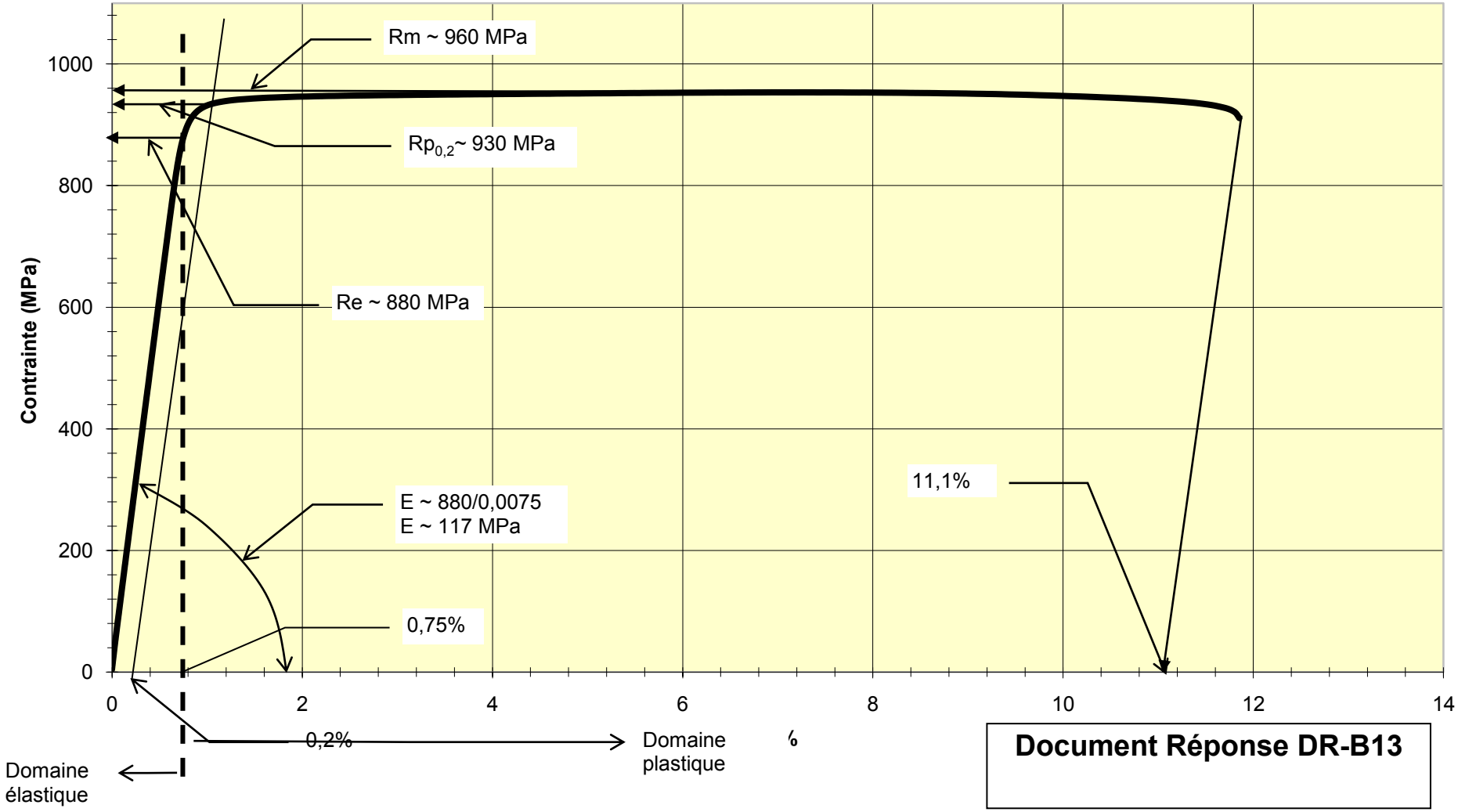


Représentation du mouton-pendule et des hauteur à prendre en compte pour le calcul de l'énergie absorbée



Dimensions et forme de l'éprouvette Charpy en V

Courbe de traction de l'alliage de titane Ti6Al4V phase β



Document Réponse DR-B13

B.1.3 À partir de la courbe du Document Réponse **DR-B13** issue d'un essai de traction d'une éprouvette extraite dans le sens long de la carotte, vérifier si les caractéristiques mécaniques concernées du cahier des charges sont bien respectées.
Mettre en place les domaines élastique et plastique, ainsi que le module de Young E.

Voir Document **DR-B13** *joint.*

B.2 – Etude de la phase 30 : Tournage de deux portées de lunette (Φ166 et Φ132,5)
La phase 30, détaillée sur le Document Technique **DT-9**, correspond principalement à la préparation en tournage CN de deux portées de lunette de Φ166 et Φ132,5.

B.2.1 Détailler technologiquement ce qu'est une lunette et indiquer son rôle dans la suite de la gamme opératoire.

Il s'agit d'un dispositif utilisé dans le cas de l'usinage de pièces longues afin de compenser les défauts liés à la flexion ou au porte à faux de la pièce. Les lunettes peuvent être fixes (notre cas) ou à suivre (cas de pièces très longues et sans variation de diamètre). Cet accessoire est fixé sur le bâti ou le chariot du tour respectivement fixe ou à suivre. La mise en position correspond à une liaison linéaire annulaire (centrage court). Elle est utilisée en phase 40 et est visible sur le Document **DRS-B6$_{1,2}$**.

B.2.2 Indiquer les degrés de liberté éliminés par chacun des éléments technologiques représentant la mise en position de la pièce. Prendre en considération la base orthonormée affichée.

Elément technologique	***Degrés de liberté éliminés***	
Mandrin 3 mors de forme	*Linéaire annulaire sur diamètre de carottage de 100 mm : T_X et T_Y*	*Liaison rotule à doigt*
	Butée T_Z sur B_1	
	Entraînement par adhérence R_Z	
Contre pointe tournante sur cimblot	*R_X et R_Y*	*Liaison annulaire*

B.3 – Etude de la phase 40 : Tournage ébauche du profil 2
L'objet de la question concerne l'optimisation de cette opération d'ébauche (détaillée sur le Document Technique **DT-10**) qui correspond, pour le processus, à celle présentant le plus fort taux d'enlèvement de matière.

B.3.1 Indiquer les degrés de liberté éliminés par chacun des éléments technologiques représentant la mise en position de la pièce. Prendre en considération la base orthonormée affichée.

Elément technologique	***Degrés de liberté éliminés***	
Mandrin 3 mors doux	*Linéaire annulaire sur diamètre extérieur 166 mm : T_X et T_Y*	*Liaison rotule à doigt*
	Butée T_Z	

	Entraînement par adhérence R_Z	
Lunette fixe	*R_X et R_Y*	*Liaison annulaire*

B.3.2 Indiquer pour quelles raisons, toutes les phases du processus d'usinage de la trompette de liaison sont toujours réalisées avec des conditions de lubrification intense à l'huile soluble.

Un des rôles de la lubrification est d'évacuer les copeaux et de nettoyer la zone de travail.
Pour information, dans notre cas la pièce forgée pèse 27,2 kg, après carottage 12,6 kg et en fin d'usinage 1,8 kg. Ce qui représente environ 5640 cm^3 de matière. Dans le secteur aéronautique, nous parlons du ratio "By to fly", c'est-à-dire la masse de matière en vol par rapport à celle au départ de la fabrication. Pour notre étude de cas, ce ratio vaut : 1,8/27,2 soit 6,6 %.
La lubrification a aussi pour rôle d'évacuer les calories et en conséquence améliorer la durée de vie des outils de coupe et éviter d'affecter thermiquement l'intégrité de la surface de la pièce. N'oublions pas que cet alliage de titane est réfractaire et est caractérisé parmi les familles de matériaux à usinabilité difficile.
Enfin et c'est la raison principale, les copeaux de titane sont inflammables et par sécurité, il est obligatoire de lubrifier pour ne pas prendre le risque d'un incendie de la machine-outil.

B.3.3 A partir des données indiquées sur le Document Technique **DT-10**, qui correspondent aux données actuelles de l'entreprise de sous-traitance, calculer le temps d'usinage de la phase 40.

Le temps d'usinage pouvait être vu comme le temps de coupe (copeau) ou le temps de cycle. En fonction des hypothèses des candidats, les deux solutions ont été retenues.
Ici, la correction mentionnera uniquement le temps de coupe. Pour le temps de cycle, il est nécessaire d'inclure les temps d'entrée et de sortie matière, ainsi que les temps de retour rapide à vide. Les temps d'accélération et de décélération sont aussi à prendre en compte. Cependant, aucune information ne le permettait ici.

La solution la plus simple consistait à évaluer le volume de copeau à enlever et ensuite calculer le débit matière en fonction des données indiquées sur le Document Technique **DT-10**.

<u>Solution 1 :</u>

Volume matière à enlever $V = \frac{\pi}{4}\left[\left(11{,}4^2 - 10^2\right)\times 38 + \left(11{,}9^2 - 10^2\right)\times 8{,}4\right] = 1168\ cm^3$

Les 84 mm venant de la longueur totale de la pièce soit 464 mm (**DT-4**) *– 380 mm* (**DT-10**).

Le débit copeau Q vaut : $V_c \times f \times a_p$ *soit numériquement* $40 \times 0{,}3 \times 2{,}5 = 30\ cm^3/min$

D'où le temps de coupe pur qui vaut : $V/Q = 38{,}9\ min$

<u>Solution 2 :</u>
Le calcul du temps se fait passe par passe.
Le calcul de N se fait sur le diamètre usiné.

Longueur L	*Diamètre usiné*	*Vf (mm/min)*	*N (tr/min)*	*T=L/Vf (min)*
464	*105*	*36,3*	*121*	*12,78*

464	*110*	*34,5*	*115*	*13,44*
464	*115*	*33*	*110*	*14*
464-380 = 84	*119*	*32*	*107*	*2,62*
			Temps total	*42,84 min*

En faisant le calcul de N sur le diamètre moyen, le temps total vaudrait 41,7 min.
Un temps approximatif de 40 minutes à 10% près était considéré comme bon.

B.3.4 Suite à une augmentation de charge, le sous-traitant décide d'améliorer sa technologie d'usinage. Il fait appel à un laboratoire d'essais qui lui propose de changer de matériau usinant en passant d'une plaquette carbure à une plaquette diamant monocristallin (MCD).
Les résultats des expérimentations menées en laboratoire sont détaillés sur les Documents Ressources **DRS-B34$_{1, 2, 3}$**.
D'après vous, le passage à l'outil diamant serait-il plus productif que l'outil carbure ? Commenter votre réponse.

Trois Documents Ressources **DRS-B34$_{1,2,3}$** *étaient fournis, correspondant chacun à l'évolution de l'effort spécifique de coupe en fonction des paramètres opératoires.*

Deux solutions ont été retenues :
<u>Solution 1 :</u>
L'objectif de l'ébauche étant le débit maximal, nous considérerons tous les paramètres à leur maximum. C'est-à-dire que sur les courbes nous relevons :

- V_c *max = 275 m/min*
- *f max = 0,3 mm/tr*
- a_p *max = 0,5 mm*

Soit un débit copeau Q qui vaut numériquement $275 \times 0,3 \times 0,5 = 41,25\ cm^3 / min$
D'où un temps de coupe de 28,3 min, représentant un gain de 10,58 min. Dans ce cas l'usinage à l'outil diamant se révélera plus productif.

<u>Solution 2 :</u>
Cela consistait à choisir sur les courbes, les valeurs des paramètres opératoires qui minimisaient l'effort spécifique de coupe, soient :

- V_c *max = 200 m/min*
- *f max = 0,3 mm/tr*
- a_p *max = 0,3 mm*

Soit un débit copeau Q qui vaut numériquement $200 \times 0,3 \times 0,3 = 18\ cm^3 / min$
D'où un temps de coupe de 64,88 min, représentant une perte de 26 min. Dans ce cas l'usinage à l'outil diamant n'est plus productif.

Le choix de la solution 1 ou 2 par rapport à l'outil carbure ne pourra se faire que par une optimisation plus précise qui dépendra du coût d'une arête de coupe, de la durée de vie de l'arête et du coût horaire d'usinage.
Cependant au regard du Document Ressources **DRS-B45***, nous pourrions présager que l'effet de la vitesse de coupe n'est pas le paramètre le plus pénalisant pour la durée de vie, ce qui en conséquence mettrait en avant la solution 1.*
A ce stade, sans une étude d'optimisation plus poussée nous ne pouvons pas dire quelle serait la solution la plus économique.

B.4 – Etude de la phase 140 : Tournage ½ finition et finition du profil 1 en tirant et en poussant

B.4.1 A partir des indications du Document Technique **DT-11**, expliquer pourquoi une des opérations s'effectue-t-elle toujours à l'outil carbure ?

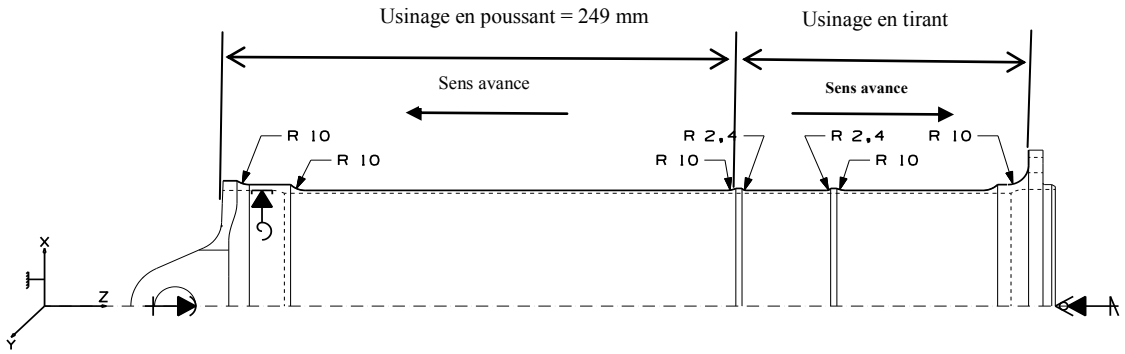
Sur le Document Technique **DT-11***, la plaquette carbure est utilisée pour la première opération qui s'intéresse au contournage finition extérieur des deux oreilles. La coupe est à ce moment là, discontinue et il est donc préférable d'utiliser une matière de plaquette résiliente pour mieux résister aux chocs. C'est le cas du carbure par rapport au diamant qui est très fragile. D'autre part la vitesse de coupe étant plus importante lors de l'utilisation d'un outil diamant, le risque de générer des vibrations sera plus grand lors de l'usinage de cette partie de pièce.*

B.4.2 Expliquer ce que signifie "en tirant et en poussant". A l'aide du Document Ressources **DRS-B42**, faire le choix du (des) porte-plaquettes dans le cas des opérations de ½ finition et de finition à l'outil diamant.

<u>L'usinage en poussant</u> : mouvement d'avance en direction des mors ($\vec{V}_f.\vec{Z}\langle 0$)

<u>L'usinage en tirant</u> : mouvement d'avance en direction de la contre pointe ($\vec{V}_f.\vec{Z}\rangle 0$)

Choisir un porte-plaquette à gauche pour l'usinage en poussant et à droite pour l'usinage en tirant.
Choisir le χ_r le plus proche de 90° pour limiter les efforts radiaux car la pièce est déformable.
Faire attention au χ'_r pour la descente afin d'éviter le risque de talonnage au niveau de R10.
L'angle limite de talonnage dans le pire des cas est de 46,36°. En conclusion il faut choisir une plaquette montée sur un porte-plaquette qui nous donne un angle χ'_r supérieur à cette valeur. Seulement des plaquettes de type V conviennent.



<u>Choix outil</u> :
Le rayon de 2,4 mm impose un rayon de plaquette inférieur. Les plaquettes diamant VCMW 16 04 04 choisies en phase 140 ont un rayon de plaquette de 0,4 mm et un angle de pointe de 35°. Pas de problème.
La remontée de la face à droite impose un angle de direction d'arête χ_r supérieur à 90°.
En poussant, 3 porte-outils sont possibles : SVVBN, SVJBL, SVHBL
En tirant, 2 porte-outils sont possibles : SVJBR, SVHBR

En conclusion, notre choix se portera plutôt sur le SVJBR et SBJBL, car le χ_r est le plus proche de 90 °.

B.4.3 A l'aide du Document Ressources **DRS-B42** et dans un but de rationalisation des outils de coupe, indiquer s'il est possible d'effectuer l'ensemble des opérations en poussant. Argumenter votre réponse.

Notre choix se porte sur une plaquette de profilage ronde dont le rayon de pointe doit être inférieur à 2.4 mm (plaquette de profilage N151.2-400-40 F-P) qui sera montée sur un porte-outil de type SRDCN. Celle-ci est aussi beaucoup plus robuste qu'une plaquette type V et en conséquence la partie usinage au choc pourrait être aussi envisagée. Attention ce type de plaquette entraîne des efforts radiaux plus importants. La faisabilité par rapport à l'épaisseur de 1.5 mm doit être vérifiée.

B.4.4 Lors de cette phase d'usinage, la pièce arrive à son épaisseur finale, soit 1,5 mm sur la longueur du fût.
Indiquer les problèmes engendrés par l'usinage d'une telle pièce et les conditions à imposer pour les minimiser.
D'une manière littérale, expliquer la démarche pour calculer le couple transmissible par le mandrin expansible.

Un mandrin expansible enveloppant est utilisé afin de minimiser la triangulation de la pièce liée au contact des mors sur une paroi sensible à la déformation. En conséquence l'effort de serrage devra être contrôlé pour ne pas déformer la pièce, impliquant un calcul de la pression maximale à ne pas dépasser et autant que possible constante sur toute la périphérie du mandrin. Ce calcul peut s'effectuer en vérifiant que la contrainte de Von Mises ne soit pas dépassée. Aussi, il faudra tenir compte de l'effort centrifuge appliqué sur les mors (serrage dynamique) qui participera à serrer d'avantage la pièce (donc la déformer davantage) lors de sa rotation à moins que le mandrin ne soit compensé en force centrifuge.

L'entrainement est réalisé par un locating placé dans l'alésage recevant les bagues de réparation. Ce locating permet d'assurer un couple transmissible qui doit être supérieur au couple à la coupe. Il faudra donc vérifier que la pression maximale de contact entre le locating et l'alésage reste inférieure à la pression de matage pour ne pas endommager la surface qui devra recevoir la bague par frettage.

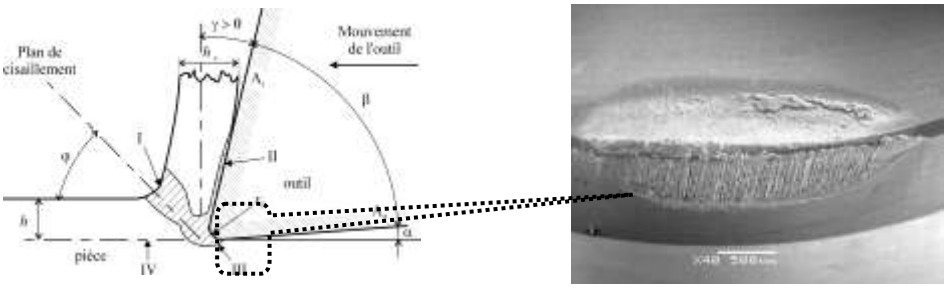
Le couple dû à la coupe peut être évalué à l'aide de la courbe expérimentale du Document Ressource **DRS-B34 2**.
C'est en ½ finition que le couple sera la plus important soit $C_c = K_c.a_p.f.R_u$
Avec R_u*, rayon usiné maxi = 82 mm en haut de la face et* $K_c = 1430.f^{-0,23}$
L'estimation du couple de coupe maximal vaut $C_c = 1430.(0,25)^{1-0,23}.0,5.82.10^{-3} = 20$ *Nm.*

Afin de minimiser la déformation radiale et du fait que la pièce ne soit maintenue que sur ses extrémités, une forme de tonneau peut apparaître. La minimisation se fera comme il a été vu par le choix d'un angle de direction d'arête le plus proche de 90° et la réduction des sections coupées.

B.4.5 Deux essais d'usure ont été réalisés : un premier essai dans les mêmes conditions que l'opération de ½ finition ; un second avec les conditions de finition (Document Ressources **DRS-B45**).

Expliquer par un schéma ce qu'est une usure en dépouille. Quelles sont les conséquences de cette usure sur la pièce. Commenter les courbes issues des essais.

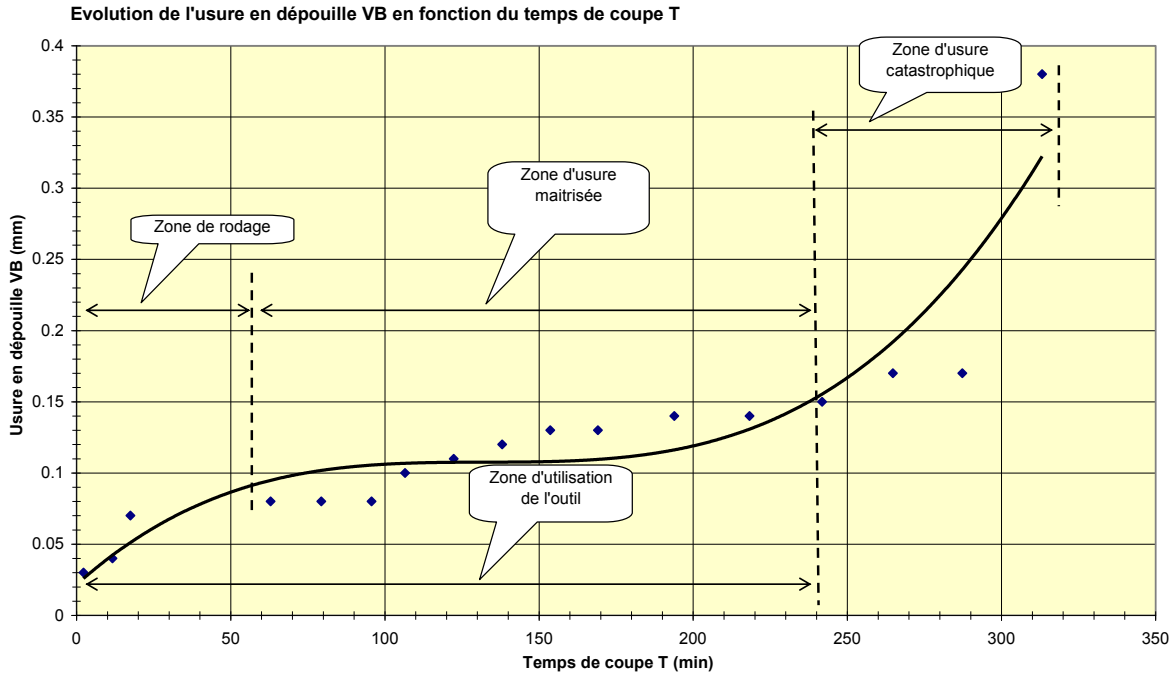
L'usure en dépouille, comme son nom l'indique, se situe sur la face de dépouille de l'outil (celle qui regarde la surface usinée). Cette usure correspond au frottement localisé au niveau de l'arête entre la pièce et la face de dépouille qui va engendrer une facette de hauteur pouvant être variable notée VB (voir norme). Cette usure conduira à une modification locale de l'angle de dépouille et en conséquence entraînera une dégradation de l'état de surface, un accroissement des efforts de coupe et un échauffement plus important. Cette usure s'accompagne d'un recul d'arête qui vaut $V_B.\tan\alpha$, modifiant d'autant la valeur de la cote au rayon.



Une courbe d'usure en dépouille est souvent divisée en trois zones caractéristiques :

- *Une zone de rodage de l'arête de l'outil ;*
- *Une zone d'usure maitrisée (évolution quasi linéaire) ;*
- *Une zone d'usure dite catastrophique où l'usure croit exponentiellement.*

Cette dernière zone est à éviter car l'usure est non maitrisée et elle permet souvent de fixer le motif d'usure maximal retenu (ici VB=0,15 mm).*



B.4.6 À partir des courbes d'usure, calculer le nombre de pièces usinées entre deux changements de plaquette. Argumenter votre raisonnement.
Hypothèses :

- le même outil sera utilisé physiquement pour les opérations de ½ finition et de finition ;
- les usures en dépouille provoquées par les passes de ½ finition et celles de finition sont cumulatives ;
- l'étude sera conduite sur le travail en poussant, en considérant le départ de l'outil juste après la saillie de Φ 122,5 de gauche.

La longueur usinée vaut approximativement 249 mm.
En ½ finition deux passes sont prises et une seule en finition.
La solution pouvait être traitée graphiquement à l'aide du Document Ressources **DRS-B45** *ou par le calcul à l'aide des équations des courbes de tendance indiquées sur ce même document.*
Solution par le calcul :
Trouver le nombre de pièces usinées tel que : $\sum V_B(1/2f) + \sum V_B(f) \leq V_B$ *

$$\text{Soit : } \begin{bmatrix} 10^{-7}(n.t_{1/2f})^3 - 3.10^{-5}(n.t_{1/2f})^2 \\ +0{,}0034(n.t_{1/2f}) + 0{,}018 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 4.10^{-8}(n.t_f)^3 - 10^{-5}(n.t_f)^2 \\ +0{,}0019(n.t_f) + 0{,}026 \end{bmatrix} \leq VB^*(0{,}15)$$

$$\text{Avec } t_{1/2f} = L.\pi.\left(\frac{D_1 + D_2}{f_{1/2f}.V_{c(1/2\ finition)}}\right) \text{ et } t_f = L.\pi.\left(\frac{D_3}{f_f.V_{c\ (finition)}}\right)$$

AN : avec $D_1 = 121{,}6$ *mm ;* $D_2 = 120{,}6$ *mm ;* $D_3 = 120$ *mm et* $n =$ *le nombre de pièces*
Cette hypothèse est prise sachant que l'usinage se fait à vitesse de coupe constante, mais la longueur de 249 mm s'effectue en grande partie sur D_3*, justifiant notre choix de prendre en considération ce diamètre.*
$t_{1/2f} = 5{,}41$ *min et* $t_f = 3{,}12$ *min*

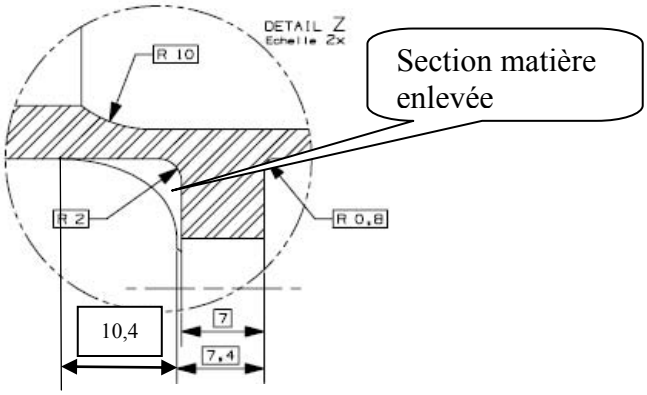
Nous avons à résoudre l'équation du $3^{ème}$ *degré de la forme :* $A.n^3 + B.n^2 + C.n + D = VB^*$
Après résolution, n est égale à 6 pièces.

nb pièces (n)	VB atteint
1	0.05
2	0.07
3	0.09
4	0.11
5	0.13
6	0.15 (VB*)
7	0.16
8	0.18
9	0.19
10	0.20

B.5 – Etude de la phase 100 : Fraisage des 9 lamages R 40
Lors de cette phase nous nous intéresserons uniquement au fraisage des 9 lamages de rayon 40 mm (Document Technique **DT-12**). L'outil utilisé est une fraise 3 tailles équipée de 6 cassettes réglables axialement comme l'indique le Document

Ressources **DRS-B42**, montées alternativement à droite et à gauche. Les plaquettes carbure montées ont un rayon r_ε de 2 mm et sont de nuance adéquate pour cet alliage de titane. Le lamage se fait en plongée radiale.

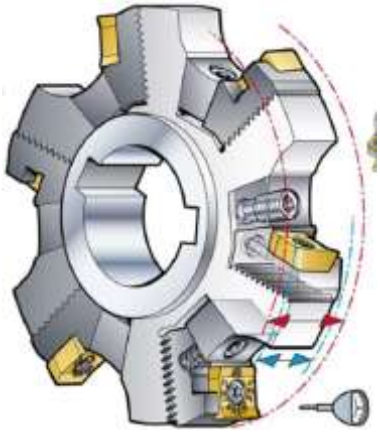
B.5.1 À l'aide du détail Z du Document Technique **DT-3**, représenter la forme de la section de matière enlevée (reproduire sur copie les éléments du détail Z nécessaires pour répondre).

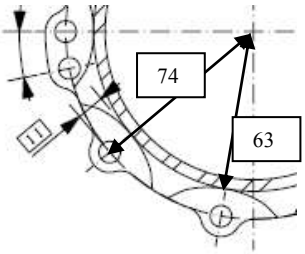


B.5.2 Calculer la largeur de réglage minimale de la fraise correspondant à la profondeur de passe axiale a_p.

Comme il est montré sur le schéma ci-dessus, la largeur minimale de la fraise doit être d'au moins 10,4 mm. En conséquence le réglage latéral des dents de la fraise devra être ajusté à une dimension permettant un léger recouvrement.

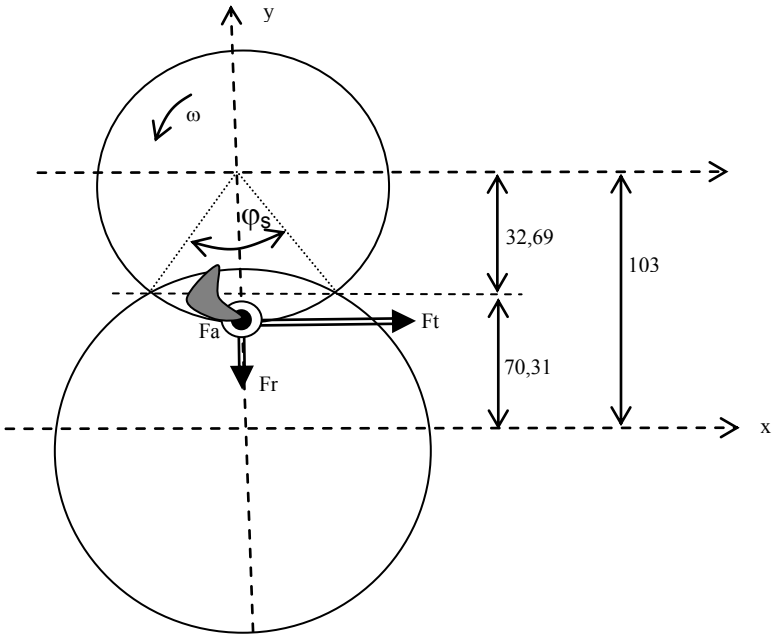
B.5.3 Choisir à l'aide du Document Ressources **DRS-B42**, la référence de fraise qui convient. Justifier votre choix.





Compte tenu de l'information de la question **B.5.2**, *il faut choisir une fraise dont la largeur de coupe est comprise entre 10 et 12 mm.*
Le rayon des encoches étant de 40 mm, un diamètre de 80 mm s'impose, impliquant un nombre de dents égal à 6.
Par la suite plusieurs choix sont possibles en fonction du type d'attachement et de la profondeur d'usinage radiale a_e (notée a_r sur le Document Ressources **DRS-B42***).*
Soit a_e = 74-63+rayon bossage = 19 mm
Par précaution il est préférable de choisir la valeur proposée maximale soit 20 mm.
Le rayon de plaquette doit être de 2 mm comme indiqué sur le détail Z.
<u>D'où le choix final de la référence</u> : R331-32-080Q27EM12.2

B.5.4 Déterminer le nombre maximal de dents en contact. Commenter votre réponse.



Le nombre maximal de dents en contact se situe lorsque la plongée est terminée. C'est à ce moment que l'arc de contact est le plus grand.
Le nombre de dents en contact est égal à $(Z/360°)\times\varphi_s \geq 1$
L'angle d'engagement φ_s *peut être calculé numériquement ou à l'aide d'un rapporteur.*
Numériquement, il suffisait d'écrire que :

$$(1) : x^2 + y^2 = 74^2$$

$$(2) : x^2 + (y - 103)^2 = 40^2$$

$$de\,(1), y^2 = 74^2 - x^2$$

$$Injecté\,dans\,(2), nous\,trouvons\,que\; y = 70{,}31\,mm$$

$$D'où\,l'angle\,\varphi_s = 2\,Arcos(\frac{32{,}69}{40}) = 70{,}38°$$

Donc le nombre maximal de dents en contact est égal à 1,17 soit 2 dents par moment.
Si cette valeur est inférieure à 1, alors il n'y a pas continuité de coupe et en conséquence des vibrations pourraient apparaître.
Cependant cette continuité n'est pas assurée tout le long de la plongée de la fraise.

B.5.5 Représenter la fraise en position dans la pièce lorsque la section de copeau est maximale et placer les composantes (F_t, F_r et F_a) de l'action mécanique de la fraise sur la pièce.

Les actions mécaniques sont mises en place sur le schéma ci-dessus.
Il est à noter que le sens de l'effort axial dépendra du sens de l'angle d'inclinaison des plaquettes (λ_s). *A la question suivante la coupe est considérée quasi orthogonale ce qui implique un angle d'inclinaison* (λ_s) *équivalent à zéro, et donc un effort axial nul.*

B.5.6 En considérant que la coupe est quasi orthogonale lors de la plongée de la fraise, la relation de coupe ci-dessous est validée pour le couple carbure/titane.

$$F_t = \left[k_{t1} \times (f_z - f_{z0}) + k_{t2}\right] \times a_p$$

$$avec k_{t1} = 1100 MPa,\ k_{t2} = 100 N.mm^{-1},\ f_{z0} = 0.05 mm.dent^{-1}.tr^{-1}$$

Déterminer le couple que doit encaisser les éléments technologiques du maintien et de mise en position de la pièce.

Ce couple maximal à la coupe sera supporté par le locating placé sur l'alésage de diamètre 20H7 qui à ce stade de la gamme ne vaut que 19H7. Le couple à la coupe C_c est de la forme :

$$C_c = F_t.R_u = \left[k_{t1} \times (f_z - f_{z0}) + k_{t2}\right] \times a_p.R_u$$

$$avec :$$

$$11\,mm \le a_p \le 12\,mm$$

$$R_u = 63\,mm$$

$$f_z = 0{,}05\,mm/tr/dent$$

$$AN : 65{,}52 \le C_c\ (mN) \le 75{,}6$$

Par sécurité, le calcul final de dimensionnement du locating se fera avec la valeur maximale obtenue majorée par un coefficient de sécurité. Remarquez qu'il n'est pas nécessaire de calculer la condition de non matage sur la surface d'appui de la pièce car à ce stade le diamètre sur lequel s'appuie le locating vaut 19H7, la dimension finale étant 20H7.

B.6 – Simplification de la gamme opératoire

Lors des essais d'usure effectués, il a été observé des écaillages prématurés des outils diamant suite à un manque de rigidité du tour CN en place. En conséquence, le sous traitant décide d'investir dans un centre de tournage/fraisage multiaxes bi-broches Mazak Integrex 400-S équipé d'une broche de fraisage permettant de monter des porte-outils à manche Capto de fraisage et de tournage. De plus, l'aspect multiaxes de cette machine équipée d'une lunette pilotée numériquement permettrait d'associer des phases d'usinage. Les caractéristiques de cette nouvelle machine sont présentées dans le Document Ressources **DRS-B6.**

B.6.1 Quels intérêts techniques présentent ce centre de tournage/fraisage dans le cas de la production des trompettes de liaison ?

Cette typologie de machine outil multi-axes permet de combiner à la fois des opérations de tournage, de fraisage, de perçage… A l'aide des éléments technologiques tels que la lunette pilotée numériquement, la broche de reprise, l'ensemble de la gamme est réalisable sur la même machine. L'utilisation synchronisée des deux broches et le pilotage de la lunette permettront de réduire les déformations de la pièce (position de la lunette en opposition à l'action de coupe).
Cela conduira à une réduction importante du nombre de phases d'usinage entraînant une réduction des prises de pièces. Ceci permettra d'améliorer la qualité géométrique globale de la pièce. Inévitablement le temps d'usinage diminuera, limitant ainsi les en cours.
De multiples solutions de nouvelles gammes de fabrication sont envisageables avec ces moyens modernes de fabrication.
De plus, un seul opérateur plus compétent est nécessaire.

PARTIE C – CONTRÔLE ET FRETTAGE

C.1 – Contrôle

Cette étude se situe dans une démarche de mesure et de contrôle réception de produit fini. On s'intéresse à la mise en œuvre sur machine à mesurer tridimensionnelle du contrôle de la spécification :

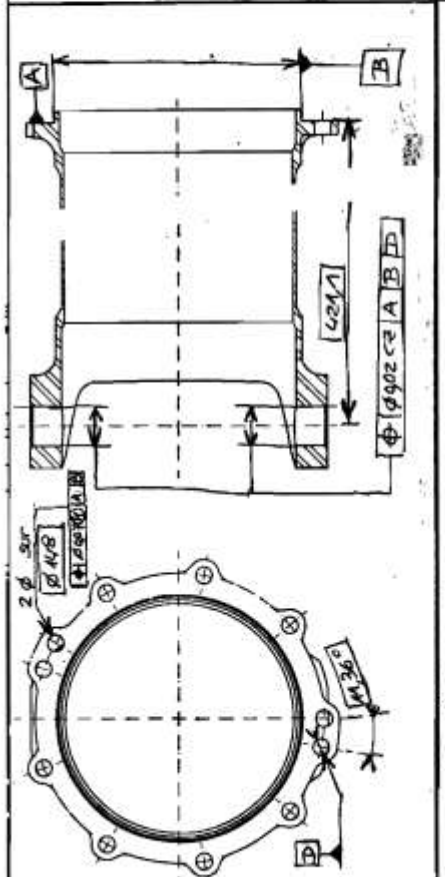
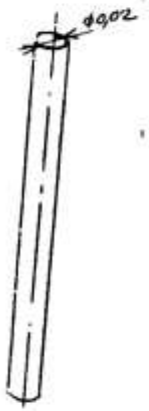
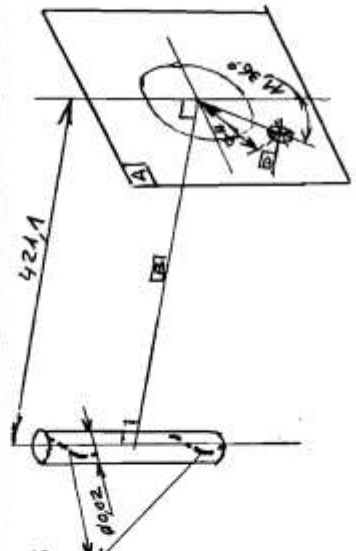
⌖	ø 0,02 CZ	A	B	D

C.1.1 Sur le Document Réponse **DR-C11**, analyser et interpréter cette spécification.
L'analyse mettra en évidence l'(les) élément(s) tolérancé(s), l'(les) élément(s) de référence(s), la(les) référence(s) spécifiée(s) et la(les) zone(s) de tolérance. Pour chacun de ces éléments, préciser éventuellement la nature, la forme, la(les) dimension(s), la situation et les critères d'association.

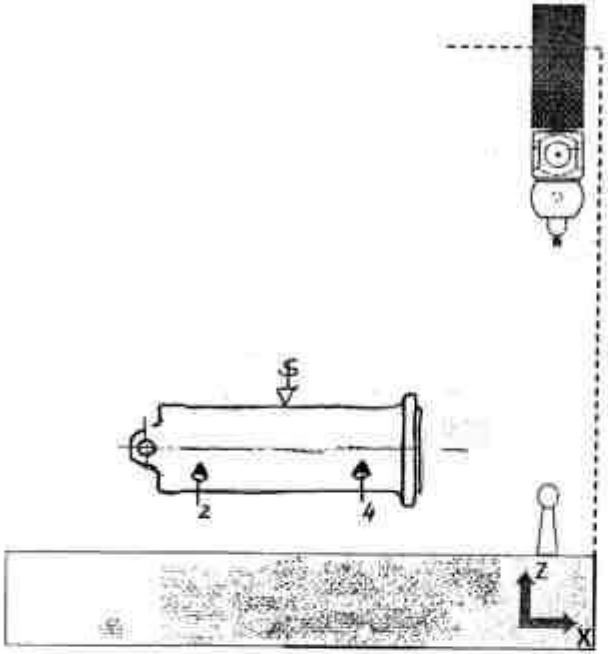
C.1.2 Pour contrôler cette spécification, on utilise la machine à mesurer tridimensionnelle schématisée sur le Document Réponse **DR-C12**. Sur ce document, définir, sous forme d'un schéma, la mise en position de la pièce sur la machine et son maintien en position (si nécessaire).

C.1.3. Sur le Document Réponse **DR-C13$_1$**, proposer une gamme de mesurage.
Cette gamme définira les éléments palpés, les éléments construits et leur mode de construction, les repères éventuels (dégauchissages) et leur mode de construction et les critères d'acceptabilité :

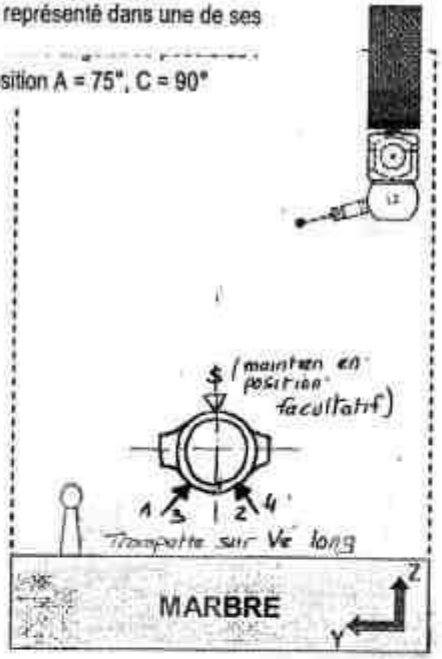
- sur le Document Réponse **DR-C13$_2$**, prendre soin de repérer les éléments définis précédemment ;
- sur le Document Réponse **DR-C13$_3$**, définir le nombre de palpeurs utilisés et, pour chacun, son orientation et sa configuration ;
- proposer une structure rigoureuse et claire de la chronologie des opérations ;
- si nécessaire, indiquer des commentaires en liaison avec l'analyse de la spécification et la pièce.

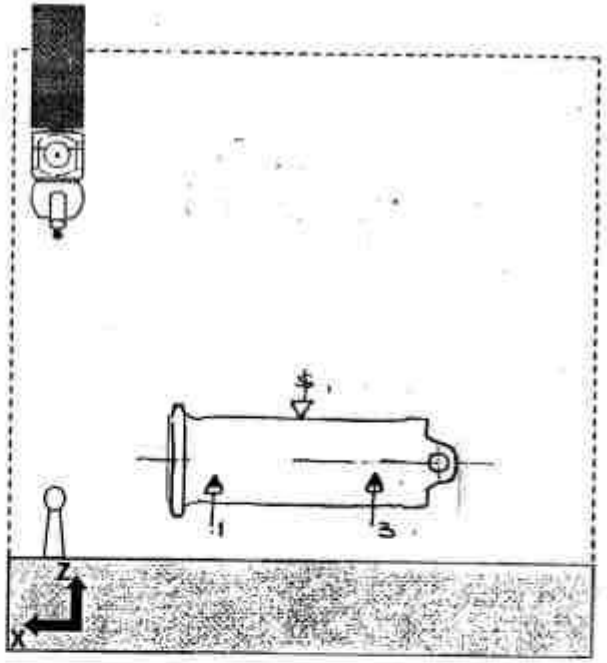
TOLÉRANCEMENT NORMALISÉ	Analyse d'une spécification par zone de tolérance				
Symbole de la spécification : ⌖	**Éléments non idéaux** extraits du « Skin Modèle »		**Éléments idéaux**		
Type de spécification : ~~Forme~~ Orientation Position ~~Battement~~ ……LOCALISATION……	Élément(s) tolérancé(s)	Élément(s) de référence	Références spécifiées	Zone de tolérance	
Condition de conformité L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance	~~Unique~~ groupe	~~Unique~~ multiples	~~simple~~ ~~commune~~ système	simple ~~composée~~	**Contraintes** orientation et/ou position par rapport à la référence spécifiée
	Axes réels de 2 surfaces réputées cylindriques.	- Surface nominalement plane repérée A. - Surface nominalement cylindrique repérée B - Surface nominalement cylindrique repérée D	Référence primaire : Plan A associé à la surface repérée par le critère des moindres carrés et contraint tangent du côté libre matière Référence secondaire : Droite B ⊥ Plan A Droite B axe du plus petit cylindre (⊥ Plan A) tangent, du côté libre de la matière, à l'élément de référence. Référence tertiaire : Droite D ⊥ Plan A Droite D axe du plus grand cylindre (⊥ Plan A) tangent à l'élément de référence du côté libre de la matière. Droite D distante de 148/2 de la droite B	 1 cylindre de ⌀ 0,02 car indication CZ (Zone commune de tolérance au groupe d'éléments tolérancés).	 Les axes réels doivent se trouver à l'intérieur de la zone de tolérance

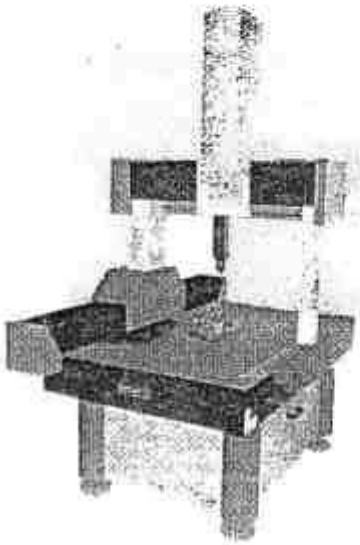
Document Réponse DR-C11



Palpeur représenté dans une de ses position A = 75°, C = 90°

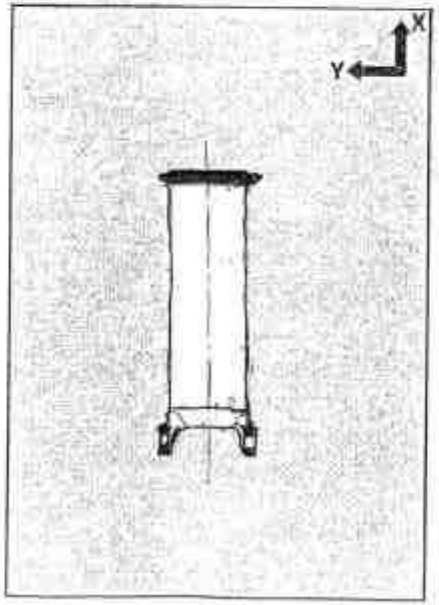






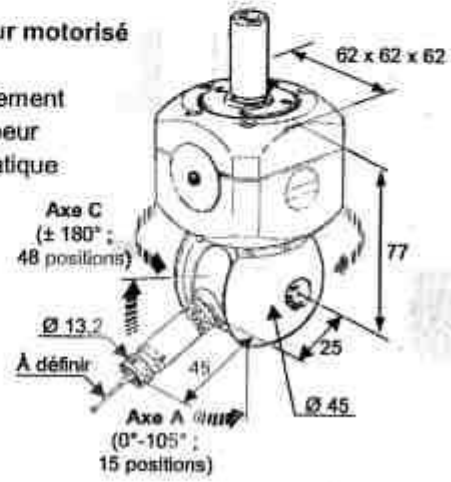
Machine à mesurer tridimensionnelle

Courses :
- suivant X = 1000 mm
- suivant Y = 700 mm
- suivant Z = 500 mm



Capteur motorisé

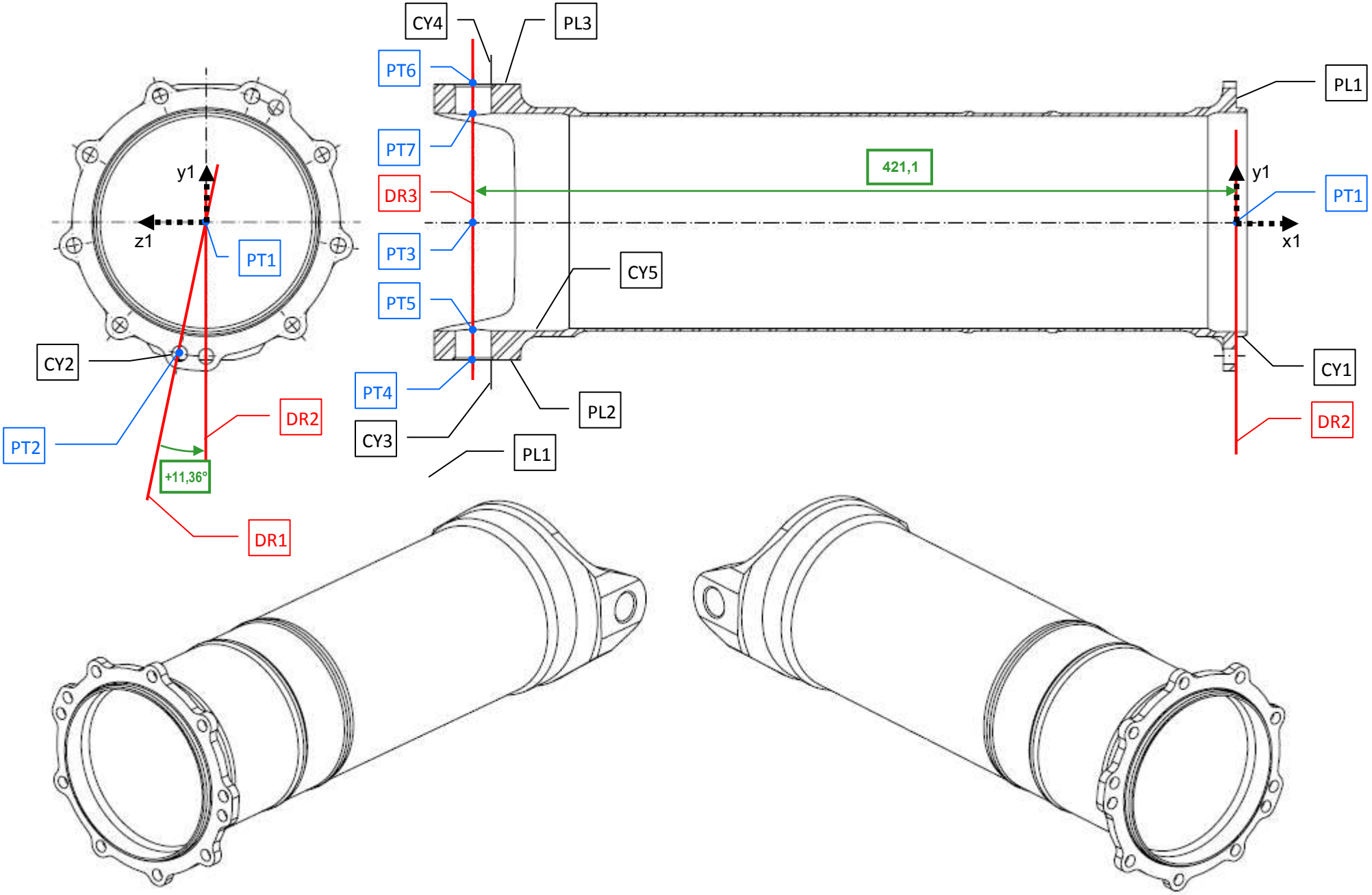
Changement de palpeur automatique



Document Réponse DR-C12

GAMME DE MESURAGE SUR MMT

N° Op	N° palpeur	Opération de mesure	Repère élément palpé	Opération de construction ou de calcul. Contraintes	Repère élément construit
1	3	Palper plan	PL1		
2	3	Palper cylindre (contraint ⊥ PL1)	CY1		
3	3	Palper cylindre (contraint ⊥ PL1)	CY2		
4				Intersection PL1, axe de CY1	PT1
5				Intersection PL1, axe de CY2	PT2
6				Droite passant par PT1, PT2	DR1
7				Droite dans PL1, d'angle +11,36° avec DR1	DR2
8				Repère (origine PT1 ; x1 ⊥ PL1 ; y1 // DR2)	R1
9				Dans le repère R1, point (- 421,1 ; 0 ; 0)	PT3
10				Dans le repère R1, droite (PT3 ; z1)	DR3
11	2	Palper cylindre	CY3		
12	2	Palper plan	PL2		
13	4	Palper cylindre	CY4		
14	4	Palper plan	PL3		
15	1	Palper cylindre	CY5		
16				Intersection PL2, axe de CY3	PT4
17				La plus proche intersection (CY5, axe de CY3) de PT4	PT5
18				Intersection PL3, axe de CY4	PT6
19				La plus proche intersection (CY5, axe de CY4) de PT6	PT7
				Contrainte : distance PT4, DR3 ≤ 0,01 **Contrainte : distance PT5, DR3 ≤ 0,01** **Contrainte : distance PT6, DR3 ≤ 0,01** **Contrainte : distance PT7, DR3 ≤ 0,01**	



Document Reponse DR-C13₂

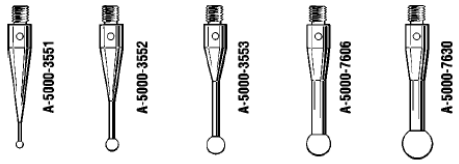
CONFIGURATION DU (DES) PALPEUR(S) (à compléter)				
N° palpeur	Composition du palpeur		Orientation du palpeur	
	Allonge *(SEx)*	Stylet *(PS-xxR)*	Angle / axe A	Angle / axe C
1	néant	PS1-13R	90°	0°
2	néant	PS1-13R	90°	90°
3	néant	PS1-13R	90°	180°
4	néant	PS1-13R	90°	270°
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				

(si nécessaire, prolonger ce tableau sur feuille de copie)

Remarque : à chaque combinaison utile [composition – orientation] du palpeur différente est associé un numéro de palpeur différent.

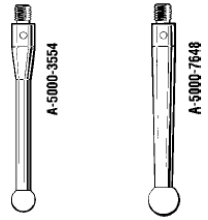
Stylets filetage M3

Stylets bille rubis (tige acier)
Longueur 21 mm

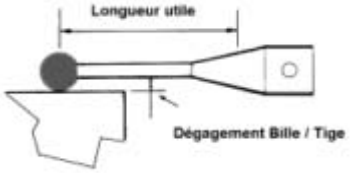


Ø Bille en mm	Longueur utile	Poids en gr.	Référence	Numéro PS
1	4	1	A-5000-3551	PS1-9R
2	8	1	A-5000-3552	PS1-10R
3	12	1	A-5000-3553	PS1-11R
4	17	1,3	A-5000-7606	PS1-12R
5	21	1,5	A-5000-7630	PS1-13R

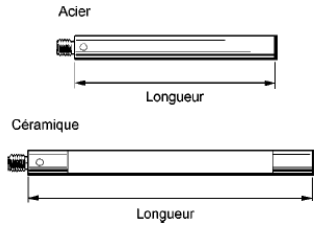
Stylets bille rubis (tige acier)
Longueur 31 mm



Ø Bille en mm	Longueur utile	Poids en gr.	Référence	Numéro PS
4	27	2,5	A-5000-3554	PS1-1R
5	31	3	A-5000-7648	PS1-14R



Allonges pour stylets M3



Longueur en mm	Poids en gr.	Matière	Référence	Numéro SE
10	0,9	Acier	M-5000-7633	SE8
20	1,6	Acier	M-5000-3592	SE2
35	2,9	Acier	M-5000-3593	SE3
50	2,95	Céram.	A-5003-0075	SE29

Document Réponse DR-C13$_3$

C.2 – Frettage des deux bagues de réparation

Deux bagues de réparation sont définies sur le Document Technique **DT-8**. Le détail Y du Document Technique **DT-3** montre l'alésage Φ 20H7 équipé d'une de ces bagues.

C.2.1 Quelles sont les fonctions de ces bagues ?

Ces bagues permettent de réaliser la liaison avec l'étrier 4 par l'intermédiaire des axes 3 (voir **DT-2***).*
Comme leur nom l'indique (bague de réparation), ce sont des pièces d'usure qui pourront être remplacées afin d'éviter de remonter une trompette neuve.

C.2.2 Quelle est la désignation de la matière des bagues et expliquer ce choix.

Matière : X5CrNiCuMo 16 06 03
Il s'agit d'un acier fortement allié dont le % de carbone est de l'ordre de 0,05%.
Le fort % de chrome (16%) et de nickel (6%) lui confère des propriétés de résistance à la corrosion. Il s'agit d'un acier inoxydable (chrome >11%).
Cet acier contient aussi 3% de cuivre pour améliorer les propriétés tribologiques de la liaison assurée. Il y a aussi des traces de molybdène.

C.2.3 Indiquer les différentes solutions quant au frettage de ces bagues

Il existe plusieurs solutions pour le montage de ces bagues :
- *L'emmanchement classique en force à la presse ;*
- *La contraction de la bague par refroidissement à l'azote liquide (sans force) ;*
- *La dilatation de l'alésage de la trompette par chauffage localisé (sans force) ;*
- *La combinaison des deux dernières solutions (sans force).*

C.2.4 Dans une première approche, nous envisageons de réaliser le frettage en ne contractant que la bague.

La procédure est la suivante :
- Contrôle des bagues et des alésages
- Dégraissage des bagues et des pièces à l'acétone
- Tremper les bagues dans l'azote liquide (-195°C)
- Enduire de mastinox (produit graissant) les alésages et les bagues
- Emmanchement des bagues sur la trompette

Hypothèse :
Le diamètre de l'oreille sera considéré comme un moyeu cylindrique de diamètre D=42 mm.
Il est aussi considéré que la collerette de la bague n'a pas d'influence sur la déformation.

Données :
α_{titane} = 8,5.10^{-6} m/°C/m
$\alpha_{acier\ inoxydable}$ = 16.10^{-6} m/°C/m
$\delta = \alpha_i \times \Delta T \times d$
$\nu_{titane} = 0,25$; $\nu_{acier\ inoxydable} = 0,29$
E_{titane} = 115 GPa ; $E_{acier\ inoxydable}$ = 203 GPa

Avec :
- α, le coefficient de dilatation linéique ;
- δ, la valeur de la contraction ou dilatation au diamètre ;
- d, le diamètre nominal de l'emmanchement ;
- D, le diamètre extérieur du moyeu ;
- ν, le coefficient de Poisson ;
- E, le module de Young.

Calculer si la contraction de la bague est suffisante pour effectuer un emmanchement sans force. Commentaires.
Si cela n'est pas le cas, proposer une autre solution.

Le cas le plus défavorable correspond à un serrage maximal. Celui-ci est obtenu pour un diamètre de bague maximal (20,035 mm) et un diamètre d'alésage minimal (20 mm).
d *: le diamètre nominal de l'emmanchement vaut ici 20 mm.*
$\delta = \alpha_i . \Delta t . d$

$AN : 16.10^{-6} \times 20° - (-195°) \times 20 = 0,0688\ mm$
Ainsi dans le pire des cas, le diamètre de la bague contractée vaut :
20,035-0,0688 = 19,66<20.
Il reste donc un jeu de 0,04 mm pour effectuer l'assemblage sans force.
Après le montage, il est nécessaire de contrôler la valeur de l'alésage 10H7.

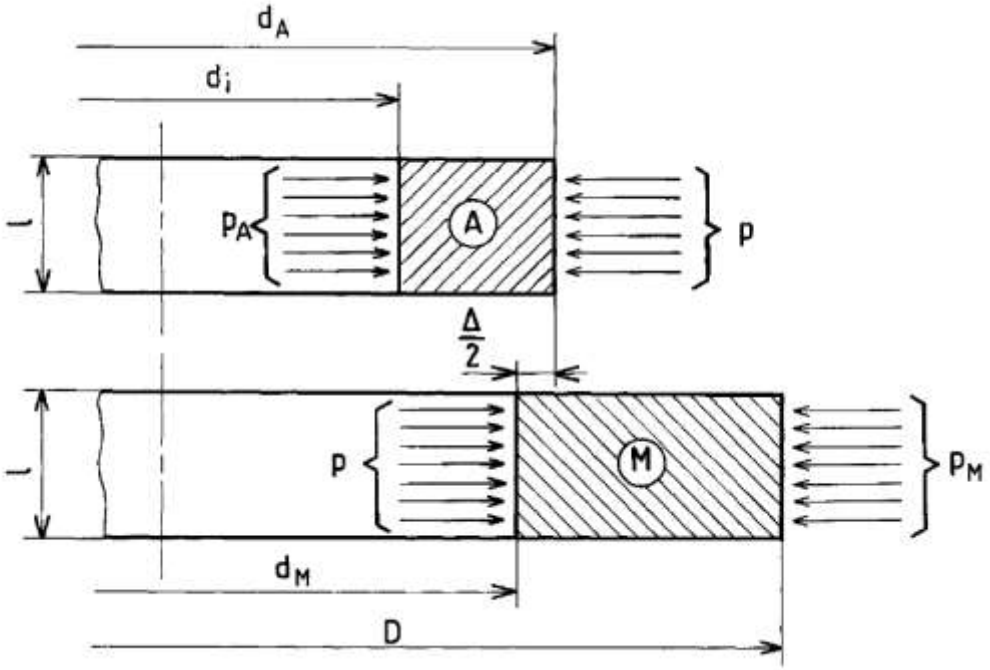
C.2.5 Démontage de la bague pour réparation
Expliquer de quelle manière seront ôtées les bagues après usure pour remplacement.
Calculer l'effort d'éjection des bagues à l'aide des données ci-dessus et du Document Ressources **DRS-C24**. Le coefficient de frottement entre la bague de réparation et la trompette de liaison équipée sera évalué à 0,2.
Quelle vérification faut-il faire pour s'assurer du non endommagement de l'alésage Φ 20H7 ?

Il n'est pas possible d'enlever les bagues par chauffage car le coefficient de dilatation de la bague est deux fois supérieur à celui de la trompette. Le refroidissement localisé de la bague est guère envisageable pratiquement.
La solution consiste donc à ôter la bague à l'aide d'une presse. Un outillage spécifique sera envisagé pour ne pas déformer localement les oreilles.
L'effort pour l'éjection de la bague est de la forme :

$$F_{éjectionmax} = p_{max} \times \mu \times 2 \times \pi \times \frac{d}{2} \times h$$

$avec\ \mu = 0,2\ ;\ d = 20\ mm\ ;\ h = 15\ mm$

Le calcul de la pression de contact entre les deux surfaces se fait à l'aide des formules jointes d'après les normes AFNOR NFE 22-621, Janvier 1984.



Relation liant p et Δ

Les relations traduisant l'équilibre d'un élément de l'arbre et de la frette sous l'action des différentes contraintes s'exerçant sur lui, les lois de déformation de ces éléments, les formules de Lamé et les lois de Hooke généralisées permettent d'écrire :

$$\frac{\Delta}{d} = p_{min}\left[\frac{d^4 \cdot (a_M - a_A) + d^2 \cdot D^2 \cdot (a_A + b_M) + D^2 \cdot d_i^2 \cdot (b_A - b_M) - d_i^2 \cdot d^2\,(b_M + a_A)}{(D^2 - d^2) \cdot (d^2 - d_i^2)}\right]$$

Pour le calcul des contraintes, il y a lieu de considérer le cas des pièces usinées au maximum de matière : arbre au maximum de sa tolérance, moyeu, au minimum. Le serrage est alors égal à :

$$\Delta_{max} = \Delta + IT_A + IT_M$$

et la pression de frettage est :

$$p_{max} = p_{min}\,\frac{\Delta + IT_A + IT_M}{\Delta}$$

C'est cette pression p_{max} qui servira à calculer les contraintes.

$$a_A = \frac{1 - \nu_A}{E_A} \quad ; \quad a_M = \frac{1 - \nu_M}{E_M}$$

$$b_A = \frac{1 + \nu_A}{E_A} \quad ; \quad b_M = \frac{1 + \nu_M}{E_M}$$

(*A : Arbre ; M : Moyeu)*

La pression maximale est directement proportionnelle à l'interférence. Les calculs se feront au pire des cas, c'est-à-dire au maximum de matière.

$$p_{max} = p_{min} \times \frac{\Delta_{min} + IT_A + IT_M}{\Delta_{min}}$$

$$\Delta_{max} = \Delta_{min} + IT_A + IT_M$$

$$\Delta_{min} = 20{,}022 - 20{,}021 = 0{,}001\,mm$$

$$IT_A = 20{,}035 - 20{,}022 = 0{,}013\,mm$$

$$IT_M = 20{,}021 - 20 = 0{,}021\,mm$$

$$a_A = 3{,}49.10^{-12}$$

$$b_A = 6{,}35.10^{-12}$$

$$a_M = 6{,}52.10^{-12}$$

$$b_M = 10{,}86.10^{-12}$$

$$\frac{\Delta}{d} = p_{min}\left[\frac{20^4.3{,}03 + 20^2.42^2.14{,}35 - 42^2.16^2.4{,}51 - 16^2.20^2.14{,}35}{\left(42^2 - 20^2\right).\left(20^2 - 16^2\right)}\right].10^{-12}$$

$$\frac{\Delta}{d} = p_{min}.36{,}17.10^{-12}$$

$$soit\ p_{min} = 1{,}38.10^6\ Pa\ et\ p_{max} = 48{,}3.10^6\ Pa$$

$$F_{éjectionmax} = p_{max} \times \mu \times 2 \times \pi \times \frac{d}{2} \times h$$

$$avec\ \mu = 0{,}2\ ;\ d = 20\ mm\ ;\ h = 15\ mm$$

$$Soit\ F_{éjectionmax} = 4550\ N$$

Il est à noter que le produit graissant (mastinox), garde ses propriétés graissantes longtemps afin de faciliter le démontage et éviter ainsi le grippage (arrachement de matière).
Pour vérifier le non endommagement de l'alésage 20H7, il faut vérifier que la contrainte tangentielle générée par le défrettage ne dépasse pas la contrainte de Von Mises.
D'autre part, il faut aussi vérifier après frettage que la pression maximale p_{max} reste inférieure à la limite élastique des deux matériaux, ce qui est le cas.

Agrégation de Génie Mécanique – Concours externe
Commentaires du jury sur l'épreuve Étude d'industrialisation

Session 2009

Commentaires relatifs à la partie A

Cette partie a permis d'évaluer les connaissances technologiques des candidats dans le domaine de trois procédés : le refoulement, le matriçage et le carottage.

La sous-partie consacrée à l'opération de refoulement de la trompette a été abordée par 80 % des candidats. Mis à part quelques candidats qui se sont égarés (confusions avec les procédés de fluotournage, galetage ou formage à froid au travers d'une filière) les réponses fournies montrent une bonne connaissance de ce procédé. Les réponses apportées au choix du type de machine ont été globalement correctes. Par contre, peu de réponses sur la description du principe de l'outillage ont été satisfaisantes, un bon nombre de candidats ayant proposé une solution pour laquelle, après refoulement, l'extraction de la pièce de l'outillage était quasiment impossible.

L'étude de l'opération de matriçage n'a été abordée que par 75 % des candidats et a été la moins bien traitée des trois études de procédés constituant la partie A du sujet. Il s'agissait donc d'exploiter qualitativement les images extraites d'une simulation numérique de la phase de matriçage de la trompette. Peu nombreux sont les candidats qui ont évoqué les conséquences de la mauvaise position de l'ébauche de la pièce au sein de l'outillage constatée sur les premières figures fournies. L'analyse des autres clichés aurait dû leur permettre de signaler le risque prévisionnel d'un manque de matière (figure 6) et celui d'une hétérogénéité de structure (cartographie des températures de la figure 7 de l'état de déformation cumulé de la figure 8) et d'en déduire les conséquences sur le processus (effort et vitesse de forgeage, durée du cycle, traitement thermomécanique). Là aussi, les réponses apportées ne correspondaient pas aux attentes.

Près de 85 % des candidats ont décrit et caractérisé l'opération de carottage (ou trépannage). Dans la partie A du sujet, c'est de loin l'étude de ce procédé qui a donné le plus de satisfaction lors de la correction des copies de cette épreuve. Ce procédé est connu et l'allure des outils (trépan) susceptibles de convenir pour réaliser cette opération a globalement été bien décrite.

Commentaires relatifs à la partie B

La partie B de ce sujet s'intéressait principalement à des interrogations sur la fabrication de la pièce par enlèvement de matière. Cette partie était décomposée en 6 sous-parties, qui elles-mêmes contenaient des questions à difficulté croissante de manière à ce que le candidat rentre progressivement dans la réflexion.

La sous-partie B.1 proposait un questionnement simple sur des fondamentaux de base concernant des essais mécaniques liés à la réception matière. Les éprouvettes d'essais étaient extraites dans les sens long et travers de la carotte issue de la phase de carottage. Il ressort qu'une très grande partie des candidats ne connaissent pas l'essai de résilience (mouton de Charpy) et qu'il a été très difficile de trouver des copies complètement justes de l'illustration d'une courbe de traction. Cette sous-partie avait été posée dans le but de tester les candidats sur les essais mécaniques standard. Les résultats reflètent une méconnaissance inquiétante des ces bases dans le cadre d'une agrégation de génie mécanique.

La sous-partie B.2 traitait de l'étude de tournage ébauche du profil 2 en phase 40. Les règles d'isostatisme semblent inconnues pour certains qui n'hésitent pas à éliminer plus de 6 degrés de liberté. Il y a un manque évident d'adéquation entre le modèle de mise en position isostatique proposé et l'identification des degrés de liberté éliminés par chacun des éléments matériels. Cela

reflète une lacune quant à la matérialisation des éléments de mise en position, indiquant un manque d'utilisation pratique de matériels expérimentaux. La question B.3.4 a été peu traitée par les candidats. Il y avait plusieurs manières de proposer des solutions. L'objectif du débit maximal était souhaitable et entraînait un gain en "temps" avec l'utilisation de l'outil diamant.

La sous-partie B.4 concernant l'étude de la phase 140 de tournage en ½ finition et finition du profil 1 permettait d'évaluer les candidats sur des choix d'outil par rapport à des stratégies d'usinage et des contraintes géométriques liées à la pièce.
Les deux dernières questions permettaient d'évaluer l'usure de l'outil et, en conséquence, de déterminer le nombre de pièces entre chaque changement. Ces questions ont été traitées par moins de 10% des candidats. Nous en déduisons que les bases élémentaires sur les usures d'outil sont méconnues. Placer une usure en dépouille sur une face de dépouille relève du miracle.

La sous-partie B.5 concernait la phase 100 de fraisage de lamage en plongée. L'objectif était de déterminer la section maximale de copeau enlevée par la pièce, de choisir la fraise adéquate et, à partir d'un modèle d'effort de coupe simple, de calculer le couple de maintien de la pièce pour éviter sa rotation. L'ensemble des questions a été en général bien traité par uniquement 40% des candidats.

La sous-partie B.6 s'intéressait à l'optimisation de la gamme actuelle si un centre de tournage-fraisage bi-broches était utilisé. Il s'agissait de donner des arguments qui permettaient de démontrer l'intérêt de l'utilisation d'une telle machine. Cette question ouverte a été bien traitée par moins de 45% des candidats.

En conclusion, la partie B permettait d'évaluer les connaissances des candidats sur des fondamentaux du référentiel de l'agrégation de génie mécanique B3. Des lacunes fortes ont été constatées en science des matériaux, isostatisme et endommagement des outils.

Commentaires relatifs à la partie C

Cette partie traite du contrôle lié à une spécification de localisation avec référence commune aux deux cylindres Ø 20 H7 réputés coaxiaux et l'étude originale du frettage de deux bagues de réparation dans chacun de ces deux cylindres.

L'étude de l'opération de contrôle (sous-partie C1)

Les candidats sont rompus aux exercices de décodage des spécifications. Cette question, traitée par 85 % des candidats a donné de bons résultats. De même, la mise en position et le maintien de la pièce sur la table de la machine à mesurer tridimensionnelle ont été bien abordés. Il faut quand même signaler que quelques candidats ont cherché à positionner l'axe principal de cette pièce perpendiculairement à la face supérieure de la table de la machine !

Pour le capteur motorisé, un choix raisonné visant la précision du contrôle conduit à adopter un seul stylet, le plus rigide et le plus court possibles (Ø 5 et longueur utile 21) et à proscrire l'utilisation d'une allonge. Une dizaine de candidats, seulement, a fait ces choix.

Les résultats obtenus par les candidats qui ont proposé une chronologie des opérations de contrôle (65 % de la totalité des candidats) sont satisfaisants et sont en accord avec les résultats obtenus à la question relative au décodage de la spécification.

L'étude de l'opération de frettage (sous-partie C2) :

Cette sous-partie C2 en relation avec la phase 190 de la gamme proposait dans un premier temps de définir le rôle de ces bagues et de commenter la désignation du matériau de ces dites bagues. Si les premières questions ont été bien traitées par l'ensemble des candidats, il ressort que uniquement 15% des candidats ont été capables de trouver la bonne désignation de la matière. A nouveau, ce constat montre un manque manifeste de connaissance en science des matériaux.

Le choix de refroidir la bague a été choisi par l'entreprise et il était demander de calculer si la contraction suite au refroidissement était suffisante. Cette question a été bien comprise par uniquement par 1/3 des candidats.

La dernière question de cette sous-partie se proposait d'étudier l'enlèvement des bagues lorsqu'elles étaient usées. La résolution consistait à utiliser un modèle de pression, appliqué sur des enveloppes minces et d'évaluer la force d'éjection de la presse en vérifiant la non-détérioration de l'alésage de 20 H7. Cette question a très bien été traitée par uniquement 4 candidats.

Commentaire global

La grande variété des champs d'investigation technologique de ce sujet a permis à la majorité des candidats de ne pas rester bloqué sur des questions et d'utiliser pleinement et efficacement le temps imparti à cette épreuve. Un juste équilibre entre questions de connaissances générales et questions calculatoires a été recherché lors de l'élaboration de ce sujet. En conséquence, les résultats globaux obtenus à cette épreuve sont presque corrects.

Il est à noter que certains candidats se sont contentés de picorer les questions les plus simples dans chaque sous-partie dans le but d'amasser des points. Suite à l'analyse des résultats, il en ressort que les candidats persévérants ont eu de bien meilleurs résultats.

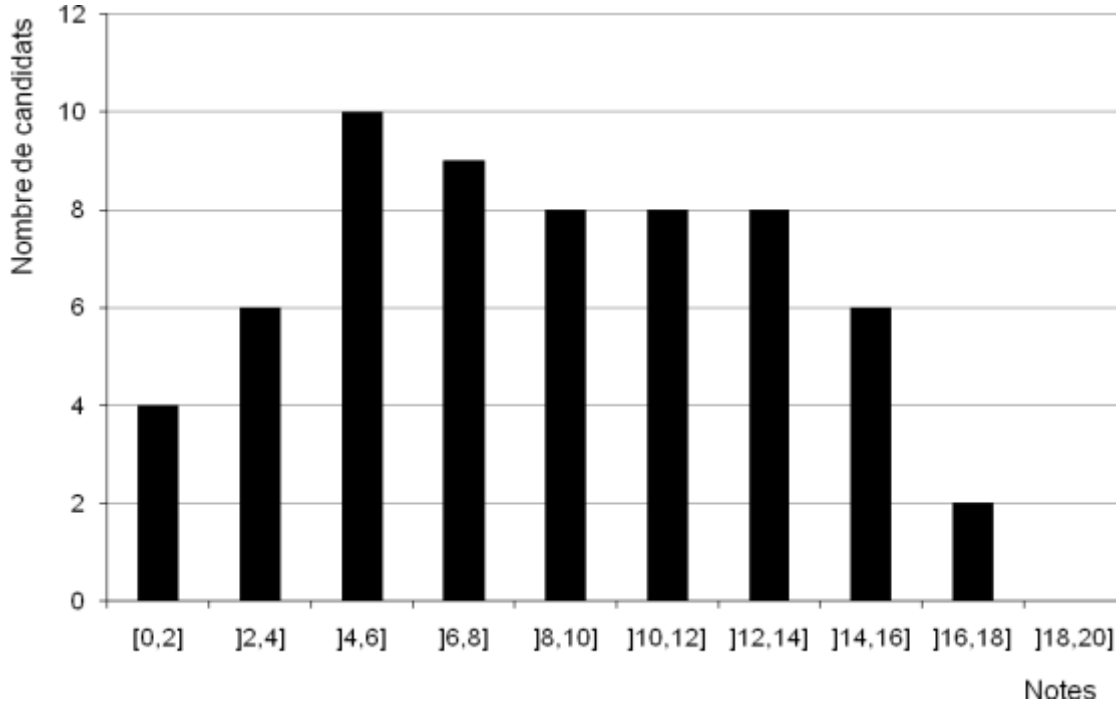
Il est recommandé aux formations en place de veiller au niveau des candidats dans le domaine de la science des matériaux qui est un volet de formation inévitable pour les enseignements que l'on peut attendre d'un professeur agrégé de génie mécanique ou les travaux de recherche pour un doctorant/agrégé.

D'autre part, certaines questions pragmatiques ont démontré un manque évident de connaissances technologiques pratiques sur machine qui son, en somme, très formatrices pour effectuer le lien entre le réel et le modèle.

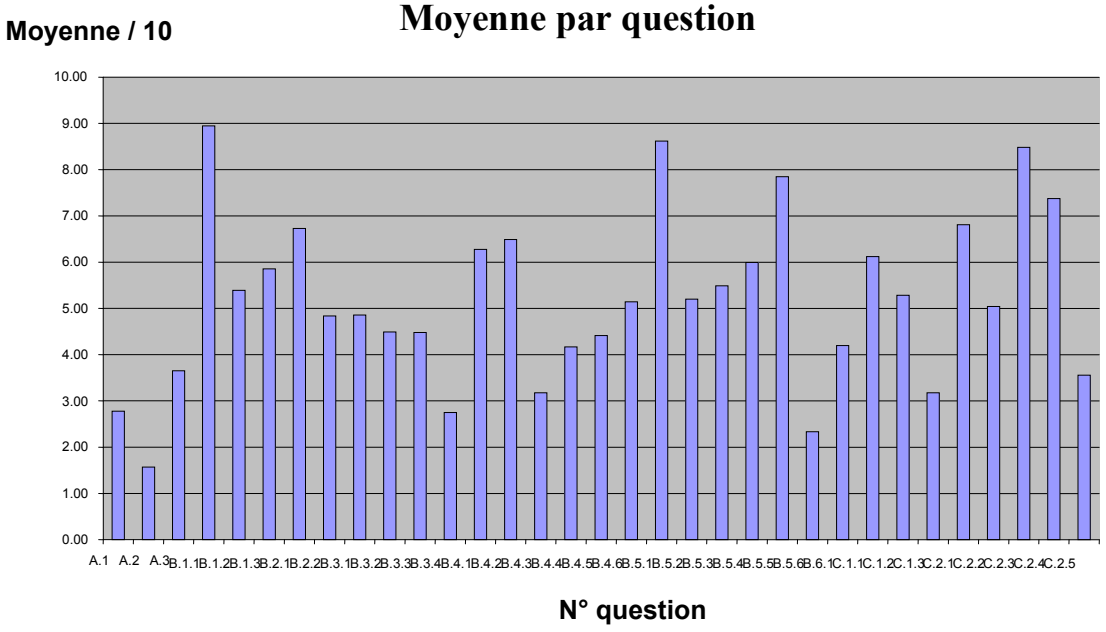
Graphiques

61 candidats ont composé cette épreuve sur 166 inscrits
Moyenne : 8,47
Ecart type : 4,32
Note mini : 0,77
Note maxi : 17,04

Distribution des notes



Moyenne par question



SESSION DE 2009

Concours externe de
recrutement de professeurs agrégés

Sections :

- **Génie mécanique**
- **Mécanique**

Analyse et conception de systèmes

Proposition de correction

1-VERIFICATION DU COMPORTEMENT DU MECANISME

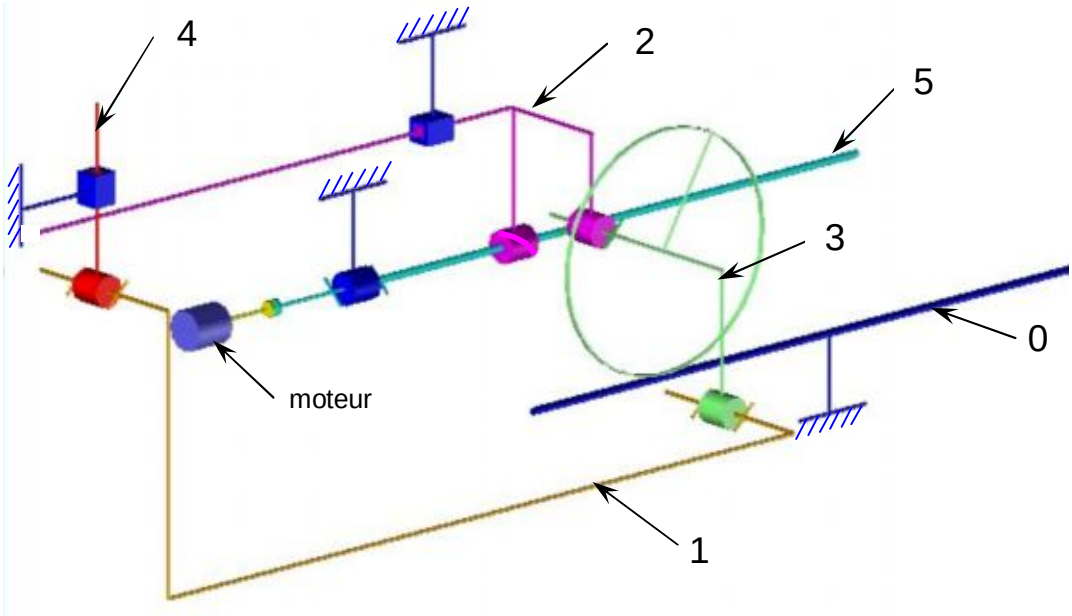
1-1 ANALYSE PRELIMINAIRE

Question 1

- bâti 0 : 1, 28, 27
- bras principal 1 : 101, 102, 103
- pivot transmission de mvt 2 : 10, 11, 24, 22
- roue d'entraînement 3 : 7, 3, 4,
- pivot supérieur 4 : 29, 23
- vis à billes 5 : 25, 26
- galet 6 : 30

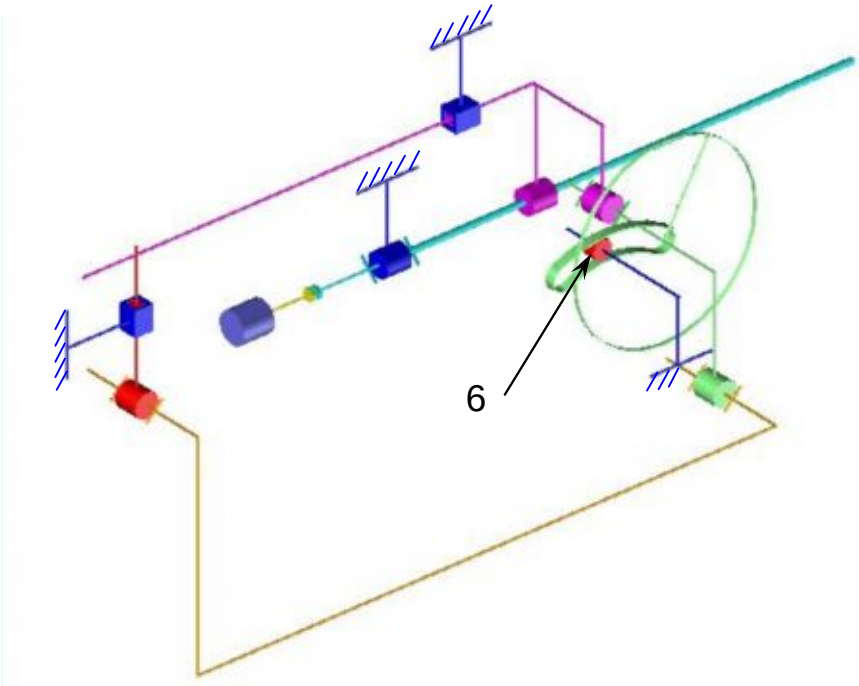
Question 2 :

Schéma cinématique phases 1 et 2 (entrainement par pignon-crémaillère)



Question 3 :

Schéma cinématique phase 3 (entrainement par galet-came)



1-2 ANALYSE CINEMATIQUE DE L'ENSEMBLE

Question 4

Durée d'un cycle : T = 3600/5000 = 0,72s

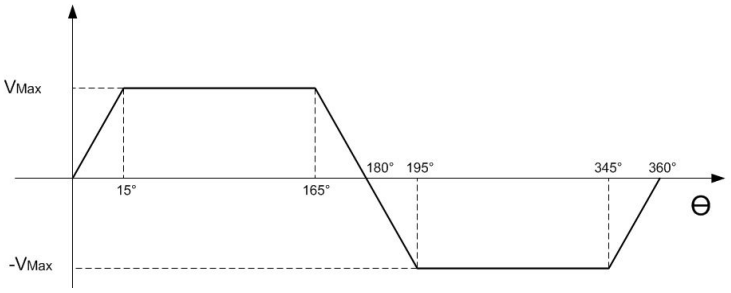
Pour le chargement de la bouteille t = 0,36s (180° de came virtuelle).

Instants :

t_1 pour 15°

t_1+t_2 pour 165°

t_3 pour 180°



$t_3 = 2t_1+t_2 = 0,36$

$t_2 = t_1*150/15$

$t_1 = 0,03s$ et $t_2 = 0,3s$

- Vitesse de translation maxi du chariot sur le secteur de 150° :

  $N_{maxi\ moteur}$ = 3000 tr/min pas de la vis à billes p = 25mm

  $V_{max} = N_{maxi\ moteur} * p /60 = 3000*25/60 = 1250$ mm/s = 1,25 m/s
- Accélération entre 0 et 15°

  $V_{maxi} = a* t_1$ $a = 1,25/0,03 = 41,7$ m/s^2

Question 5 (voir DR2 fig 1)

Mouvements:

- mvt 1/0 : mvt plan dans (x,y)
- mvt 2/0 : Tx
- mvt 4/0 : Ty
- mvt 3/2 : Rz centre B
- mvt 3/0 : mvt plan
- mvt 3/1 : Rz centre C
- mvt 4/1 : Rz centre A

- $\overrightarrow{VA,4/0} = \overrightarrow{VA,1/0}$ Ay
- $\overrightarrow{VB,2/0} = \overrightarrow{VB,3/0}$ Bx
- $\overrightarrow{VC,3/0} = \overrightarrow{VC,1/0}$
- $I_{3/0}$ contact roue/crémaillère
- Dir $\overrightarrow{VC,3/0}$ normal à $CI_{3/0}$

$I_{1/0}$ est sur la normale à $\overrightarrow{VA,1/0}$ et à $\overrightarrow{VC,1/0}$

Les directions de $\overrightarrow{VM,1/0}$ et de $\overrightarrow{VK,1/0}$ sont très proches de My et Ky.

Question 6 (voir DR2 fig 2)

- $\overrightarrow{VB,2/0} = \overrightarrow{VB,3/0} = 1,25\ \vec{x}$
- Equiprojectivité aux points B et C dans le mvt 3/0
- Equiprojectivité aux points A et C dans le mvt 1/0
- Double équiprojectivité aux points K et C et aux points K et A dans le mvt 1/0
- Double équiprojectivité aux points M et C et aux points M et A dans le mvt 1/0

$\|\overrightarrow{VA,1/0}\| = 0,35$ m/s $\|\overrightarrow{VC,1/0}\| = 0,29$ m/s $\|\overrightarrow{VK,1/0}\| = 0,29$ m/s $\|\overrightarrow{VM,1/0}\| = 0,29$ m/s

Question 7

Trajectoire du point M : verticale ascendante qui assure le décollement de la bouteille du tapis roulant

Trajectoire du point K : verticale ascendante et vers $\vec{x}$ qui assure le décollement de la bouteille du tapis ainsi que son dégagement par rapport à la bouteille suivante.

CINEMATIQUE – PHASE 1
PRISE DE LA BOUTEILLE SUR LE TAPIS ROULANT

Figure 1 : PHASE 1 ($\theta_{came\ virtuelle}$ = 3°)

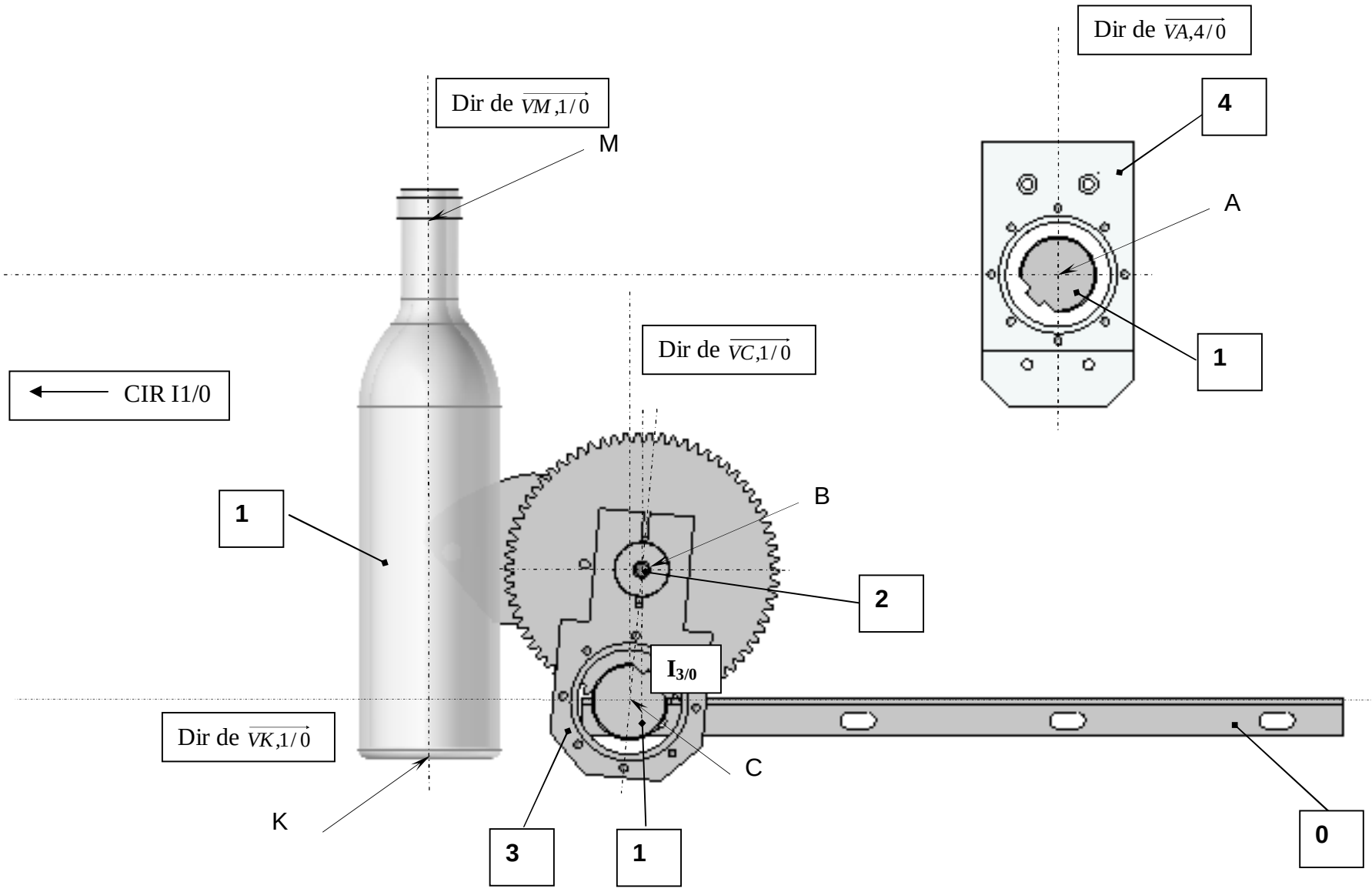
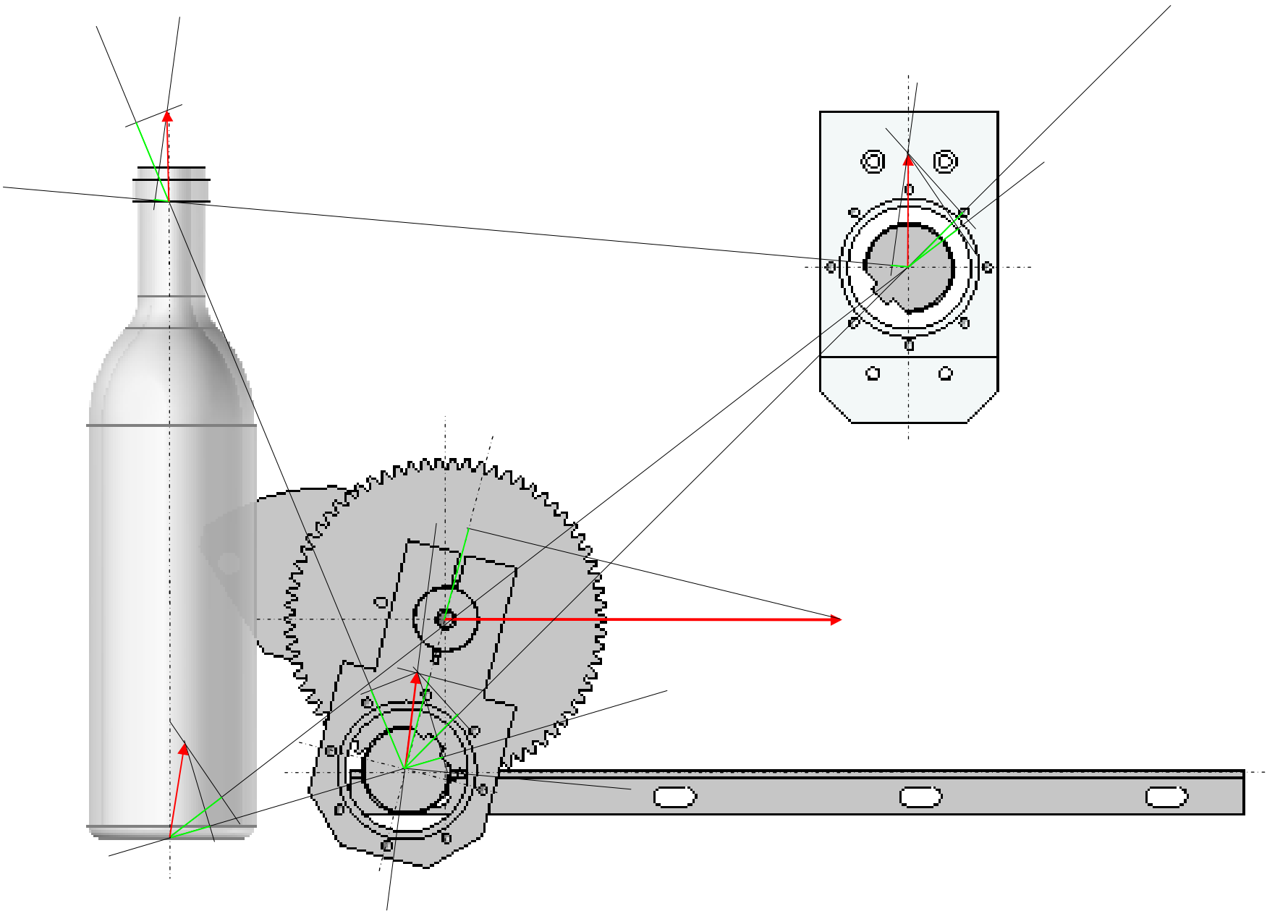
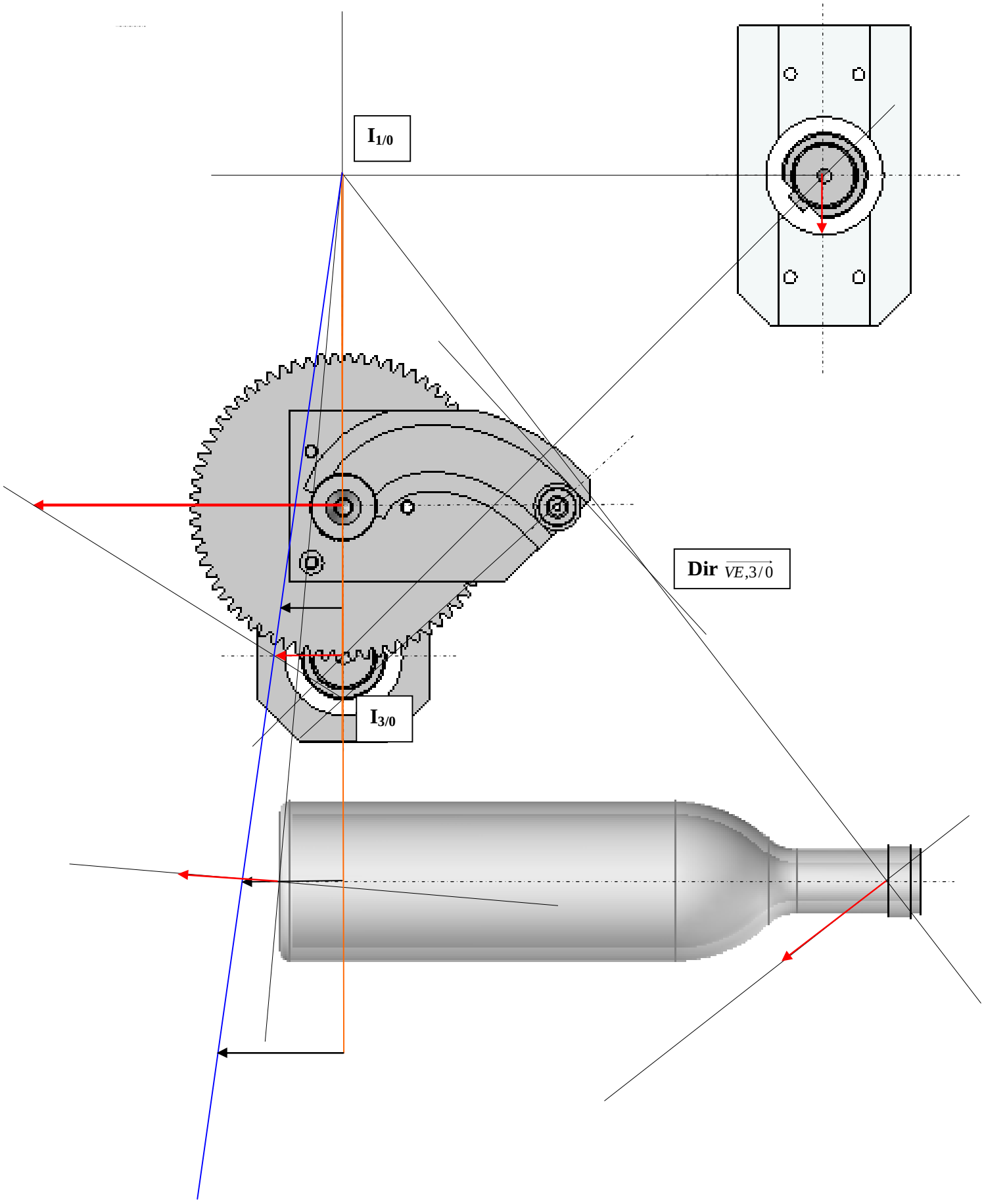


Figure 2 : PHASE 1 ($\theta_{came\ virtuelle}$ = 15°)



Question 8 (voir DR3 fig 4)



Mouvements:

- mvt 1/0 : mvt plan dans (x,y)
- mvt 2/0 : Tx
- mvt 4/0 : Ty
- mvt 3/2 : Rz centre B
- mvt 3/0 : mvt plan
- mvt 3/1 : Rz centre C
- mvt 3/6 : roulement sans glissement en E
- mvt 6/0 : Rz centre O

- $\overrightarrow{VA,4/0} = \overrightarrow{VA,1/0}$ Ay

- $\overrightarrow{VB,2/0} = \overrightarrow{VB,3/0} = 0{,}5\ 10^{-3}\ \vec{x}$

- $\overrightarrow{VE,6/0} = \overrightarrow{VE,6/3} + \overrightarrow{VE,3/0}$

Avec $\overrightarrow{VE,6/3} = \vec{0}$ (rlt ss glst)

- $I_{3/0}$ est sur la normale à $\overrightarrow{VB,3/0}$ et à $\overrightarrow{VE,3/0}$

- Dir $\overrightarrow{VC,3/0}$ normal à $CI_{3/0}$

- $\overrightarrow{VC,3/0} = \overrightarrow{VC,1/0}$

$I_{1/0}$ est sur la normale à $\overrightarrow{VA,1/0}$ et à $\overrightarrow{VC,1/0}$

Les directions de $\overrightarrow{VM,1/0}$ et de $\overrightarrow{VK,1/0}$ sont normales à de M $I_{1/0}$ et K $I_{1/0}$.

$\|\overrightarrow{VA,1/0}\|$ = 0,1 mm/s $\|\overrightarrow{VC,1/0}\|$ = 0,11 mm/s $\|\overrightarrow{VK,1/0}\|$ = 0,17 mm/s $\|\overrightarrow{VM,1/0}\|$ = 0,2 mm/s

En fin de phase 3, la direction de $\overrightarrow{VK,1/0}$, obtenue par la came, permet de placer la bouteille dans le culot sans mouvement de celui-ci.

1-3 RECHERCHE DE L'EFFORT DE PREHENSION PINCE/BOUTEILLE

Question 9

- En première approximation, on considère que chaque pince supporte la masse de la bouteille M_b = 1,2 kg
- Chaque pince (haut et bas) applique sur la bouteille 4 efforts identiques (4 contacts)

Efforts de préhension au point haut : $\Gamma_{maxi\ point\ haut}$ = - 20 m/s^2

$N_h = M_b * (\Gamma_{maxi\ point\ haut} + g) / 4 * f$

$1{,}2 * (20 + 10) / 4 * 0{,}4 = 22{,}5$ N

Efforts de préhension au point haut : $\Gamma_{maxi\ point\ bas}$ = - 40 m/s^2

$N_h = M_b * \Gamma_{maxi\ point\ bas} + g) / 4 * f$

$1{,}2 * (40 + 10) / 4 * 0{,}4 = 37{,}5$ N

Partie 2 – Validation du choix du moteur d'axe

2-1- Puissance motrice nécessaire :

Q10 – La réponse est articulée autour de la variation de l'énergie cinétique entre les positons 0 et 17 mm. La puissance variant linéairement, le travail peut être exprimé par

$$W = \frac{1}{2} P_{finale} . \Delta t$$

Le système est décomposé en cinq sous ensembles :

- le chariot mobile,
- le vilebrequin de transmission de mouvement
- le bras de préhension
- le chariot vertical.
- la vis à billes

Calcul des énergies de chaque sous ensemble :

- Chariot mobile : $E_{C_{(CM)}} = \frac{1}{2} M_{CM} . V_1^2$
- Vilebrequin : $E_{C_{(vil)}} = \frac{1}{2} M_{Vil} . V_1^2 + \frac{1}{2} J . \left(\frac{V_1}{R}\right)^2$
- bras :

  $$E_{bras} = \frac{1}{2} M_{bras} V_G^2 + \frac{1}{2} J . \left(\frac{V_G}{R_{cir}}\right)^2 + M_{bras} . y_G . g$$

  où R_{cir} représente la distance entre le CIR du bras et G en position z = 17 mm (déterminé sur le document DR4 par une construction graphique simple).
- chariot vertical : $E_{CV} = \frac{1}{2} M_{CV} . V_{17}^2 + M_{CV} . g . (Z_{1\ chariot} - Z_{0\ chariot})$
- vis à billes : $E_{C_{(vis)}} = \frac{1}{2} J_{vis} . \omega^2$ avec $J_{vis} = \rho . l . \pi . \frac{D^4}{32}$ et $\omega = 2\pi . \frac{V_{17}}{P_{vis}}$ où P_{vis} est le pas de la vis à billes.

$$P_{finale} = \frac{2 \sum E}{\Delta t}$$

Application numérique :

$$E_{C_{(CM)}} = \frac{1}{2} \times 5{,}1 \times 1{,}25^2 \approx 3{,}98\ J$$

$$E_{C_{(vil)}} = \frac{1}{2} \times 6{,}1 \times 1{,}25^2 + \frac{1}{2} \times 15041 \times 10^{-6} \times \left(\frac{1250}{70}\right)^2 \approx 7{,}16\ J$$

$$E_{bras} = \frac{1}{2} \times 17{,}7 \times 0{,}308^2 + \frac{1}{2} \times 223494 \times 10^{-6} \times \left(\frac{308}{103}\right)^2 + 17{,}7 \times 9{,}81 \times 2{,}1 \times 10^{-3} \approx 2{,}21\ J$$

$$E_{CV} = \frac{1}{2} \times 1{,}1 \times 0{,}341^2 + 1{,}1 \times 9{,}81 \times 7{,}9 \times 10^{-3} \approx 0{,}15\ J$$

$$E_{C_{(vis)}} = \frac{1}{2} \times \left(7{,}84 \times 672 \times \pi \times \frac{25^4}{32} \times 10^{-3 \times 4}\right) \left(2\pi \times \frac{1250}{25}\right)^2 \approx 9{,}95\ J$$

$$E_{Totale} = 23{,}45\ J$$

$$P_{finale} = \frac{2 \times 23{,}05}{0{,}0275} \approx 1706\,W$$

2.2 RAPPORT DES INERTIES

Q11- moment d'inertie équivalent

$\frac{1}{2}.M.V^2 = \frac{1}{2}J_{eq}.\omega^2$

$J_{eq} = 2\frac{M.V^2}{\omega^2}$ avec $\omega = 2\pi.\frac{V}{P_{vis}}$ où P_{vis} est le pas de la vis à billes.

Application numérique :

$$J_{eq} = 2\frac{10 \times (1250 \times 10^{-3})^2}{\left(2\pi \times \frac{1250}{25}\right)^2} = 1{,}58.10^{-4}\ kg.m^2$$

Q12-Rapport d'inertie

$$r = \frac{1{,}58.10^{-4}}{1{,}28.10^{-4}} = 1{,}23$$

Q13- Conclusion : Le rapport se rapprochant de la valeur idéale de 1, le critère de charge associé au bon fonctionnement numérique de l'axe est respecté.

3 CONCEPTION DU SYSTEME DE PREHENSION

3.1 VERIFICATION MECANIQUE DU COMPOSANT AXE DE VILEBREQUIN

Q14- Situation de calcul :

D'après le document technique les amplitudes des composantes de sollicitation sur le vilebrequin les plus importantes sont associées à la position 0,03 s.

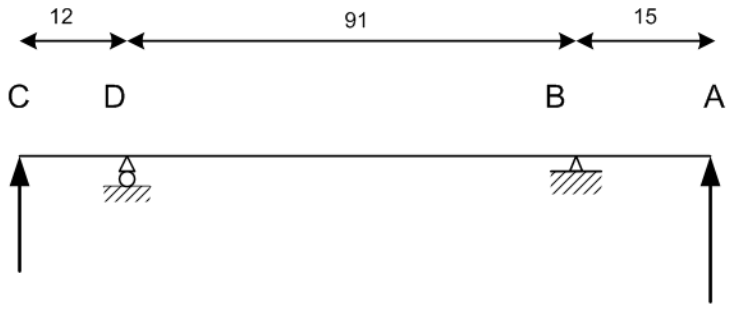
	A	B	C
X	-980	550	
Y	200	1000	50
Z			200
Norme	1000	1141	206

Q15 - Les informations de simulations disponibles ne permettent pas d'avoir un état complet de chargement sur le composant à vérifier.

Les hypothèses de calcul vont donc prendre en compte cet aspect :

- la pièce est soumise à de la flexion torsion. Le moment de torsion sera calculé à partir des composantes de contact en C.

- Les efforts tranchants seront considérés comme placés dans un plan unique. Nous ramènerons l'étude sur une poutre sur deux appuis en accord avec le schéma ci-dessous.

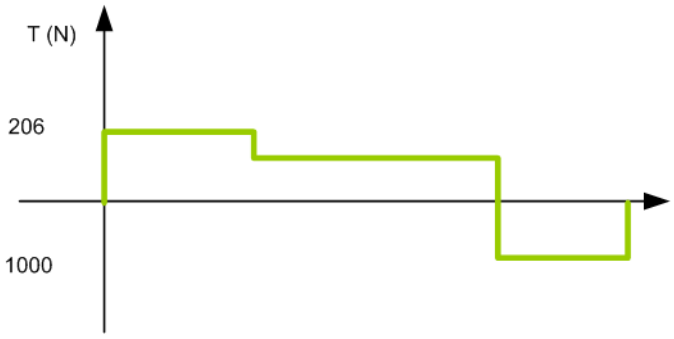


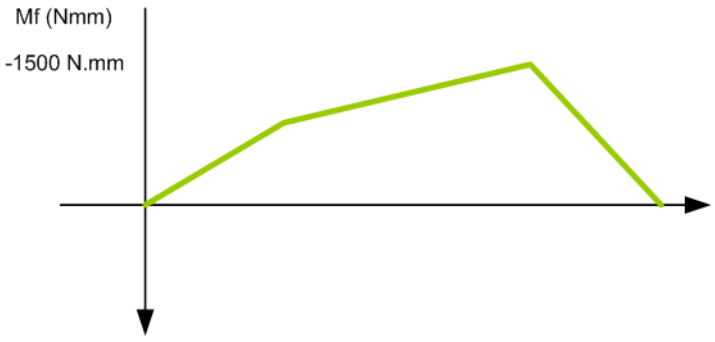
- Le diamètre de l'arbre sera considéré constant et égal à 30 mm.

Le calcul des réactions sur les appuis donne :

$R_D \approx -68\ N$ et $R_B \approx -1137\ N$ (résultat très proche des résultats de simulation en B)

Allure des diagrammes des efforts tranchants et moments fléchissants :





Moment de flexion maximum : 15000 N.mm

Moment de torsion maximum : (200x70) = 14000 N.mm

Contraintes :

de torsion : $\tau_{tors} = \frac{M_{tors.}}{I_0}.R = 5{,}28\ N.mm^{-2}$

due à l'effort tranchant dans la section de moment fléchissant maximum :

$\tau_{tranchant} = \frac{T}{S} = 1{,}41\ N.mm^{-2}$

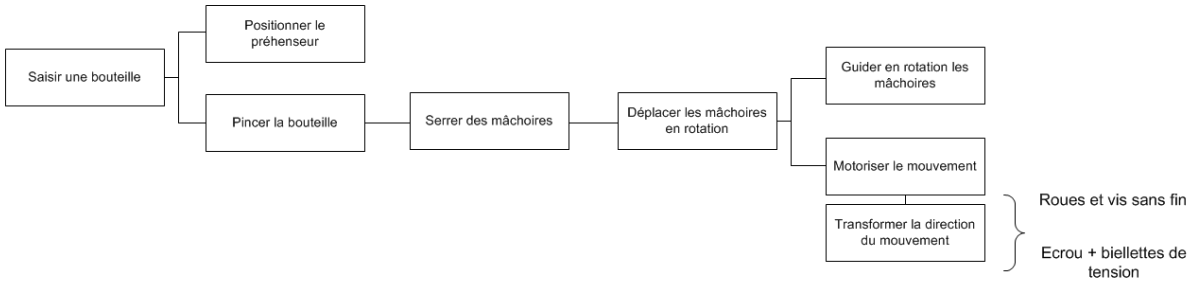
de flexion : $\sigma = \frac{M_f}{I_{Gx}}\ R = 5{,}65\ N.mm^{-2}$

soit une contrainte équivalente en utilisant le critère de Von Mises :

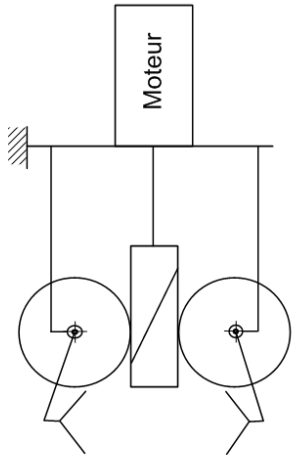
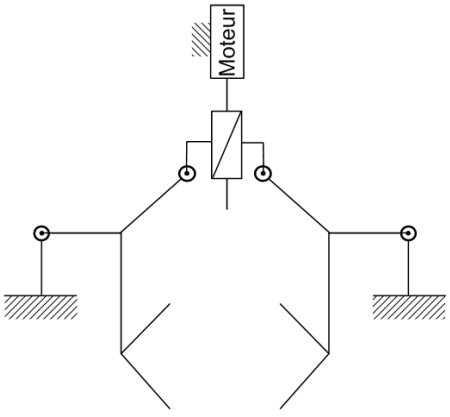
$$\sigma_e = \sqrt{3\ \tau^2 + \sigma^2} = 12{,}9\ N.mm^{-2}$$

3.2 CONCEPTION DU SYSTEME DE PREHENSION

Q16 – Fast de recherche de solutions par décomposition de la fonction de service



Q17- Schémas cinématiques

	Solution roues et vis sans fin. Avantage Effort de serrage sur la bouteille indépendant de l'angle de fermeture (contrôle direct par le moteur). Inconvénient Coût solution. Définition de la position angulaire d'origine des mâchoires.
	Avantage(s) Solution d'apparence simple ne mettant en œuvre que des liaisons pivot élémentaires. Inconvénients : Nécessité d'arrêter en rotation l'écrou de transmission de mouvement pour éviter que les efforts de frottement n'engendrent un moment qui pourrait être encaissé directement par les pivots. L'effort de serrage calibré par le moteur dépend de la position angulaire des

	mâchoires. Encombrement.

Q18- Le squelette comporte les enveloppes surfaciques des roues et vis sans fin, le plan support du moteur, la zone d'encombrement du palier intermédiaire de guidage en rotation de la vis sans fin, les axes d'articulation des mâchoires. Le document pdf joint DR6 corrigé contient une partie de ces informations.

Q19- Exemple de solution proposée. Cf. document joint.

4 SPECIFICATION DU MECANISME

4.1 CONDITION FONCTIONNELLE ASSOCIEE AU BRAS DE PREHENSION

Q20- L'étude porte sur les défauts angulaires entre les deux axes de pivot. Nous nous intéresserons donc exclusivement aux résultantes des torseurs de petits déplacements.

pièce 103 -

//	0,02	A

de la référence B, dans la base définie sur DT7 :

$$\delta\theta_{\vec{y}} = \frac{0{,}02}{41}\vec{y}$$

//	0,02	A

de la référence C,

$$\delta\theta_{\vec{x}} = \frac{0{,}02}{41}\vec{x}$$

assemblage, ajustement 10H7 g6 :

$$\delta\theta_{\vec{x}} = \frac{0{,}015 + 0{,}014}{41}\vec{x} = \frac{0{,}029}{41}\,\vec{x}$$

pièce 101 –

//	0,02	A

$$\delta\theta_{\vec{y}} = \frac{0{,}02}{41}\vec{y}$$

//	0,02	B

$$\delta\theta_{\vec{x}} = \frac{0{,}02}{41}\vec{x}$$

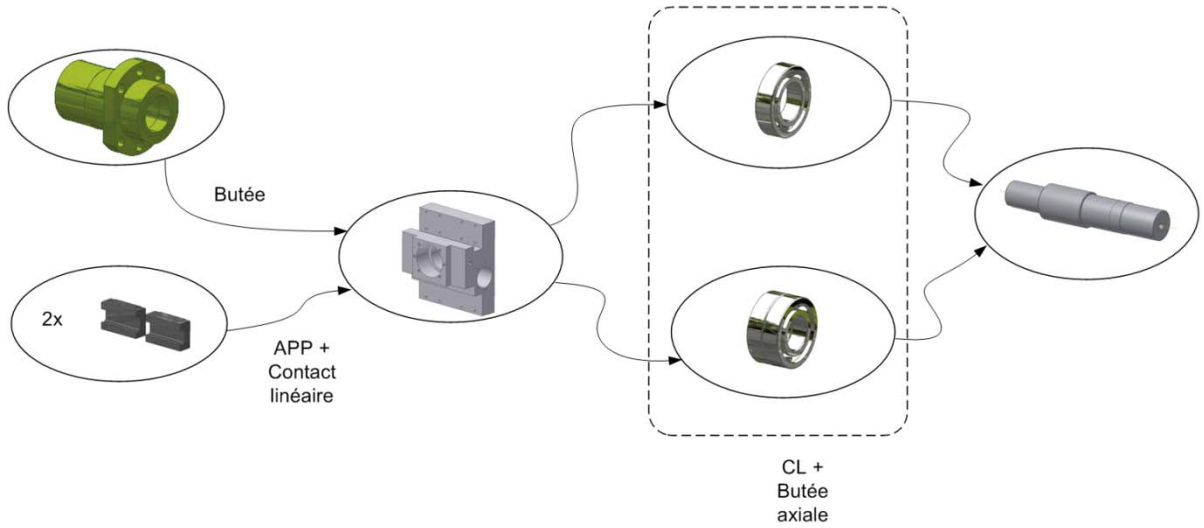
Défaut maximal au pire des cas :

$$\overrightarrow{\Omega} = 2 \times \frac{0{,}02}{41}\,\vec{y} + 2 \times \frac{0{,}02}{41}\,\vec{x} + 2 \times \frac{0{,}029}{41}\vec{x} + \frac{0{,}02}{41}\vec{y} + \frac{0{,}02}{41}\,\vec{x} = \frac{0{,}118}{41}\,\vec{x} + \frac{0{,}06}{41}\,\vec{y}$$

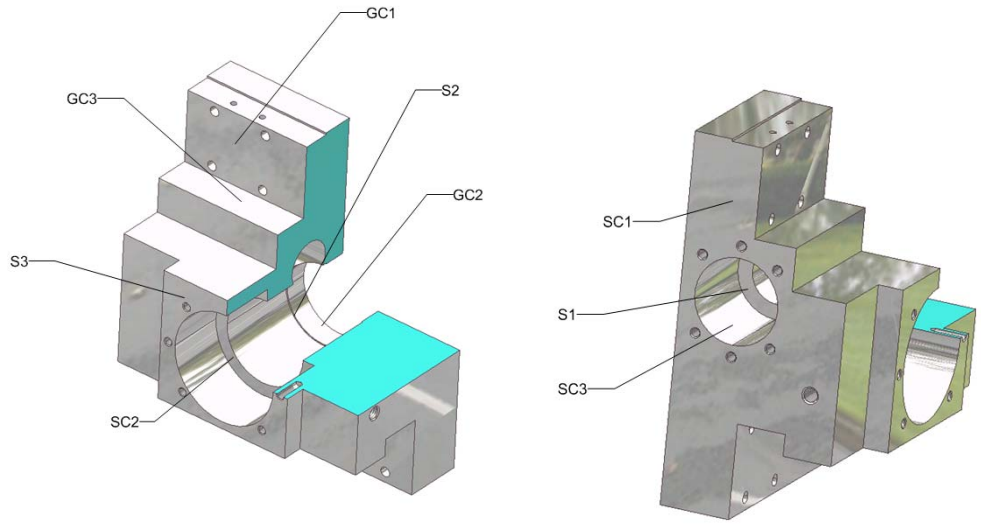
d'où

$$\delta\alpha = \frac{(0{,}06^2 + 0{,}118^2)^{\frac{1}{2}}}{41} = 3{,}2.10^{-3}\ rad = 0{,}19\ °$$

Q21 – Graphe de contact – spécification du corps de chariot moteur.



Q22- Surfaces fonctionnelles interface entre les composants voisins et le corps de chariot moteur



Mise en position vilebrequin : GC2 (portées de roulements), SC2 (butée axiale), S2 (garantir la butée axiale), S3 (garantir la précontrainte des roulements).

Mise en position du chariot : GC1 (surfaces support des patins de guidage), GC3 (surfaces alignement des patins), SC1 (surface d'appui de l'écrou a billes – définition de la position absolue du chariot dans son mouvement relativement au bâti)

Analyse sur document réponse corrigé.

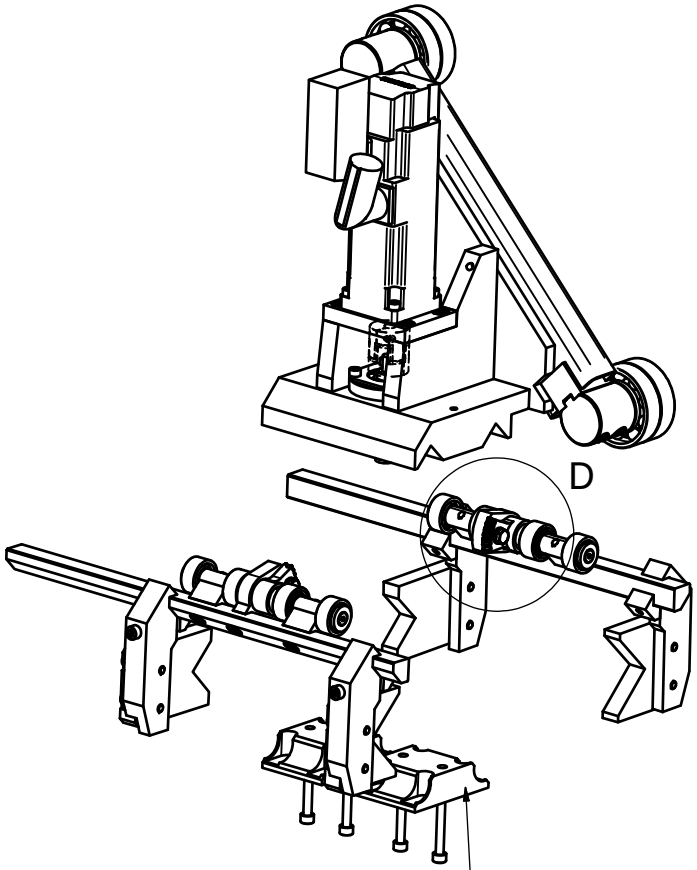
Q23- Voir document réponse complété

Vés de positionnement et de maintien des roulements de guidage en rotation des sous ensembles mâchoires

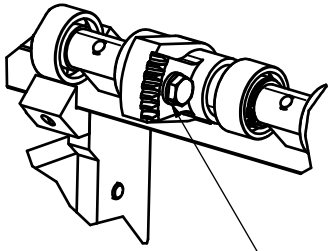
Vis sans fin, entrainement par adhérence (serrage axial par vis à tête fraisée).

Roulements à contact oblique montés en boîtier.

Accouplement élastique de liaison entre le moteur et l'axe de vis sans fin.



D (1 : 2)



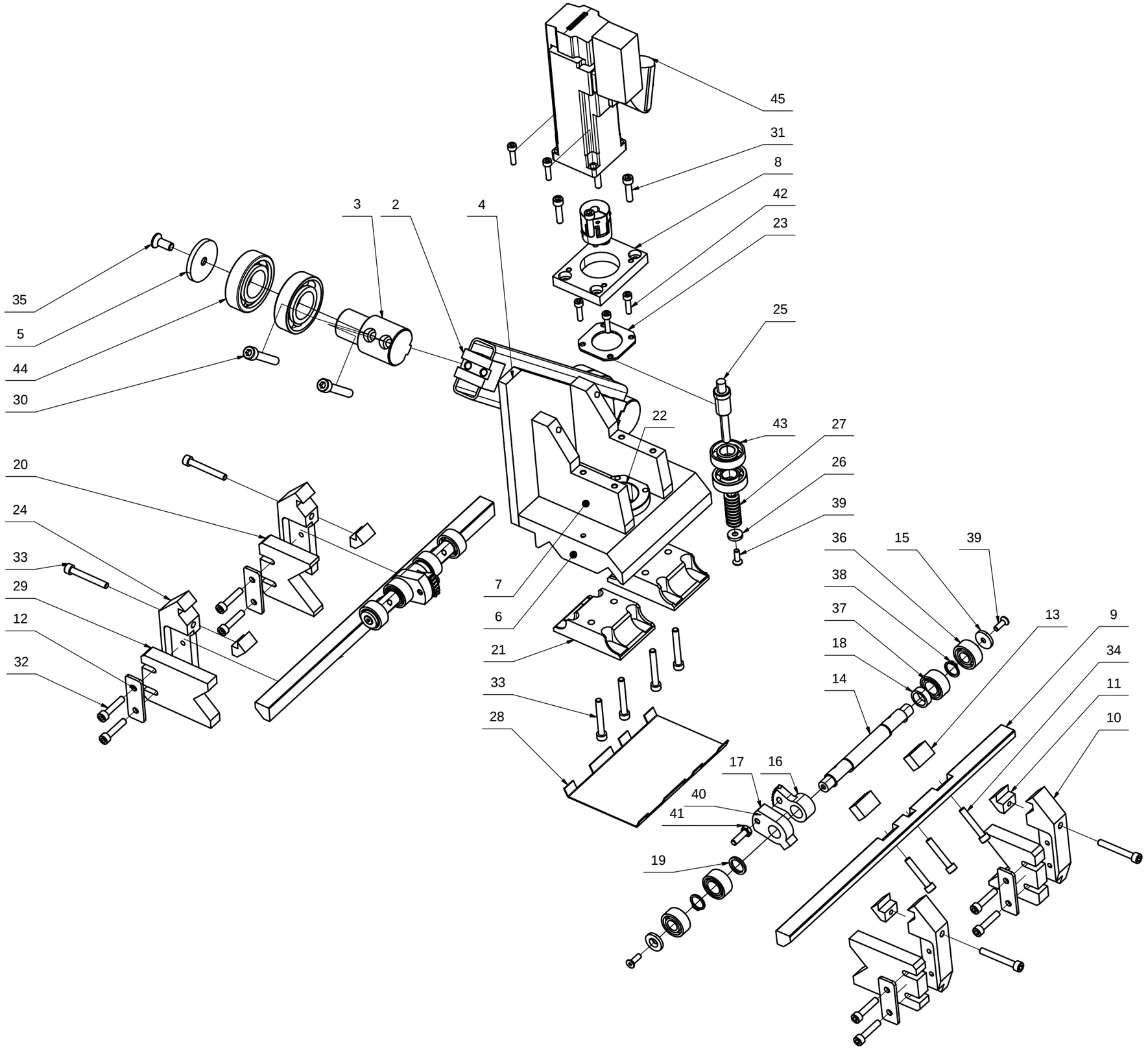
Système de réglage angulaire des mâchoires / aux roues hémicoïdales

Platine de positionnement axial et de maintien en position des roulements

Proposition de corrigé pour la mise en mouvement des mâchoires de préhension

Autodesk Inventor pro 2010

PROPOSITION DE CORRECTION



Autodesk Inventor Pro 2010

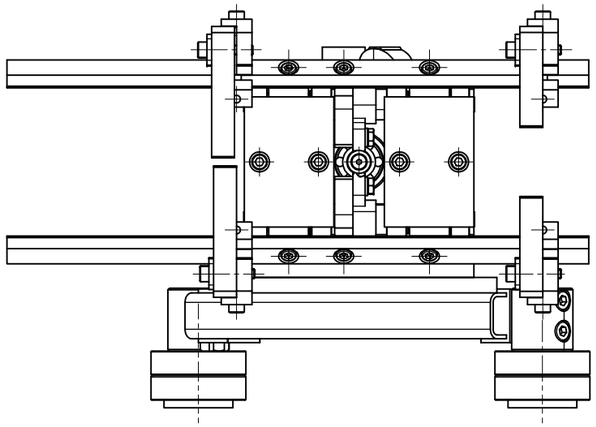
PROPOSITION DE CORRECTION

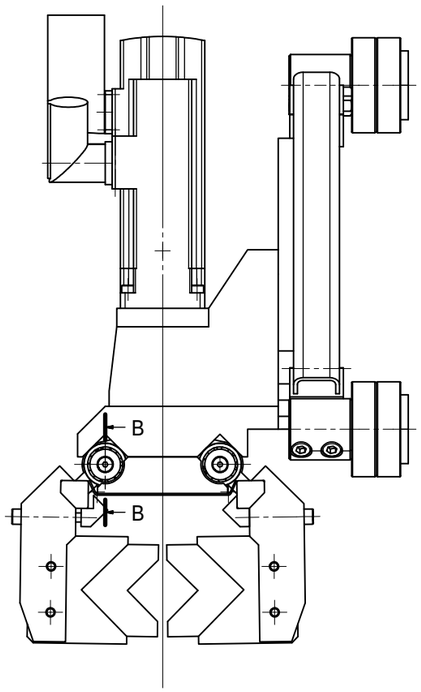
Liste de pièces

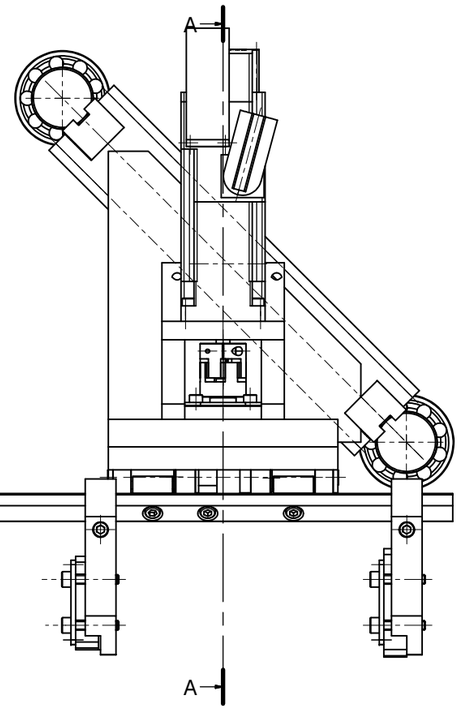
ARTICLE	NUMERO DE PIECE	QTE	DESCRIPTION	MATIERE	MASSE
1	1000-1101	1	Bras principal	E26	0,837 kg
2	1000-1102	2	Bloc support pivot	E26	0,197 kg
3	1000-1103	2	Axe pivot bras de préhension	34 Cr Mo 4	0,511 kg
4	1000-1106	1	Platine support mécanisme de préhension	E26	1,698 kg
5	1000-1107	2	Rondelle d'arrêt axe entrée bras	E26	0,057 kg
6	1000-1201	1	Embase	E26	3,422 kg
7	1000-1202	2	Platine latérale	E26	0,856 kg
8	1000-1203	1	Platine support moteur préhension	E26	0,297 kg
9	1000-1301	2	Rail de réglage préhension	42 Cr Mo 4	0,773 kg
10	1000-1302	2	Corps principal machoire	E26	0,329 kg
11	1000-1303	4	Patin de serrage	E26	0,027 kg
12	1000-1304	4	Pate de serrage	E26	0,024 kg
13	1000-1305	4	Réhausseur axe pivot mâchoires	E26	0,035 kg
14	1000-1306	2	Axe pivot mâchoire	34 Cr Mo 4	0,173 kg
15	1000-1309	4	Rondelle d'arrêt	E26	0,006 kg
16	1000-1310	2	Secteur denté pilotage mâchoires	34 Cr mo 4	0,059 kg
17	1000-1311	2	Butée de réglage angulaire	34 Cr Mo 4	0,095 kg
18	1000-1312	2	Entretoise	E26	0,007 kg
19	1000-1313	2	Entretoise secondaire	-	0,002 kg
20	1000-1314	2	Interface mâchoire	ABS	0,073 kg
21	1000-1315	2	Couvercle de maintien lignes mâchoires	E26	0,582 kg
22	1000-1316	1	Boîtier roulement vis sans fin	E26	0,137 kg
23	1000-1317	1	Plaque d'arrêt roulement vis sans fin	E26	0,023 kg
24	1000-1322	2	Corps de mâchoire AR	E26	0,328 kg
25	1000-1323	1	Axe de vis sans fin	34 Cr Mo 4	0,060 kg
26	1000-1324	1	Rondelle d'arrêt vis sans fin	E26	0,003 kg
27	1000-1325	1	Vis sans fin	34 Cr Mo 4	0,023 kg
28	1000-1326	1	Plaque de protection	E26	0,115 kg
29	1000-1327	2	Interface AV mâchoire	ABS	0,071 kg
30	ST001	4	Vis cylindrique à six pans creux ISO 4762 - M8 x 50	-	0,027 kg
31	ST002	4	Vis cylindrique à six pans creux ISO 4762 - M6 x 25	-	0,009 kg
32	ST003	8	Vis cylindrique à six pans creux ISO 4762 - M6 x 30	-	0,010 kg
33	ST004	8	Vis cylindrique à six pans creux ISO 4762 - M6 x 45	-	0,013 kg
34	ST005	6	Vis cylindrique à six pans creux ISO 4762 - M6 x 35	-	0,011 kg
35	ST007	2	Vis à tête fraisée à six pans creux ISO 10642 - M8 x 20	-	0,010 kg
36	ST101	4	Roulement à une rangée de billes à gorge profonde SKF 63001-2RS1	-	0,032 kg
37	ST102	4	Roulement BS 6267 15 x 28 x 13	-	0,029 kg
38	ST103	4	Anneaux élastiques pour arbre DIN 471 - 15x1	-	0,001 kg
39	ST106	5	Vis à tête fraisée à six pans creux ISO 10642 - M5 x 16	-	0,003 kg
40	ST107	2	Rondelles pour vis à six pans DIN 126 - 6,6	-	0,001 kg
41	ST108	2	Vis à tête hexagonale ISO 4017 - M6 x 20	-	0,007 kg
42	ST109	8	Vis cylindrique à six pans creux ISO 4762 - M5 x 20	-	0,005 kg
43	ST110	2	Roulement à billes à contact oblique SKF 7202 BE	-	0,038 kg
44	ST111	4	Roulement à contact oblique DIN 615 - L 30 - 30 x 62 x 16	-	0,183 kg
45	ST301	1	Moteur Siemens xxx	-	0,614 kg

Autodesk Inventor Pro 2010

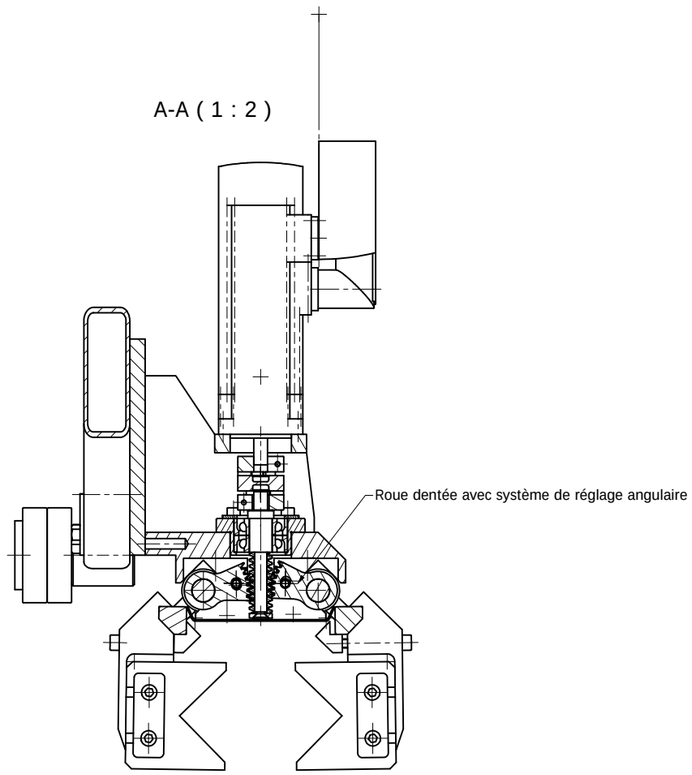
PROPOSITION DE CORRECTION



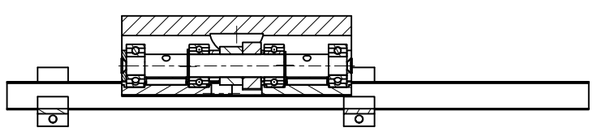




A-A (1 : 2)



B-B (1 : 2)



Autodesk Inventor Pro 2010

Analyse des contraintes et antériorités fonctionnelles du chariot moteur			***Surfaces ou groupes de surfaces qui participent au positionnement de l'élément étudié pour qu'il réalise au mieux la fonction pour laquelle il est destiné (dans l'ordre d'importance des degrés de liberté supprimés).***						***Caractéristiques***	
Surf aces ou groupes de surfaces fonctionnels		***Fonction Technique Assurée***	***Primaire***		***Secondaire***		***Tertiaire***		***Intrinsèques (dimensions, positions relatives entre éléments du groupe…)***	***De Contact (Fixe, frottement…)***
ID	***Désignation***		*ID*	*Contrainte*	*ID*	*Contrainte*	*ID*	*Contrainte*		
GC1	Appui patin	**MIP Chariot moteur**							Coplanarité relative entre les surfaces	AF moyen
GC3	Alignement des patins	**MIP Chariot moteur**	GC1	Perpendiculaire					// et distance entre surfaces	AF moyen
SC1	Butée	**MIP Chariot moteur**	GC1	Perpendiculaire	GC3	Perpendiculaire				AF moyen
GC2	Portées de centrage	**MIP Vilebrequin**	GC1	Perpendiculaire	GC3	Distance	SC1	Distance	Diamètre des portées et coaxialité relative entre les surfaces	AF difficile
SC2	Butée axiale	**MIP Vilebrequin**	GC2	Perpendiculaire	GC1	Distance				
S3	Surface libre face chapeau	Garantir pré-serrage roulements	GC2	Perpendiculaire	SC2	distance				
S2	Surface libre face rlmt arrière	'' ''	GC2	Perpendiculaire	SC2	distance				
SC3	Logement écrou à billes	Garantir passage vis	SC1	Perpendiculaire	GC1	Distance	GC3	Distance	Diamètre	AF difficile
S1	Surface fond de logement écrou à billes	Garantir assemblage écrou à billes	SC1	Parallélisme et distance						

Définition : un groupe de surfaces est constitué de plusieurs surfaces qui assurent la même fonction technique.

Feuille d'analyse préparatoire à la spécification de composants

Fonction technique assurée :
MIP, MAP, passage d'autres pièces, rigidité de la pièce etc.

S = surface libre
SC = surface de contact
SB = surface brute

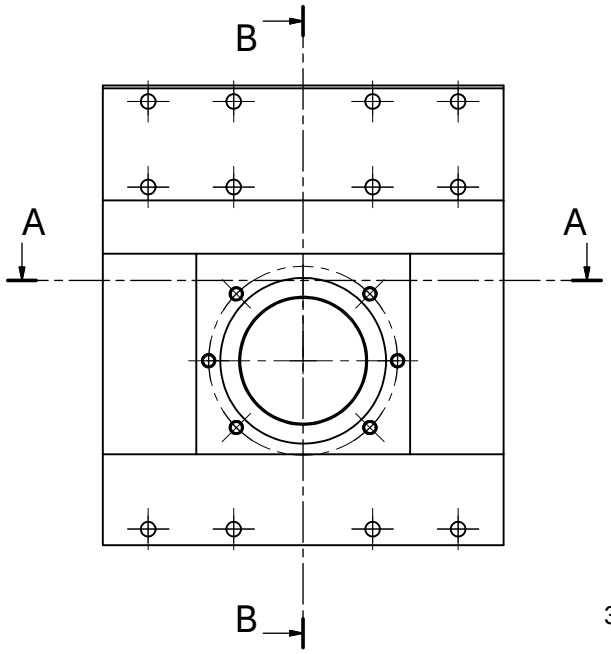
G = groupe des surfaces libres
GC = groupe des surfaces de contact
GB = groupe des surfaces brutes

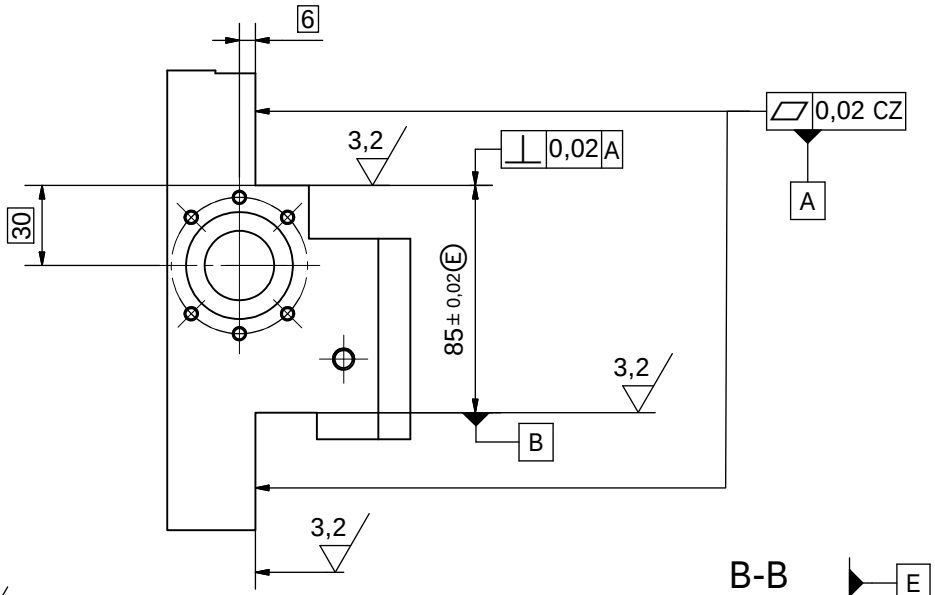
Caractéristiques intrinsèques :
spécifications de forme, Diamètre, distance interne dans le groupe

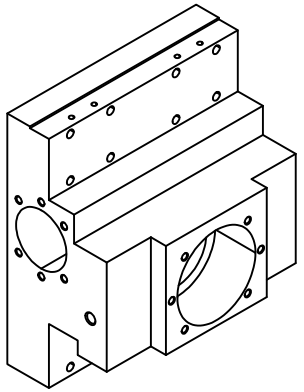
Caractéristiques de contact :
Fonction de contact, rugosité, traitements de surface

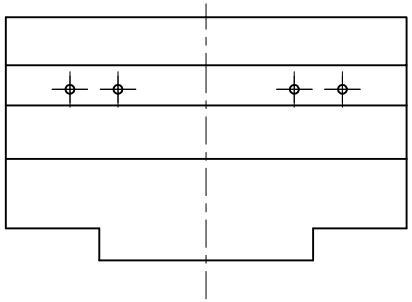
DOCUMENT DR 8

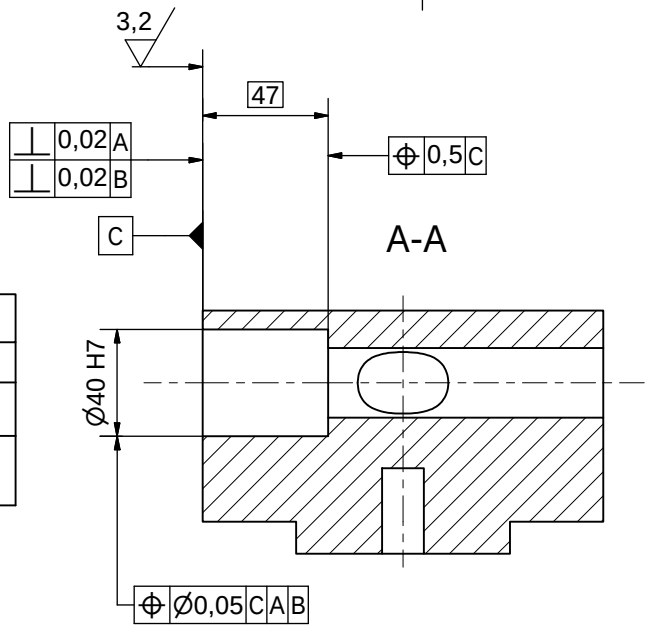
Tolérances générales ISO 2768 mK

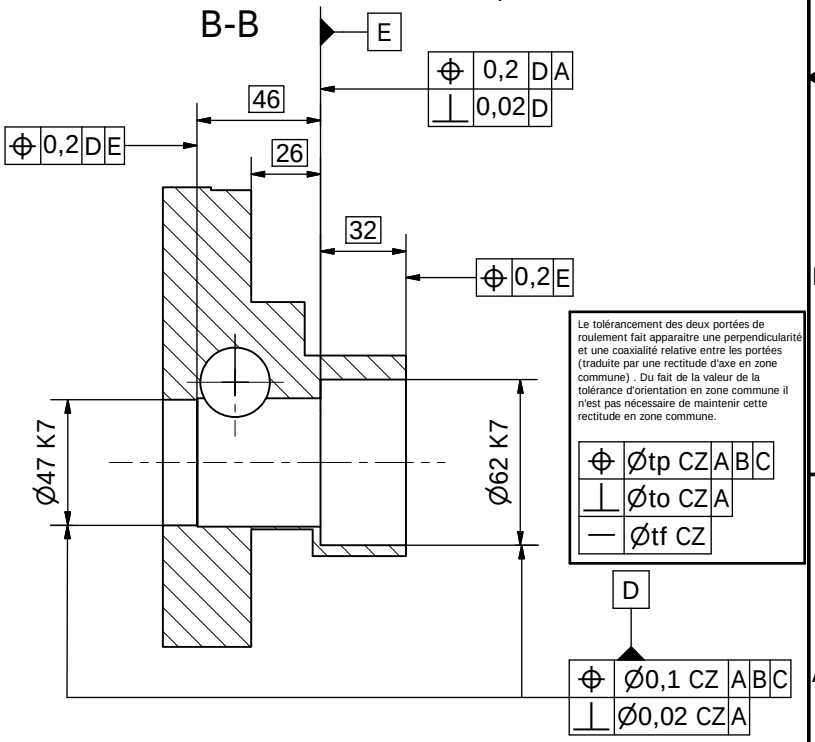










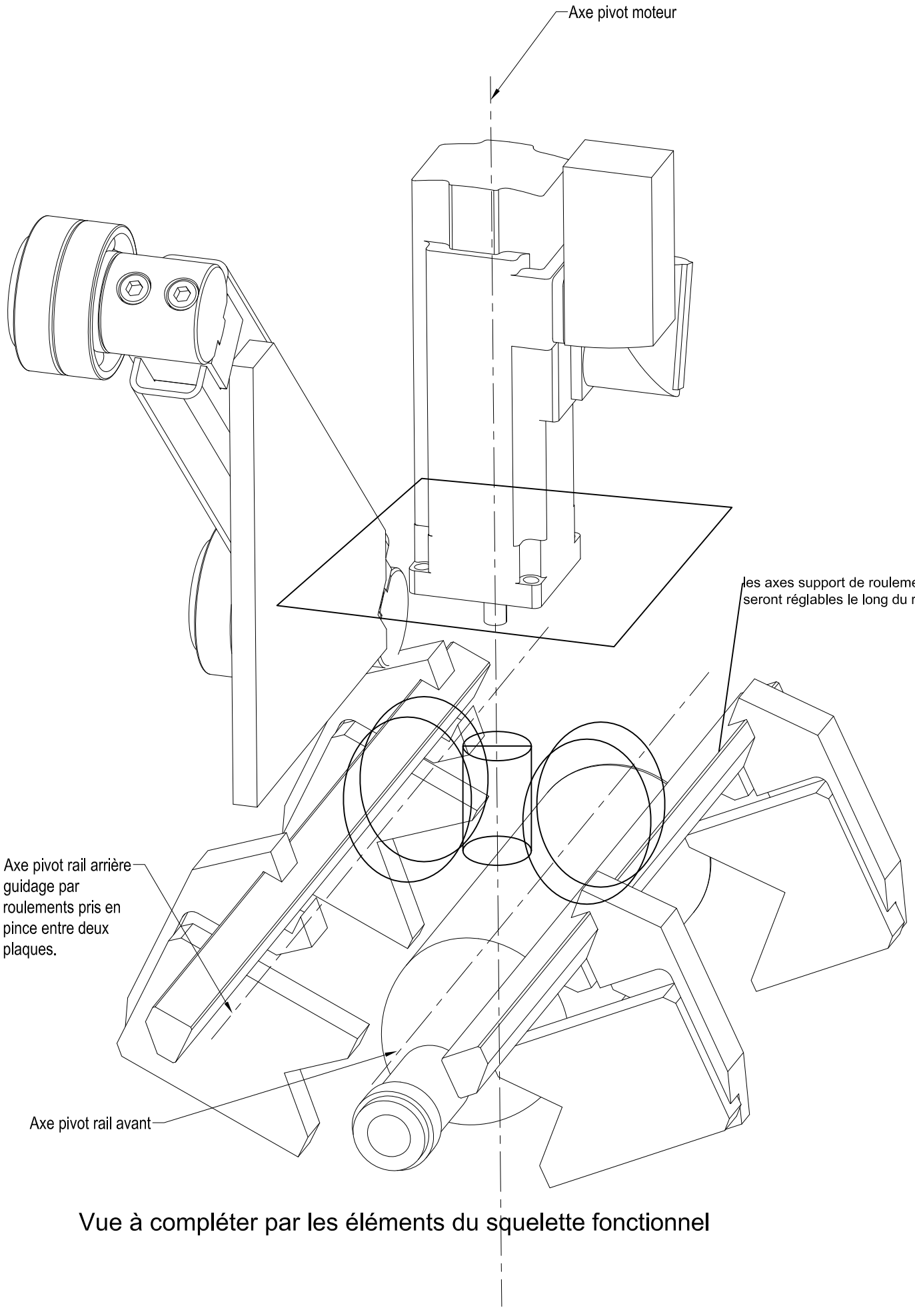


Le tolérancement des deux portées de roulement fait apparaitre une perpendicularité et une coaxialité relative entre les portées (traduite par une rectitude d'axe en zone commune) . Du fait de la valeur de la tolérance d'orientation en zone commune il n'est pas nécessaire de maintenir cette rectitude en zone commune.

⌖	Øtp CZ A B C
⊥	Øto CZ A
—	Øtf CZ

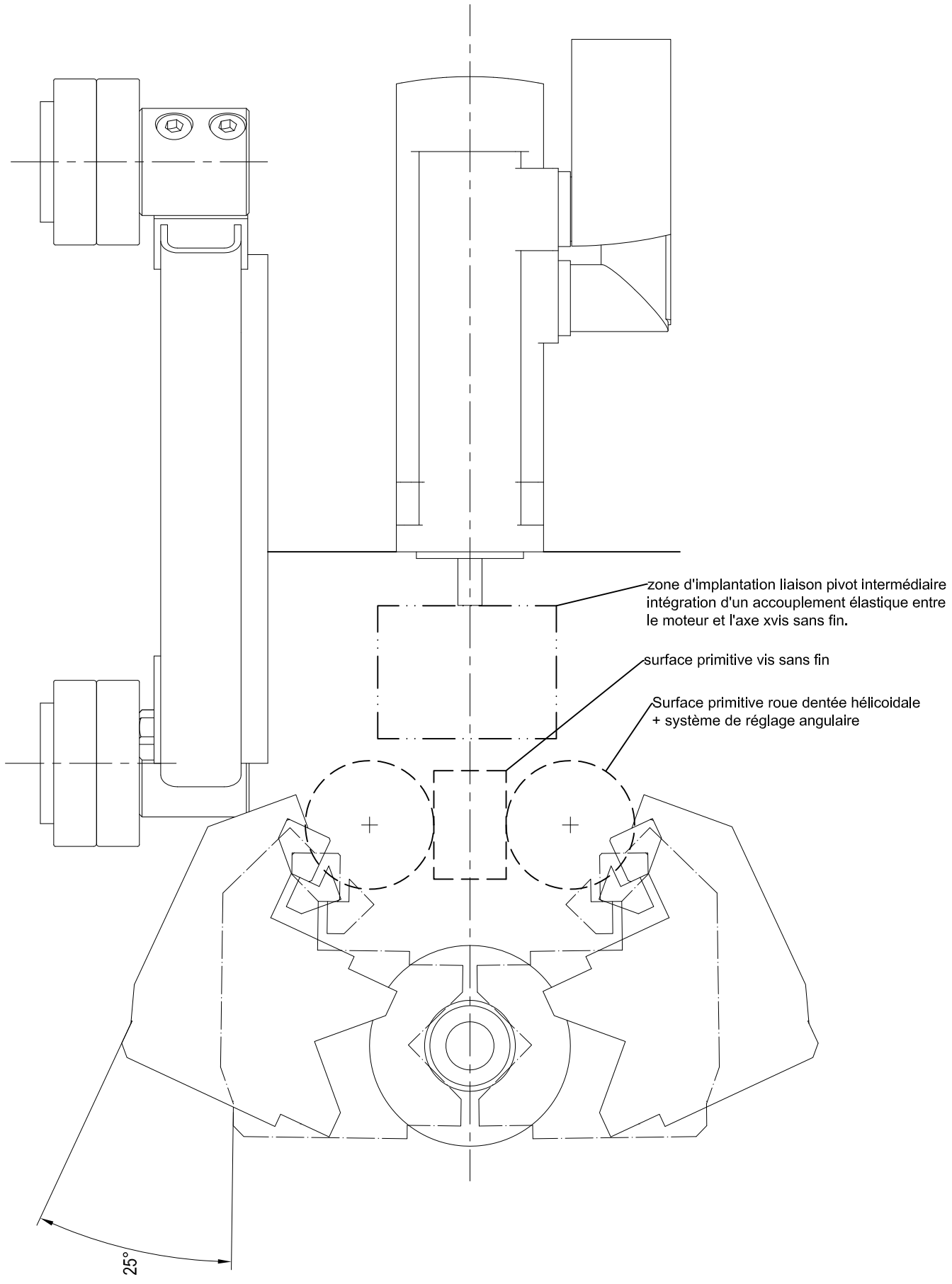
Proposition de correction

Document DR 7



Vue à compléter par les éléments du squelette fonctionnel

A (1 : 2)



DOCUMENT DR6

COMMENTAIRES RELATIFS A L'EPREUVE ANALYSE ET CONCEPTION DES SYSTEMES 2009

MACHINE A SERIGRAPHIER HAUTE CADENCE

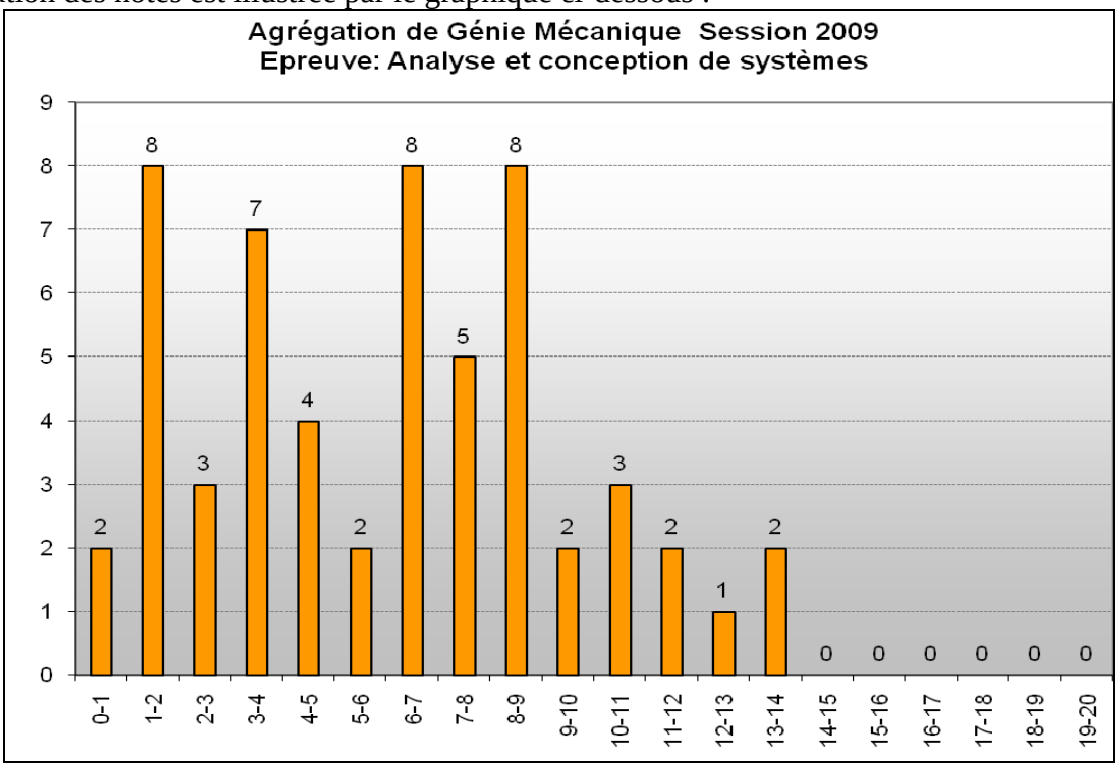
Le thème retenu pour cette épreuve est un sous ensemble de chargement de bouteilles sur une machine à sérigraphier. Le sujet est découpé en quatre parties :

- une approche d'analyse du mécanisme et une étude cinématique qui conduit à vérifier le comportement du mécanisme sollicité à une cadence élevée.
- une partie énergétique permettant de vérifier le choix de la motorisation.
- une phase de conception du système de préhension de la bouteille.
- une étape de spécification géométrique d'un composant principal du mécanisme.

L'analyse préliminaire du mécanisme était incontournable. Les autres parties du sujet pouvaient être abordées indépendamment, évitant à un candidat dans l'incapacité de répondre à une question d'être bloqué.

Histogramme et statistiques

58 candidats ont composé lors de cette épreuve.
Moyenne : 6,10
Note mini : 0,54
Note maxi : 13,60
Ecart type : 3.44
La distribution des notes est illustrée par le graphique ci-dessous :



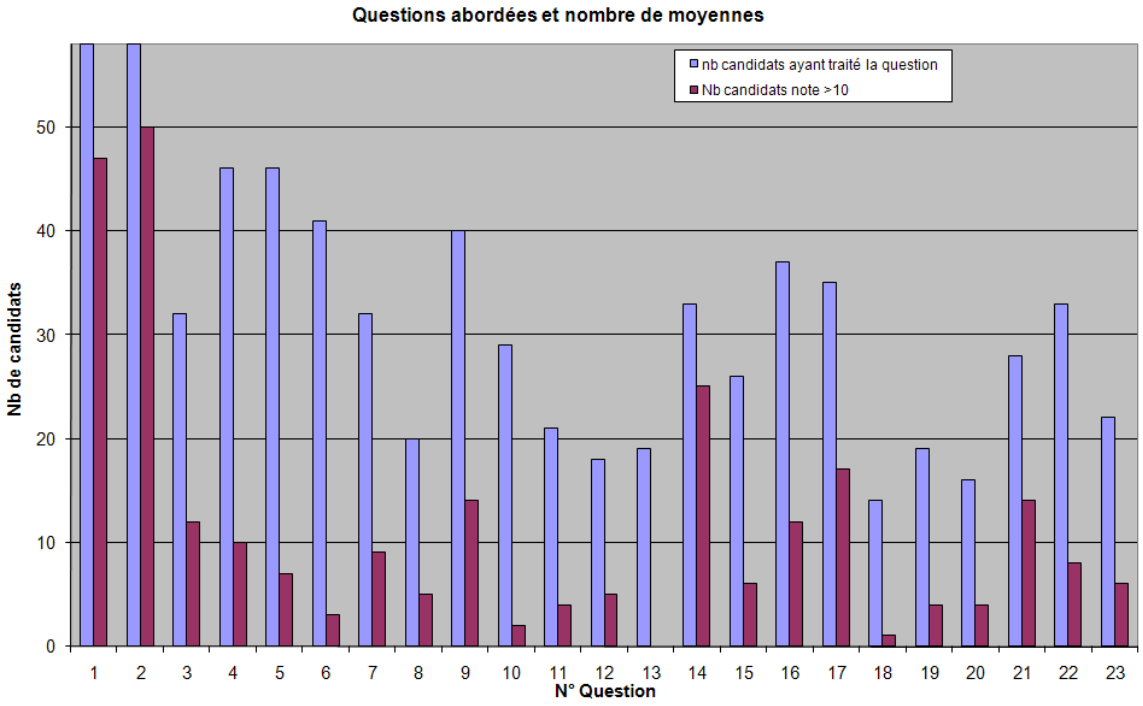
L'histogramme révèle quatre groupes distincts :

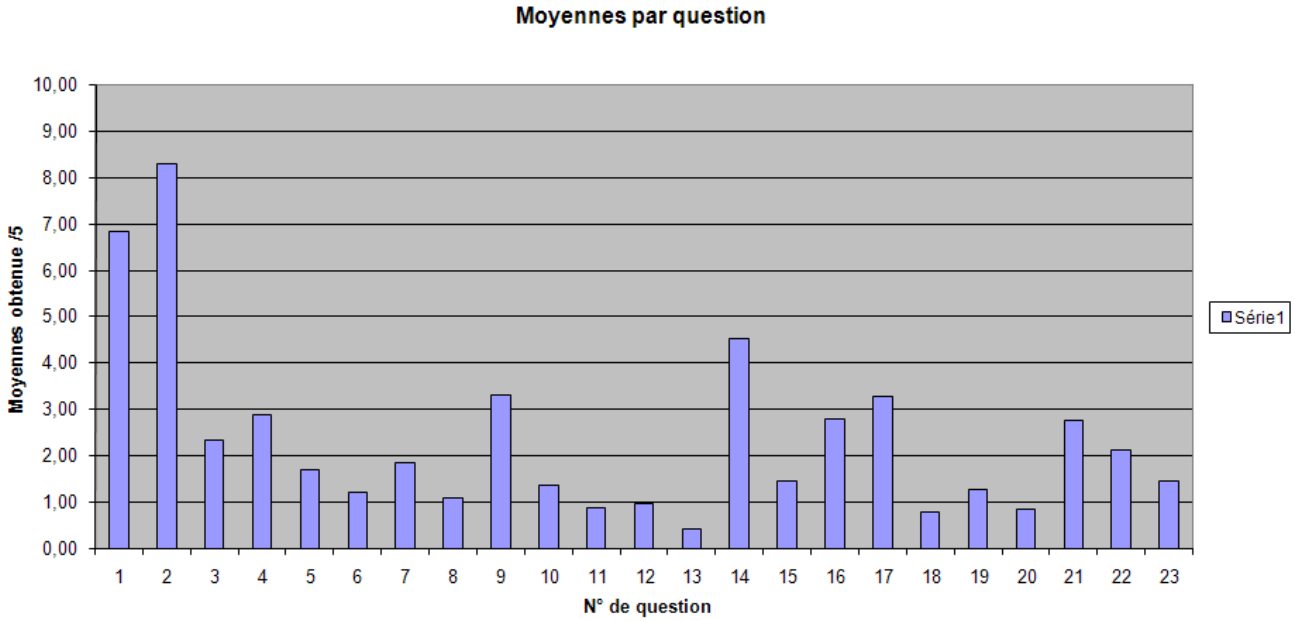
- Le premier comprend environ 13 candidats, qui se sont révélés incapables d'aborder le problème, quelle que soit la partie considérée. Ces candidats ne possèdent manifestement pas les fondements de la spécialité.
- Le deuxième groupe est composé de 26 candidats (notes comprises entre 3 et 8) qui se sont essayés sur les différentes parties sans succès. Ces copies révèlent un manque évident de recul et de maîtrise

par rapport aux champs du domaine de la conception.

- Le troisième groupe constitué des 13 candidats ayant obtenu une note entre 8 et 11 ont parcouru le sujet en répondant correctement aux questions faisant appel aux connaissances de base, et en proposant des réponses pas toujours approfondies aux questions plus ouvertes. La plupart de ces candidats ont fait des propositions de conceptions.
- Le quatrième groupe fait ressortir quelques candidats (5) qui ont proposés des solutions satisfaisantes pour une grande partie du questionnement.

COMMENTAIRES DETAILLES





PARTIE 1

Vérification du comportement du mécanisme

La première partie du sujet se décompose en une analyse préliminaire suivie d'une analyse cinématique. L'analyse préliminaire permet de comprendre la cinématique particulière du bras de chargement par le tracé de schémas cinématiques associés aux phases de fonctionnement (préhension et mise en place de la bouteille dans le poste support sur la machine à sérigraphier). Les deux premières questions ont été abordées par tous les candidats et ont été globalement réussies. Un grand nombre de candidat a compris le mécanisme mais s'est révélé incapable de fournir une schématisation pour la troisième phase de fonctionnement.

L'analyse cinématique :

Cette étude privilégie l'approche graphique. Les candidats qui ont atteint l'objectif fixé sont ceux qui ont été capables de structurer leur raisonnement et d'accompagner leurs tracés d'une rédaction explicite. Nous constatons qu'un grand nombre de copies sont dénuées de rigueur dans le raisonnement et dans les notations utilisées. Malgré le travail préparatoire sur les classes d'équivalence du mécanisme, les notions de vecteur vitesse, CIR, trajectoires, mouvements ne sont pas maîtrisées.

PARTIE 2

Vérification du choix du moteur d'axe

Cette partie s'intéresse au dimensionnement d'un actionneur électrique.

Puissance motrice nécessaire

Les informations à disposition des candidats avaient pour objectif de l'orienter sur une résolution simple par le théorème de l'énergie cinétique appliqué sur des corps en translation et en rotation.

Seule la moitié des candidats s'est essayée à l'exercice proposé et ce sans grand succès. Certains ont cherché à mettre en œuvre l'outil torseur sans pour autant le maîtriser. D'autres sont partis dans des simplifications dénuées de sens. Certains résultats présentés font état d'unités plus qu'inadaptées, d'ordre de grandeurs qui devraient porter à réflexion sur leurs justesses…

Inertie équivalente et conclusion

Un tiers des candidats a traité cette question. Seuls trois sont arrivés à un résultat valide… Quant aux conclusions, la remise en cause du choix du moteur (sur une question de vérification !) est quasi systématique.

PARTIE 3

Conception du système de préhension

Le système de préhension devant saisir une nouveau type de bouteille, la démarche consiste à vérifier un composant principal de la chaîne cinématique : l'axe de vilebrequin, puis à concevoir le mécanisme de transformation de mouvement sous forme de croquis, de squelette et de schéma de proposition de solutions constructives.

Vérification mécanique du composant axe de vilebrequin

Le travail principal du candidat consistait :

- à identifier une situation de calcul à partir de résultats de simulation dynamique. La moitié des candidats a répondu aux attentes.
- à proposer un modèle de calcul et à le mener à bien. Seuls cinq candidats ont mis en évidence la sollicitation flexion torsion du composant…

Conception du système de préhension

L'outil de recherche de fonctions technique FAST semble être méconnu.

Les deux tiers des candidats ont proposé des solutions sous forme de schémas « cinématiques » et/ou « technologiques ». Les argumentaires avantages et inconvénients sont souvent pauvres. La non réversibilité du mécanisme a globalement été prise en compte. Toutefois parmi les solutions proposées beaucoup montrent des confusions dans la notion d'entrée sortie des systèmes irréversibles.

Le passage à la représentation tant sous forme de squelette que de croquis légendés pose un gros problème aux candidats. Seul un tiers a essayé et deux ou trois candidats ont proposés des éléments de solutions compréhensibles.
Il s'agit d'un point important des connaissances nécessaires à l'enseignement dans le domaine de la mécanique et du génie mécanique.

PARTIE 4

Spécification du mécanisme

La première question consiste à déterminer un défaut angulaire entre les deux axes d'articulation du bras de préhension. Les données à disposition des candidats reprenaient les dessins de détail des pièces constituant le bras. A partir des différentes tolérances géométriques et de l'outil torseur des petits déplacements la quantification n'a été conduite avec succès que par trois candidats.
Les autres questions étaient basées sur les étapes quasi incontournables de la spécification.
Le graphe de contact hiérarchisé n'a été construit correctement que par treize candidats. L'identification des surfaces fonctionnelles et l'analyse géométrique associée n'a été conduite a son terme que par près de 8 candidats.
Quant à la matérialisation sous forme de codage ISO, seuls deux candidats ont fait des propositions de codage valides par rapport à la norme sans pour autant répondre totalement aux besoins fonctionnels.

EN CONCLUSION

Compte tenu des résultats obtenus sur l'ensemble du questionnement il semblerait que la majorité des candidats ne ressente pas l'importance des champs associés à la conception mécanique. Ces champs portent sur les démarches de conception, la proposition d'une architecture raisonnée en passant par son dimensionnement (approche cinématique, énergétique et résistance des matériaux), ainsi que sur la spécification géométrique des composants conçus.
Il est important de rappeler que dans les nouveaux référentiels, les professeurs de génie mécanique sont de plus en plus souvent associés aux professeurs de construction autour de démarches de projet dans le cadre d'une approche ingénierie simultanée.
Ce qui manque cruellement aux candidats c'est la capacité à aborder des problèmes concrets, à leur associer des modèles, des hypothèses simplificatrices et à mettre en œuvre des outils basiques de résolution qui, compte tenu du niveau exigé par le concours, ne devraient présenter que peu de difficulté.