

**AGRÉGATION DE MÉCANIQUE**  
**CONCOURS EXTERNE**  
Session 2009

**Rapport des membres du jury**

**SOMMAIRE**

- 1. Présentation du concours :** [01 – Présentation Agrégation Méca Ext 2009.pdf](#)
  - Composition du Jury
  - Observations générales
  - Références des textes officiels et programmes
  - Statistiques
  
- 2. Épreuves d'admissibilité : sujets, éléments de corrigé, résultats et commentaires**
  - Mécanique générale et milieux déformables
    - ÉPREUVE DE MECANIQUE Sujet, [02 – Méca 2009 Sujet.pdf](#)
    - ÉPREUVE DE MECANIQUE Corrigé, [03 – Méca 2009 Corrigé.pdf](#)
    - ÉPREUVE DE MECANIQUE Commentaires, [04 – Méca 2009 Commentaires.pdf](#)
  - Analyse et conception des systèmes
    - ÉPREUVE D'ANALYSE ET CONCEPTION Sujet, [05 – ACS 2009 Sujet.pdf](#)
    - ÉPREUVE D'ANALYSE ET CONCEPTION Corrigé, [06 – ACS 2009 Corrigé.pdf](#)
    - ÉPREUVE D'ANALYSE ET CONCEPTION Commentaires, [07 - ACS 2009 Commentaires.pdf](#)
  - Automatique - Informatique industrielle
    - ÉPREUVE All Sujet, [08 – All 2009 Sujet.pdf](#)
    - ÉPREUVE All corrigé, [09 – All 2009 Corrigé.pdf](#)
    - ÉPREUVE All Commentaires, [10 – All 2009 Commentaires.pdf](#)
  
- 3. Épreuves d'admission : résultats et commentaires** [11 – Epreuves orales.pdf](#)
  - ÉPREUVE DE LECON DE MECANIQUE,
  - ÉPREUVE SUR DOSSIER,
  - ÉPREUVE DE TP.

" LES RAPPORTS DES CONCOURS SONT ÉTABLIS SOUS LA RESPONSABILITÉ DES PRÉSIDENTS DE JURY."

## 1. PRESENTATION DU CONCOURS

### Composition du Jury

CARREZ Maryline	Professeure Agrégée
CHEVALIER Luc	Professeur des Universités (Président)
CROCHET Michel	Professeur ENSAM
DULUC Marie-Christine	Maître de Conférences
DUMERY Jean-Jacques	Inspecteur d'Académie - Inspecteur Pédagogique Régional
FICHOU Philippe	Inspecteur d'Académie - Inspecteur Pédagogique Régional
FOURNIS Sandrine	Professeure Agrégée
LEONI Denis	Professeur de Chaire supérieure
LOISY Michel	Inspecteur d'Académie - Inspecteur Pédagogique Régional
LONJOU Philippe	Professeur Agrégé
MAYA Michel	Professeur Agrégé
MENDES François	Professeur Agrégé, Chef des travaux (secrétaire général)
PAPANICOLA Robert	Professeur de Chaire supérieure
PERROT Norbert	Inspecteur Général de l'Éducation Nationale (Vice-président)
RACINEUX Guillaume	Professeur des Universités
RIOU Hervé	Professeur Agrégé
UTHEZA Françoise	Maître de Conférences

### Observations générales

#### *Résultats*

25 places ont été mises au concours lors de cette session. 84 candidats ont composé sur l'ensemble des épreuves. 93 ont composé à une épreuve au moins, ce qui est légèrement moins que l'année précédente. À l'écrit la moyenne des candidats ayant composé à la totalité des épreuves est de 8,3 sur 20, ce qui est significativement supérieur à la moyenne de l'an passé. La baisse du nombre de candidats présents n'a pas fait baisser la qualité des prestations. 54 candidats ont été déclarés admissibles, le dernier avec une moyenne de 6,0 sur 20.

Les épreuves d'admission se sont déroulées au Lycée Chaptal à Paris dans des conditions d'accueil très satisfaisantes. 3 admissibles ont renoncé à se présenter à l'oral.

Tous les postes ont été pourvus et les résultats montrent une moyenne générale des admis de 13,4 sur 20 (Le premier admis a obtenu une moyenne générale de 17,2 alors que le dernier admis a une moyenne générale de 10,0).

La barre d'admission traduit le bon niveau des derniers admis assez voisin de celui de l'an passé mais supérieur aux sessions antérieures. La raison en est double : la réduction de postes mis au concours depuis 5 ans et la combativité jugée supérieure des candidats admissibles. Cela réduit à néant les chances de réussite des candidats dont les prestations sont moyennes et assurées sans conviction.

Sur les mêmes critères que ceux mis en place l'an passé et expliqués dans la suite, les épreuves orales ont permis d'évaluer des compétences complémentaires à celles validées par les épreuves écrites. À ce propos, il faut saluer des prestations orales de qualité qui ont permis à plusieurs candidats mal classés après l'écrit de remonter au classement à l'issue de l'oral. Ces candidats, en mettant en avant leurs compétences pédagogiques et leur savoir-faire technique ont rattrapé, grâce à l'oral, un retard par rapport à de plus jeunes étudiants issus de centres de préparation ou de l'ENS. Pour beaucoup, cependant ce ne fut suffisant : cette année, 23 des 25 postes ont été pourvus par des

candidats ayant fait leur préparation à l'ENS. Il faut donc rappeler aux enseignants déjà titulaires du CAPET ou du CAPLP, que l'agrégation interne, malgré son petit nombre de postes (une dizaine), leur laisse aussi des chances de réussite.

### *Preamble : être professeur*

Le bulletin officiel du 4 janvier 2007 définit les 10 compétences communes que doivent avoir les professeurs d'école, de collège, de lycée :

1. Agir en fonctionnaire de l'État et de façon éthique et responsable.
2. Maîtriser la langue française pour enseigner et communiquer.
3. Maîtriser les disciplines et avoir une bonne culture générale.
4. Concevoir et mettre en oeuvre son enseignement.
5. Organiser le travail de la classe.
6. Prendre en compte la diversité des élèves.
7. Évaluer les élèves.
8. Maîtriser les technologies de l'information et de la communication.
9. Travailler en équipe et coopérer avec les parents et les partenaires de l'école.
10. Se former et innover.

Chacune de ces compétences est déclinée en connaissances, capacités et attitudes. Certaines de ces compétences s'acquièrent progressivement au cours de la formation de seconde année IUFM puis progressivement lors de sa carrière : elles sont difficiles à évaluer dans le cadre du concours de l'agrégation. Ainsi les compétences 1, 5, 6, 7 et 9 ne sont pas testées à l'agrégation ; en revanche les compétences 2, 3, 4, 8 et 10 font l'objet d'une évaluation.

La maîtrise de sa discipline, de la langue française et la culture générale constituent un pôle principalement évalué lors de l'écrit du concours. Concevoir la mise en oeuvre de son enseignement relève de compétences pédagogiques qui ne peuvent être testées que lors des épreuves orales. À la maîtrise des TIC, importante dans les activités pratiques menées par le professeur de mécanique, s'ajoute la maîtrise des moyens de mesures et le savoir-faire devant le matériel technique : cela doit aussi être testé lors des épreuves orales. Enfin, l'aptitude à se former et à innover, délicate à évaluer peut l'être lors des épreuves écrites mais plus aisément lors des épreuves orales. Il est néanmoins capital de pouvoir tester le potentiel d'adaptation du futur enseignant aux évolutions technologiques par exemple.

### *Objectifs des épreuves*

Les enseignements que le futur professeur agrégé de mécanique devra dispenser concernent les sciences et techniques industrielles, tout particulièrement la mécanique et les technologies de conception des systèmes mécaniques, mais aussi l'étude des systèmes et de leur commande (automatique). Outre une bonne culture générale et une maîtrise de langue française, les compétences en terme de connaissance scientifiques et techniques attendues du futur professeur agrégé de mécanique sont donc multiples :

- maîtrise des champs de connaissances de la mécanique (mécanique du solide rigide et déformables, mécanique des fluides, énergétique, méthode de résolution numérique de problèmes) ;

- maîtrise des démarches de conception, de dimensionnement et de validation des systèmes techniques ;
- maîtrise de la commande et de la régulation séquentielle ou continue des systèmes pluri techniques.

Les trois épreuves écrites évaluent essentiellement la maîtrise des connaissances dans ces trois domaines. De manière évidente les trois épreuves écrites permettent d'évaluer chacune des trois facettes de la discipline.

Il faut noter que seule l'épreuve de mécanique générale et des milieux déformables distingue les compétences scientifiques et techniques de l'agrégé de mécanique de celles de l'agrégé de génie mécanique à l'issue des épreuves écrites. Cette épreuve spécifique valide donc des compétences scientifiques de haut niveau dans les domaines cités plus haut mais aussi la capacité des candidats à modéliser, ce qui est un point essentiel pour l'analyse des systèmes : un premier pas dans ce sens a été fait dans le sujet de cette session. Cette capacité sera testée de manière systématique à l'avenir.

Un second point capital, dans l'étude des systèmes mécaniques est que le futur agrégé ne soit pas restreint par un champ de connaissances limité à la mécanique du solide (déformable ou rigide) mais possède suffisamment de recul dans les domaines de l'énergétique pour s'adapter aux enjeux de la conception de demain. Les sujets de ces dernières sessions mettaient en avant ces aspects en plaçant les questionnements sur la mécanique des fluides ou l'énergétique en début de sujet. Ces deux points seront mis en avant dans les futures sessions de l'agrégation de mécanique.

Outre un niveau disciplinaire élevé, l'agrégé de mécanique doit être capable de mobiliser ses connaissances avec pertinence et rigueur. Il doit aussi posséder des compétences pédagogiques, un savoir-faire technique et une grande capacité d'adaptation. Ces quatre volets sont détaillés ci-dessous :

### **Capacités disciplinaires**

- Mobiliser ses connaissances scientifiques et techniques.
- Enrichir ses connaissances en recherchant des documents.
- Appliquer des démarches, des modèles, avec rigueur.
- Mener des calculs mécaniques.
- S'assurer de l'exactitude des résultats.
- Analyser des résultats.
- Justifier et critiquer des choix.
- Concevoir une solution nouvelle.
- Modéliser (passer de la réalité au modèle).

### **Capacités pédagogiques**

- Identifier les connaissances à transmettre.
- Proposer un schéma pédagogique cohérent.
- Faire le choix des supports d'enseignement (objets d'étude).
- Contextualiser l'étude (choix d'une problématique, condition de fonctionnement..).
- Proposer des activités « élèves » adaptées.
- Communiquer et s'exprimer oralement.

- Présenter des informations visuelles (informations écrites, graphiques... au tableau, au vidéo projecteur, au rétro projecteur).
- Transmettre (savoir, savoir-faire, méthodologie...).
- Élaborer une fiche de synthèse.
- Scénariser une séquence d'enseignement.
- S'adapter au niveau (le modèle, le discours, la représentation...).

#### **Savoir faire technique**

- Conduire une expérimentation.
- Mettre en œuvre matériels ou équipements.
- Exploiter les résultats.
- Formuler des conclusions.
- Savoir utiliser les TIC.

#### **Capacités d'adaptation**

- Être autonome.
- Prendre des initiatives.
- Mettre en œuvre une méthodologie de résolution de pb.
- Rechercher et conduire un partenariat industriel.
- Se comporter devant des difficultés.

Les trois épreuves orales permettent de :

- confirmer le niveau de connaissances des candidats admissibles ;
- valider leur capacité à intéresser l'auditoire et leur maîtrise des moyens modernes de communication ;
- valider leur aptitude à transmettre des connaissances à un niveau donné.

La connaissance des programmes et des démarches pédagogiques spécifiques aux différents cursus sont évaluées durant l'épreuve de Leçon de Mécanique mais aussi partiellement durant les deux autres épreuves.

L'aptitude des candidats :

- à se rapprocher du monde industriel, à s'approprier une problématique et à participer à sa résolution et finalement, à transférer l'information dans un cadre académique est évaluée durant l'épreuve de dossier ;
- à s'approprier un matériel technique, à en identifier le fonctionnement et à effectuer des mesures pertinentes pour le caractériser est évaluée en épreuve de travaux pratiques.

L'aspect pluri technique des supports proposés permet d'évaluer l'aptitude des candidats à gérer un environnement expérimental au sein de son futur établissement.

Ces trois épreuves sont difficiles et les candidats, même les meilleurs, peuvent avoir le sentiment de ne pas avoir réussi tant l'objectif à atteindre semble hors de portée. Le jury est conscient du niveau d'exigence et accorde beaucoup d'importance au potentiel du candidat à s'adapter à ces contraintes, aux démarches mises en oeuvre, au recul pris par rapport à une problématique... Ainsi un candidat

peut obtenir une excellente note même si sa prestation présente quelques défauts pourvu qu'il soit conscient de ceux-ci et des axes de progrès à suivre.

Néanmoins, le jury est aussi exigeant sur la rigueur et la maîtrise des notions élémentaires de mécanique et à la culture technologique de base des candidats.

### *Évolutions des épreuves*

Dans un précédent rapport de jury, Jacques PERRIN (ex doyen de l'Inspection générale de Sciences et Techniques Industrielles) rappelait : « que l'émergence d'une culture des modèles n'a de sens qu'appuyée sur une bonne connaissance des solutions constructives. ». Cela confirme qu'un candidat ne possédant pas une culture technologique significative et actuelle aura de réelles difficultés pour prétendre à la réussite à ce concours. Cela se traduit par une grande attention à la « culture des systèmes pluritechniques ».

En effet, aujourd'hui il n'est plus possible d'ignorer que la conception globale des systèmes fait appel tout autant aux connaissances des systèmes de commande, électroniques programmables ou non, qu'à celles des chaînes d'action mécanique. Si ces dernières sont toujours le « cœur » du métier pour un agrégé de mécanique, il ne peut ignorer que les systèmes pluritechniques modernes intègrent une « intelligence » accrue dans leur commande. Commande qui permet de résoudre, à un moindre coût, de plus en plus de difficultés découlant du comportement de la chaîne d'action. Un agrégé de mécanique ne peut ignorer les rudiments de l'électrotechnique utiles à la caractérisation de la chaîne d'énergie, notamment des actionneurs électriques, de leur commande et de leur protection.

L'évolution des différentes formations dans lesquelles un agrégé de mécanique est susceptible d'intervenir milite aussi pour une plus grande polyvalence (classes préparatoires aux grandes écoles de type PT ou PSI, baccalauréat scientifique à dominante « sciences de l'ingénieur », baccalauréats technologiques dont les contenus sont en évolution). Ces considérations amènent à renforcer le poids de ces « savoirs » jusque là considérés comme « périphériques », notamment dans l'épreuve de travaux pratiques ou celle de dossier.

Au cours de cette session le dispositif de suivi des activités des candidats lors de l'épreuve de travaux pratiques a été encore affiné : l'encadrement des candidats est plus important au début de la préparation, il est guidé pour réaliser des manipulations élémentaires pour prendre en main le matériel. Ce dispositif donne entière satisfaction et évite en particulier que des candidats, dont le potentiel est réel, ne se découragent en cours d'épreuve suite à un blocage ponctuel. Par ailleurs, on insiste afin que la présentation de l'application pédagogique centrée sur une manipulation du matériel proposé ne soit pas négligée lors de son exposé devant le jury.

Lors de l'épreuve de dossier industriel, le jury a pu entendre des candidats brillants exposer sur la base d'études d'excellente qualité. En moyenne, les dossiers étaient de bonne qualité, même si quelques rares candidats n'ont pas fait l'effort, pourtant essentiel, de présenter des supports authentiques issus de l'industrie, ou se sont contentés de les exploiter sans grande conviction. Enfin, encore quelques candidats ont abandonné faute de disposer d'un dossier prêt dans les délais. Cette épreuve se prête particulièrement à l'évaluation des compétences fines dans le domaine de la conception mécanique et l'application pédagogique relevant de la mécanique pure est à éliminer au profit d'applications dans le domaine de la technologie.

L'utilisation des technologies de l'information et de la communication via les moyens informatiques est une pratique courante en salle de classe et la plupart des enseignants peut ainsi faire des démonstrations de logiciels, projeter des vidéos ou des animations, présenter des développements de cours en préparant sur micro-ordinateur des documents qui sont ensuite soit mis à disposition des élèves sur leur poste informatique, soit projetés en classe avec un vidéo projecteur, soit envoyés aux

élèves par courriel, soit mis à disposition sur un site internet. Ces possibilités ouvrent des portes à des approches pédagogiques que le tableau et la craie ou les transparents, seuls outils jusqu'alors disponibles pour l'épreuve de leçon de Mécanique, ne permettent pas d'atteindre.

Depuis trois sessions, un PC est mis à la disposition de chaque candidat en salle de préparation. Les documents du dossier d'accompagnement du sujet de la leçon sont disponibles sous une forme numérique que le candidat peut utiliser ou non pour sa prestation. Il peut ensuite, durant sa présentation devant le jury, projeter ces documents, animations ou démonstrations. Les programmes des classes de lycée pré et post bac sont à leur disposition ainsi que les programmes de DUT. Lors de cette session, les « techniques de l'ingénieurs<sup>1</sup> » sont aussi à la disposition des candidats et l'intégralité des documents est accessible des PC de la salle de préparation. Les candidats ne maîtrisant pas le fond de certaines leçons « pointues » pouvaient mettre en évidence leur capacité à rechercher et à structurer les informations à leur disposition.

Il apparaît également important de rappeler que le jury est particulièrement sensible à la qualité de présentation et de communication des candidats. Le message sur le manque de combativité de certains candidats, évoqué dans les rapports précédents, semble avoir été entendu : pratiquement aucun candidat n'a abandonné encore en cours d'épreuves d'admission. Le jury a apprécié.

Pour une formation efficace, on ne peut qu'inciter les futurs candidats à rejoindre les préparations organisées par le CNED, les Universités et les ENS, et à encourager ces établissements à rechercher et à mettre en œuvre tous les moyens nécessaires à une préparation de qualité. Les centres de préparation viennent visiter le jury durant les épreuves et les échanges qui ont lieu à cette occasion sont bénéfiques aussi bien pour les préparations que pour le jury. La visite d'un laboratoire de Sciences de l'Ingénieur en classe préparatoire ainsi qu'une discussion sur les méthodes pédagogiques autour des travaux pratiques serait enrichissantes pour le candidat à l'agrégation.

#### **Note importante :**

Les épreuves du concours de l'agrégation de Mécanique, comme celles de tous les concours de recrutement d'enseignants, sont l'équivalent au niveau de l'éducation nationale, des entretiens d'embauches dans le secteur privé. L'attitude, l'expression orale et écrite et la tenue des candidats sont aussi des critères qui permettent d'évaluer l'image que le futur enseignant transmettra aux jeunes dont il aura la charge. Ces points sont importants (voir compétence 1).

#### **Références des textes officiels et programmes**

Les textes régissant l'agrégation de mécanique ont été publiés dans les journaux et bulletins officiels dont les références sont rappelées ci-dessous.

BOEN n°38 du 21 octobre 2004 :

Modalité des concours de l'agrégation (section mécanique).

JO du 10 août 2005

Modifiant les modalités des concours de l'agrégation

JO n° 149 du 29 juin 2006, Arrêté du 20 juin 2006

Modifiant l'arrêté du 12 septembre 1988 modifié fixant les modalités des concours de l'agrégation et portant la durée de l'épreuve d'A.I.I. à 6h

BOEN spécial n°6 du 25 juin 2009 donnant le programme pour la session 2010

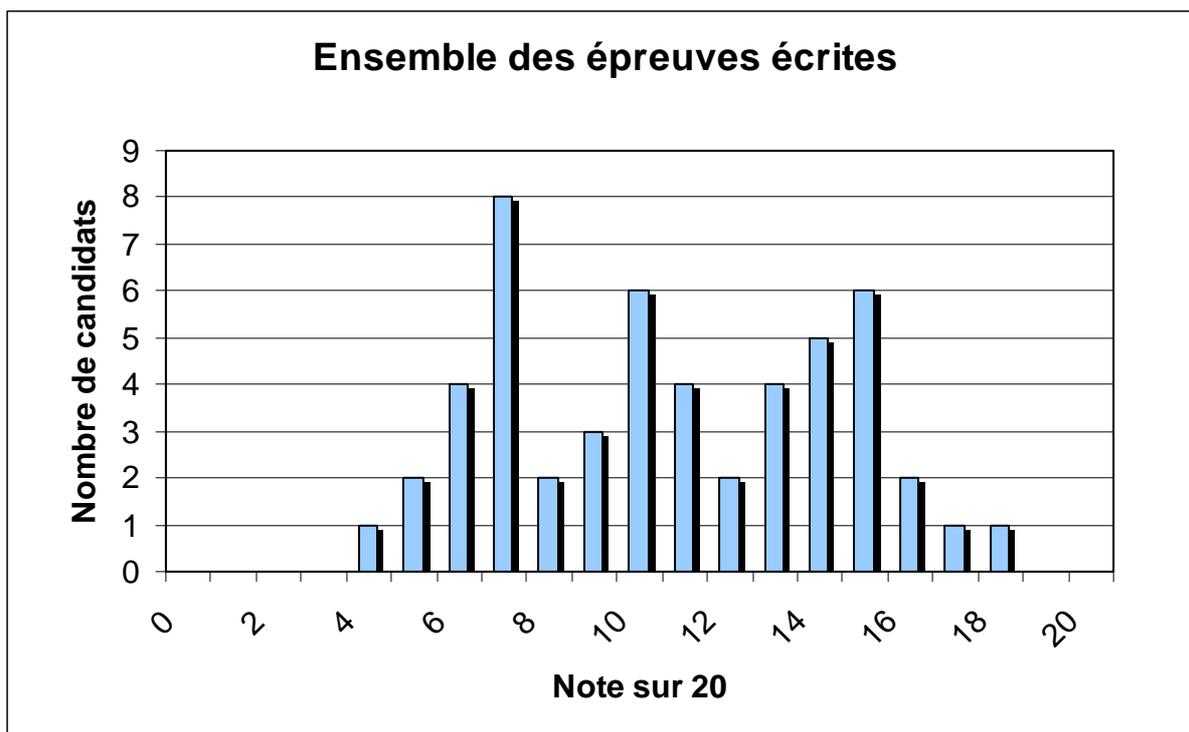
---

<sup>1</sup> Le jury remercie « Les techniques de l'ingénieurs » pour avoir mis gracieusement toute leur documentation sous forme numérique à sa disposition.

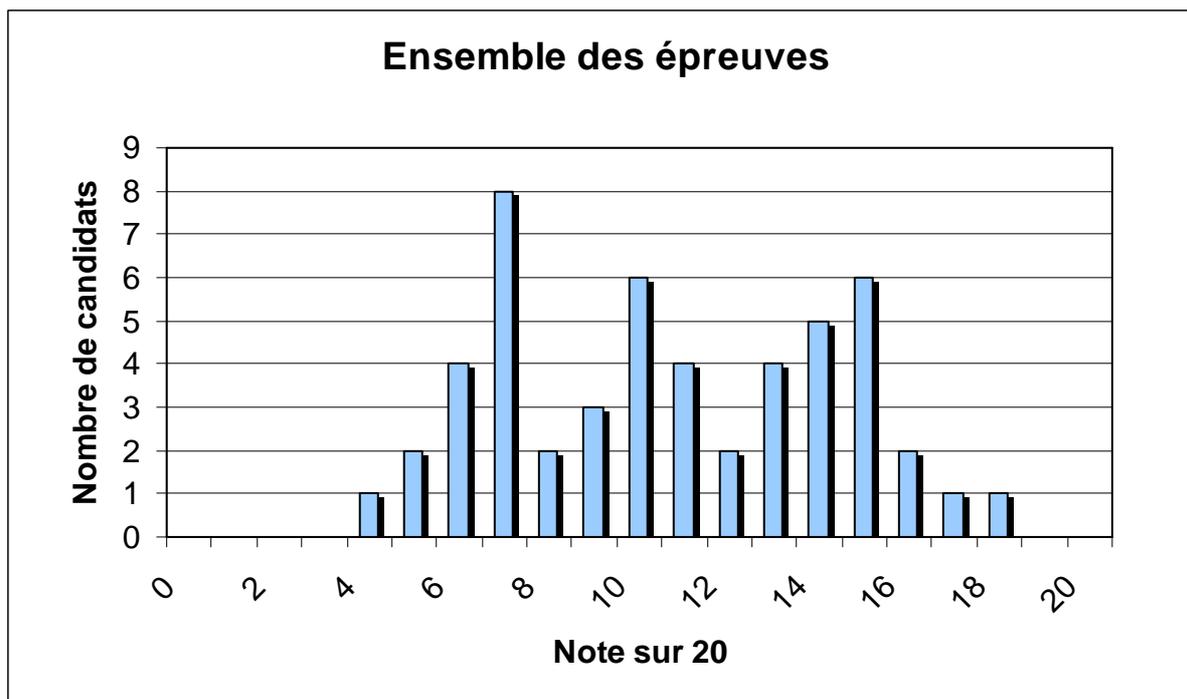
**Attention** : Pour l'épreuve de soutenance d'un dossier industriel les candidats doivent impérativement adresser au secrétariat du jury, à l'adresse de l'établissement centre d'épreuves, le dossier qu'ils doivent présenter, **cinq jours francs au moins avant la date fixée** pour le premier jour des épreuves d'admission. Les envois postaux doivent être faits par plis recommandés avec accusé de réception. En cas d'envoi par pli ordinaire le risque est grand d'une arrivée trop tardive, dans tous les cas, **seul le cachet de la poste fait foi de la date d'envoi**.

### Statistiques session 2009

Les deux graphes visualisent les distributions de notes à l'issue des épreuves écrites et à l'issue des épreuves orales.



*Distribution des moyennes des épreuves écrites pour les 84 candidats présents à l'ensemble des épreuves écrites*



*Distribution des moyennes des épreuves écrites et orales*

<b>Session</b>	<b>Inscrits</b>	<b>Présents Première épreuve</b>	<b>Présents Dernière épreuve</b>	<b>Admissibles</b>	<b>Admis</b>	<b>Nombre de postes</b>
<b>1994</b>	669	383	347	155	98	123
<b>1995</b>	689	432	397	161	92	123
<b>1996</b>	694	424	397	171	90	123
<b>1997</b>	792	526	491	175	101	116
<b>1998</b>	757	451	426	165	85	85
<b>1999</b>	736	393	363	167	81	81
<b>2000</b>	665	398	376	144	61	61
<b>2001</b>	598	377	358	141	61	61
<b>2002</b>	598	296	274	137	61	61
<b>2003</b>	491	301	286	94	49	49
<b>2004</b>	475	257	237	96	40	40
<b>2005</b>	442	212	204	96	43	43
<b>2006</b>	390	204	187	72	30	30
<b>2007</b>	324	153	144	75	30	30
<b>2008</b>	220	96	92	54	25	25
<b>2009</b>	195	93	84	54	25	25

*Évolution des nombres de candidats depuis 16 ans*

<b>Session</b>	<b>Moyenne obtenue par le premier admissible</b>	<b>Moyenne obtenue par le dernier admissible</b>	<b>Meilleure moyenne obtenue à l'oral</b>	<b>Plus basse moyenne obtenue à l'oral</b>	<b>Moyenne obtenue par le premier agrégé</b>	<b>Moyenne obtenue par le dernier agrégé</b>
<b>1994</b>	14,25	6,35	15,50	2,50	14,13	8,05
<b>1995</b>	13,30	6,50	15,10	2,20	13,70	7,75
<b>1996</b>	14,40	7,00	16,50	1,60	14,85	7,75
<b>1997</b>	17,20	8,00	17,80	1,00	16,85	8,05
<b>1998</b>	16,20	7,30	17,70	1,40	16,80	8,10
<b>1999</b>	16,68	7,00	15,30	0,85	15,12	8,21
<b>2000</b>	16,06	7,38	13,90	1,15	14,51	8,20
<b>2001</b>	15,63	6,85	15,75	1,50	15,14	8,47
<b>2002</b>	13,88	6,91	14,80	1,60	14,35	8,07
<b>2003</b>	17,70	8,00	14,10	2,00	14,95	8,30
<b>2004</b>	17,50	8,00	14,40	1,00	13,50	9,70
<b>2005</b>	19,00	8,00	14,64	5,14	16,07	9,07
<b>2006</b>	17,17	9,00	13,86	4,00	13,86	10,18
<b>2007</b>	16,75	7,20	15,38	2,25	15,25	9,82
<b>2008</b>	17,50	7,00	17,50	0,60	16,57	10,1
<b>2009</b>	18,50	6,00	17,98	1,51	17,24	10,0

*Évolution des résultats depuis 16 ans*

## **2. EPREUVES D'ADMISSIBILITE**

- **Épreuve de Mécanique Générale et des milieux déformables**
- **Épreuve d'Analyse et Conception des Systèmes**
- **Épreuve d'Automatique et Informatique Industrielle**

# **AGREGATION DE MECANIQUE**

**SESSION DE 2009**

**CORRIGE DE L'EPREUVE DE MECANIQUE DES  
SYSTEMES ET DES MILIEUX CONTINUS**

**Etude d'un ventilateur industriel**

# PARTIE 1 – PERFORMANCES DU VENTILATEUR

## 1-1 Moment en O en projection selon $\vec{z}$ de l'action du fluide sur le rotor

### 1-1.1 Application du théorème du moment dynamique

Appliquons le théorème du moment dynamique au domaine fluide compris entre l'entrée 1 et la sortie 2 de la roue du ventilateur en projection selon z :

$$\frac{d}{dt} \iiint_D \overrightarrow{OM} \wedge \rho \vec{V} . dv = \iiint_D \overrightarrow{OM} \wedge \rho . \vec{f} . dv + \iint_{\partial D} \overrightarrow{OM} \wedge \left[ \begin{matrix} \overline{\sigma} \\ \overline{n} \end{matrix} \right] . ds$$

**Calculs de cinétique :**

$$\frac{d}{dt} \iiint_D \overrightarrow{OM} \wedge \rho \vec{V} . dv = \underbrace{\frac{\partial}{\partial t} \iiint_D \overrightarrow{OM} \wedge \rho \vec{V} . dv}_{=0(\text{permanent})} + \iint_{\partial D} (\overrightarrow{OM} \wedge \rho \vec{V}) . \vec{V} \vec{n} . ds$$

$$\partial D = S_1(\text{entrée}) \cup S_2(\text{sortie}) \cup S_{\text{latérale}}$$

o A l'entrée

$$\vec{V}_1 = \begin{bmatrix} V_{1r} \\ V_{1\theta} \\ 0 \end{bmatrix} \quad \vec{n} = \vec{k}_r \quad ds = 2\pi R_1 dz \quad \overrightarrow{OM} = \begin{bmatrix} R_1 \\ 0 \\ z \end{bmatrix}$$

$$\vec{z} . [\overrightarrow{OM} \wedge \vec{V}] = R_1 \theta \quad \vec{V}_1 \vec{n} = V_{1r}$$

$$\vec{z} . \iint_{S_1} (\overrightarrow{OM} \wedge \rho \vec{V}) . \vec{V} \vec{n} . ds = -2 . \pi . R_1^2 . \rho \int_0^{e_1} V_{1\theta} . V_{1r} dz = -2 . \pi . R_1^2 . \rho . V_{1\theta} . V_{1r} . e_1$$

o A la sortie

$$\vec{V}_2 = \begin{bmatrix} V_{2r} \\ V_{2\theta} \\ 0 \end{bmatrix} \quad \vec{n} = \vec{k}_r \quad ds = 2\pi R_2 dz \quad \overrightarrow{OM} = \begin{bmatrix} R_2 \\ 0 \\ z \end{bmatrix}$$

$$\vec{z} . [\overrightarrow{OM} \wedge \vec{V}] = R_2 \theta \quad \vec{V}_2 \vec{n} = V_{2r}$$

$$\vec{z} . \iint_{S_2} (\overrightarrow{OM} \wedge \rho \vec{V}) . \vec{V} \vec{n} . ds = -2 . \pi . R_2^2 . \rho \int_0^{e_2} V_{2\theta} . V_{2r} dz = -2 . \pi . R_2^2 . \rho . V_{2\theta} . V_{2r} . e_2$$

o Sur les parois latérales :

La non pénétration implique  $\vec{V}_i \vec{n}_i = 0$  d'où

$$\iint_{S_l} (\overrightarrow{OM} \wedge \rho \vec{V}) . \vec{V} \vec{n} . ds = 0$$

**Actions mécaniques :**

$$\circ \iiint_D \overrightarrow{OM} \wedge \rho . \vec{f} . dv \approx \vec{0}$$

car  $\rho_{\text{air}}$  faible d'où  $\rho . \vec{g}$  négligé devant les autres actions mécaniques.

o A l'entrée

$$\text{Fluide parfait : } \left[ \begin{matrix} \overline{\sigma} \\ \overline{n} \end{matrix} \right] = \begin{bmatrix} -p & 0 & 0 \\ 0 & -p & 0 \\ 0 & 0 & -p \end{bmatrix} \quad \vec{n} = \vec{k}_r$$

$$\text{Et } \vec{z} . [\overrightarrow{OM} \wedge \left[ \begin{matrix} \overline{\sigma} \\ \overline{n} \end{matrix} \right] ] = 0$$

- A la sortie : idem
- Sur les surfaces latérales :

$$\vec{z} \cdot \iint_{S_{lat}} \overrightarrow{OM} \wedge \left[ \overrightarrow{\sigma} \right] \vec{n} \cdot d\vec{s} = C \quad \text{action recherchée.}$$

Equation obtenue :

$$C = 2 \cdot \pi \cdot [R_2^2 \cdot V_{2\theta} \cdot V_{2r} \cdot e_2 - R_1^2 \cdot V_{1\theta} \cdot V_{1r} \cdot e_1]$$

On peut introduire dans cette relation l'expression du débit :

En valeur absolue, on a :

$$q_m = 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot R_1 \cdot e_1 \cdot V_{1r} = 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot R_2 \cdot e_2 \cdot V_{2r}$$

Soit finalement :

$$C = q_m \cdot [R_2 \cdot V_{2\theta} - R_1 \cdot V_{1\theta}]$$

### 1-1.2 Application numérique

A l'entrée comme à la sortie :

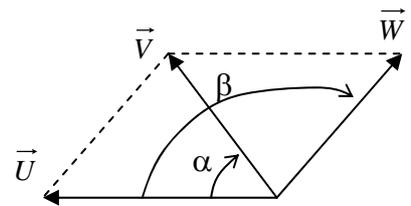
$$\vec{V} = \vec{W} + \vec{U} \quad \text{d'où} \quad \begin{aligned} V_r &= W_r + U_r = W_r \\ V_\theta &= W_\theta + U_\theta \end{aligned}$$

$$W_\theta = W \cdot \cos \beta$$

d'où on tire  $V_r = W \cdot \sin \beta$

$$V_\theta = \frac{V_r}{\tan \beta} + U$$

$$\text{et } V_r = \frac{Q_v}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot e} \quad U = \frac{\pi \cdot N}{30}$$



A l'entrée  
 $U_1 = 80,9 \text{ m/s}$   
 $V_{r1} = Q_v/S_1 = 51,5 \text{ m/s}$   
 $V_{\theta 1} = -29,6 \text{ m/s}$

A la sortie  
 $U_2 = 161,8 \text{ m/s}$   
 $V_{r2} = Q_v/S_2 = 51,5 \text{ m/s}$   
 $V_{\theta 2} = 134,45 \text{ m/s}$

$$C = 62872,5 \text{ m.N}$$

### 1-2 Théorème de Bernoulli en mouvement relatif

L'équation d'Euler (résultante) en mouvement absolu s'écrit :

$$\frac{d}{dt} \iiint_D \rho \vec{V} \cdot d\vec{v} = \iiint_D \rho \vec{f} \cdot d\vec{v} + \iint_{\partial D} \left[ \overrightarrow{\sigma} \right] \vec{n} \cdot d\vec{s}$$

qui pour un filet de fluide parfait en écoulement permanent se réduit à :

$$\rho \cdot \frac{d\vec{V}}{dt} = \rho \vec{f} - \overrightarrow{\text{grad}} p \quad \text{avec } \vec{f} = \vec{g} \text{ si fluide pesant.}$$

En observant les mouvements des particules par rapport à un repère relatif lié à la roue, on a

$$\vec{V} = \vec{W} + \vec{U} \quad \text{et} \quad \rho \cdot \frac{d\vec{W}}{dt} = \rho \vec{f} - \overrightarrow{\text{grad}} p \quad \text{avec } \vec{f} = \vec{g} - \vec{\Gamma}_c - \vec{\Gamma}_c$$

ici  $\rho \vec{g}$  est négligé devant les autres actions mécaniques et  $\vec{\Gamma}_e = -r \cdot \omega^2 \vec{k}_r$   $\vec{\Gamma}_c = 2 \cdot \omega \vec{k}_z \wedge \vec{W}$

On intègre cette relation le long d'un filet fluide en mouvement relatif en multipliant par  $d\vec{M} = \vec{W} \cdot dt$  les deux membres de la relation d'Euler en tenant compte que :

$$\frac{d\vec{W}}{dt} = \frac{\partial \vec{W}}{\partial t} + \text{grad} \frac{W^2}{2} + \text{rot} \vec{W} \wedge \vec{W} \text{ soit}$$

$$\rho \left[ \text{grad} \frac{W^2}{2} + \text{rot} \vec{W} \wedge \vec{W} \right] d\vec{M} = \left[ -\text{grad} p + \rho \left( -r \cdot \omega^2 \vec{k}_r + 2 \cdot \omega \vec{k}_z \wedge \vec{W} \right) \right] d\vec{M}$$

$$\text{or } r \cdot \omega^2 \vec{k}_r = \text{grad} \left( \frac{r^2 \cdot \omega^2}{2} \right) = \text{grad} \left( \frac{U^2}{2} \right) \text{ on a donc } \left[ \rho \left[ \text{grad} \left( \frac{W^2}{2} - \frac{U^2}{2} \right) + \text{grad} p \right] d\vec{M} = 0 \right]$$

$$\text{soit } \boxed{d \left[ \frac{W^2 - U^2}{2} \right] + \frac{dp}{\rho} = 0} \text{ ou bien } W \cdot dW - U \cdot dU + \frac{dp}{\rho} = 0$$

$$\text{en intégrant } \frac{W^2 - U^2}{2} + \frac{p}{\rho} = \text{cste}$$

$$\text{entre l'entrée et la sortie de la roue : } \frac{W_1^2 - U_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} = \frac{W_2^2 - U_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho}$$

Application numérique :

$$p_2 - p_1 = 9178 \text{ Pa}$$

### 1-3 Rothalpie

L'utilisation du premier principe de thermodynamique en écoulement permanent conduit à :

$$w_i + q_e = (h_2 - h_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \quad (1)$$

Si l'écoulement est adiabatique  $q_e = 0$ , alors  $w_i = (h_2 - h_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2}$  or

$$w_i = \frac{P}{q_m} = \frac{C \cdot \omega}{q_m} = (R_2 \cdot V_2 \theta - R_1 \cdot V_1 \theta) \cdot \omega = (U_2 \cdot V_2 \theta - U_1 \cdot V_1 \theta)$$

D'autre part  $\vec{V} = \vec{W} + \vec{U}$  d'où  $W^2 = V^2 + U^2 - 2\vec{V} \cdot \vec{U}$  et en reportant dans (1)

$$\frac{V_2^2 + U_2^2 - W_2^2}{2} - \frac{V_1^2 + U_1^2 - W_1^2}{2} = (h_2 - h_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \text{ après simplification il reste :}$$

$$\boxed{h + \frac{W^2 - U^2}{2} = \text{cste}} \text{ appelée rothalpie.}$$

$$\text{AN : } T_2 - T_1 = \frac{W_1^2 - U_1^2 - W_2^2 + U_2^2}{2c_p} = 14,8^\circ\text{C, pour une température d'entrée voisine de } 350^\circ\text{C}$$

$$\text{d'où } \rho_2 = \frac{p_2}{r \cdot T_2} = \frac{\rho_1 \cdot r \cdot T_1 + (p_2 - p_1)}{r \cdot [T_1 - (T_2 - T_1)]} = 0,63 \text{ kg/m}^3 \quad \text{et } \frac{\rho_2}{\rho_1} \approx 1,062$$

L'hypothèse fluide incompressible reste acceptable.

## 1-4 Etude des pertes de charge

### 1-4.1 Expression de $D_h$ et $S_w$

$$S_1 = e_1 \cdot l_1$$

$$S_2 = e_2 \cdot l_2$$

$$S_{w1} = e_1 \cdot l_1 \cdot \cos \beta_1 \quad \text{avec } l_1 = 2 \cdot R_1 \cdot \sin \pi/11$$

$$S_{w2} = e_2 \cdot l_2 \cdot \cos \beta_2 \quad \text{avec } l_2 = 2 \cdot R_2 \cdot \sin \pi/11$$

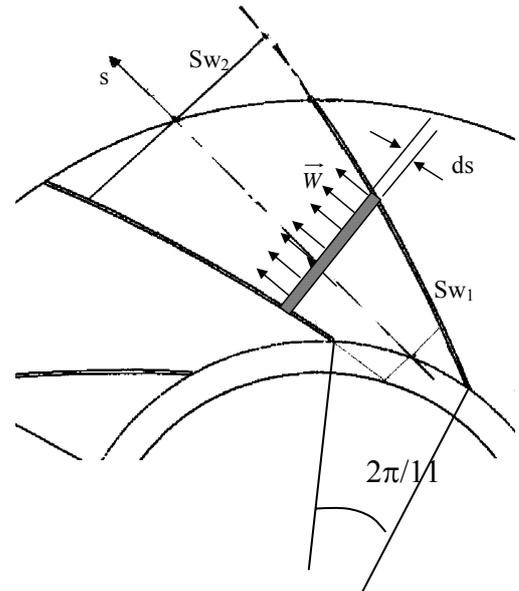
Si  $S_w$  de la forme  $S_w(s) = c \cdot s + d$  alors

$$c = \frac{S_{w2} - S_{w1}}{L} \quad \text{et } d = S_{w1} \quad c = 0,09726 \quad \text{et } d = 0,125$$

Si  $D_h$  de la forme  $D_h = a \cdot s + b$  alors

$$a = \frac{D_{h2} - D_{h1}}{L} \quad \text{et } b = D_{h1} \quad a = 0,09673 \quad \text{et } b = 0,229$$

$$W(s) = \frac{Q_v}{11 \cdot S_w} = \frac{Q_v}{11 \cdot (c \cdot s + d)} = \frac{q_v}{c \cdot s + d} \quad \text{avec } q_v = Q_v/11$$



### 1-4.2 Perte de charge linéique à l'intérieur de la roue

$$dJ = \lambda \cdot \frac{ds}{D_h} \cdot \frac{W^2(s)}{2} \quad \text{d'où}$$

$$J = \lambda \frac{q_v}{2} \int_0^L \frac{ds}{(a \cdot s + b) \cdot (c \cdot s + d)^2} = \lambda \frac{q_v}{2} \cdot \left( \frac{1}{aq - cb} \right) \cdot \left[ \frac{1}{cs + q} + \frac{a}{ad - cb} \cdot \ln \left( \frac{as + b}{cs + d} \right) \right]_0^L$$

$$\text{AN : } J_{\text{linéique}} = 641 \text{ J/kg}$$

$$\text{d'où } \Delta p_{\text{linéique}} = 379 \text{ Pa}$$

### 1-4.3 Perte de pression totale

$J_s = \xi \cdot \frac{V^2}{2}$  avec  $V$  vitesse du fluide en amont de la singularité.  $V = \frac{4 \cdot Q_v}{\pi \cdot (D_1^2 - d^2)}$  avec  $d$  diamètre de l'arbre.

$$\text{AN : } V = 106,9 \text{ m/s}$$

$$J_{\text{sing}} = 857 \text{ J/kg d'où } \Delta p_{\text{singulière}} = 506 \text{ Pa}$$

L'application du théorème de Bernoulli entre l'entrée et la sortie du ventilateur conduit à :

$$\frac{W_1^2 - U_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} = \frac{W_2^2 - U_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} + J_T \quad \text{avec } J_T = J_{\text{rég}} + J_{\text{sing}} = 885 \text{ Pa}$$

d'où on tire  $p_2 - p_1 \approx 8300 \text{ Pa}$ .

Or au point de fonctionnement, la différence de pression réelle n'est que de 80000 Pa. On en déduit qu'il y a encore des pertes non prises en compte. La caractéristique du ventilateur est réalisée dans des conditions normalisées où les pressions sont mesurées en des points qui ne sont pas directement en sortie de ventilateur.

## PARTIE 2 – ECHANGES THERMIQUES

### 2-1 Justification de la différence de température :

La zone située à l'extérieur de la roue est une zone "morte" où le fluide est au repos : on a des conditions qui sont proches de celles de l'état générateur soit :

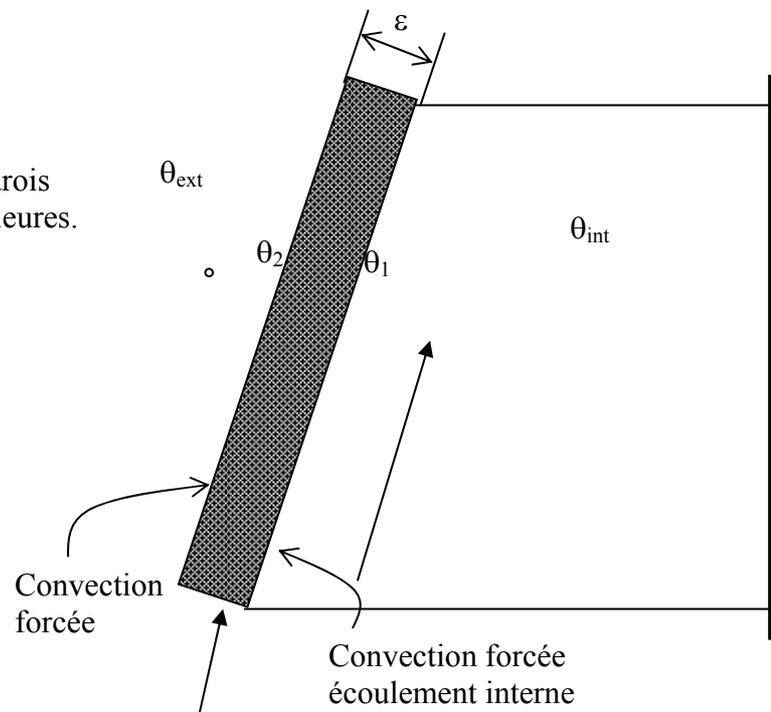
$$(\theta_{ext} - \theta_{int}) = \frac{V^2}{2 \cdot c_p} = 143^2 / 2126 = 9,6^\circ\text{C}$$

Or on enregistre une température plus faible. Il ne peut y avoir de différence de température en régime permanent, que s'il y a un flux de chaleur qui s'établit.

Cela signifie qu'il y a un échange de chaleur non négligeable entre cette zone et le local où est positionné le ventilateur.

### 2-2 Phénomènes en jeu

$\theta_1$  et  $\theta_2$  sont les températures de parois respectivement extérieures et intérieures.



### 2-3 Modèle

Pour une surface élémentaire  $ds = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr$ , le régime étant permanent, le flux est conservé à travers la paroi. De plus, les dimensions transversales étant très grandes par rapport aux autres dimensions, on suppose le problème unidimensionnel. On a donc :

- $d\Phi = h_1 \cdot (\theta_i - \theta_1) \cdot ds$        $(\theta_e - \theta_1) = d\Phi / (h_1 \cdot ds)$
- $d\Phi = \lambda \cdot (\theta_1 - \theta_2) \cdot ds / \varepsilon$        $(\theta_1 - \theta_2) = d\Phi \cdot \varepsilon / (\lambda \cdot ds)$
- $d\Phi = h_2 \cdot (\theta_2 - \theta_e) \cdot ds$        $(\theta_2 - \theta_i) = d\Phi / (h_2 \cdot ds)$

$$d'où \quad \theta_e - \theta_i = d\Phi \cdot \underbrace{\left[ \frac{1}{h_1 \cdot ds} + \frac{1}{\frac{\lambda \cdot ds}{\varepsilon}} + \frac{1}{h_2 \cdot ds} \right]}_{R_{th}} \quad \text{et} \quad d\Phi = \frac{\theta_e - \theta_i}{R_{th}}$$

## 2-4 Modèle simplifié

- Evaluation de  $h_1$  (écoulement interne)

$$Re = \frac{W_m \cdot D_h}{\nu} = \frac{80 \times 0,3}{50 \cdot 10^{-6}} = 4,8 \cdot 10^5 \text{ turbulent}$$

Nombre de Prandtl

$$Pr = \mu \cdot c_p / \lambda = 0,688 > 0,5$$

$$D'où \quad Nu = 0,035 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,3} = 1084,5 = \frac{h_1 \cdot D_h}{\lambda_{350}} \quad \text{on tire } h_1 = 162,6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

- $h_2 = 90 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- Calcul de la surface d'échange

$$S_{\text{échange}} = S_N / \cos \psi \quad \text{avec} \quad S_N = (D_2^2 - D_1^2) \cdot \pi / 4 = 10,66 \text{ m}^2 \text{ pour une face de rotor.}$$

- Calcul de la résistance thermique

$$R_{th} = \left[ \frac{1}{h_1} + \frac{1}{\frac{\lambda}{\varepsilon}} + \frac{1}{h_2} \right] \cdot \frac{1}{S} \quad \text{et} \quad \Phi = \frac{\theta_e - \theta_i}{R_{th}}$$

D'où  $\Phi = 12025 \text{ W}$  par face de rotor soit moins de 25 kW pour l'ensemble de la roue.

Comparé à la puissance échangée entre le fluide et la roue  $P = C \cdot \omega = 4,9 \text{ MW}$  cela représente 0,05% ce qui justifie l'hypothèse d'adiabaticité.

## PARTIE 3 : STABILITE DU ROTOR

### Partie 3-1 Mouvement du rotor

#### 3-1.1 : Expression des torseurs d'action au niveau des paliers :

$$\text{En A } \tau(\text{huile}/S) = \begin{cases} R(\text{huile}/S) = X_A \vec{X}_0 + Y_A \vec{Y}_0 \\ M_A(\text{huile}/S) = C_A \vec{Z}_s \end{cases}$$

$$\text{Avec } \vec{AA}' = \vec{OA}' - \vec{OA} = x \vec{X}_0 + y \vec{Y}_0 + d \vec{Z}_s - d \vec{Z}_0$$

$$\vec{Z}_s = (\vec{Z}_0 \cos \alpha + \vec{X}_0 \sin \alpha) \cos \beta - \vec{Y}_0 \sin \beta \text{ soit en ne gardant que les termes d'ordre 1}$$

$$\vec{Z}_s = (\vec{Z}_0 + \alpha \vec{X}_0) \cos \beta - \vec{Y}_0 \sin \beta$$

$$\text{d'où } \vec{AA}' = (x+d \cdot \alpha) \vec{X}_0 + (y-d \cdot \beta) \vec{Y}_0$$

$$\text{de même on obtient } \vec{BB}' = (x-d \cdot \alpha) \vec{X}_0 + (y+d \cdot \beta) \vec{Y}_0$$

finalement

$$\begin{cases} X_A = -K_{xx} \cdot (x+d \cdot \alpha) - K_{xy} \cdot (y-d \cdot \beta) \\ Y_A = -K_{yx} \cdot (x+d \cdot \alpha) - K_{yy} \cdot (y-d \cdot \beta) \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_B = -K_{xx} \cdot (x-d \cdot \alpha) - K_{xy} \cdot (y+d \cdot \beta) \\ Y_B = -K_{yx} \cdot (x-d \cdot \alpha) - K_{yy} \cdot (y+d \cdot \beta) \end{cases}$$

#### 3-1.2 Equations de mouvement :

Pour les mouvements recherchés, on choisit le théorème de la résultante dynamique appliqué au rotor en projection selon  $\vec{X}_0$  et  $\vec{Y}_0$ . On développera les calculs en ne gardant que des termes du premier ordre en ce qui concerne les paramètres  $x$ ,  $y$ ,  $\alpha$  et  $\beta$  dans les expressions et équations.

- Calculs de cinétique :

$\overline{R_d(S/R_0)} = M \overline{\Gamma(G/R_0)} + m \overline{\Gamma(P/R_0)}$  soit en projection sur les axes concernés :

$$\overline{R_d(S/R_0)} \cdot \vec{X}_0 = M \cdot \frac{d}{dt} [\overline{V(G/R_0)} \cdot \vec{X}_0] + m \cdot \frac{d}{dt} [\overline{V(P/R_0)} \cdot \vec{X}_0] = M \cdot \frac{d^2}{dt^2} [\overline{OG} \cdot \vec{X}_0] + m \cdot \frac{d^2}{dt^2} [\overline{OP} \cdot \vec{X}_0]$$

$$\overline{R_d(S/R_0)} \cdot \vec{Y}_0 = M \cdot \frac{d}{dt} [\overline{V(G/R_0)} \cdot \vec{Y}_0] + m \cdot \frac{d}{dt} [\overline{V(P/R_0)} \cdot \vec{Y}_0] = M \cdot \frac{d^2}{dt^2} [\overline{OG} \cdot \vec{Y}_0] + m \cdot \frac{d^2}{dt^2} [\overline{OP} \cdot \vec{Y}_0]$$

$$\circ \quad \overline{OG} = x \vec{X}_0 + y \vec{Y}_0$$

$$\circ \quad \overline{OP} = x \vec{X}_0 + y \vec{Y}_0 + [a \vec{X}_s + c \vec{Z}_s]$$

d'où on tire finalement

$$\overline{R_d(S/R_0)} \cdot \vec{X}_0 = (M+m) \cdot \ddot{x} - m \cdot a \cdot \omega^2 \cos \varphi + m \cdot c \cdot \ddot{\alpha}$$

$$\overline{R_d(S/R_0)} \cdot \vec{Y}_0 = (M+m) \cdot \ddot{y} - m \cdot a \cdot \omega^2 \sin \varphi - m \cdot c \cdot \ddot{\beta}$$

- Bilan des actions mécaniques :

$$\circ \text{ Pesanteur : } \vec{P} = -(m+M) \cdot g \vec{Y}_0$$

$$\circ \text{ Action de l'air : } \overline{F(\text{air}/S)} = X \vec{X}_2 + Y \vec{Y}_2 \text{ d'où } \overline{F(\text{air}/S)} \cdot \vec{X}_0 = X \text{ et } \overline{F(\text{air}/S)} \cdot \vec{Y}_0 = Y$$

$$\circ \text{ Action du moteur : } \overline{F(\text{moteur}/S)} \cdot \vec{X}_0 = \overline{F(\text{moteur}/S)} \cdot \vec{Y}_0 = 0$$

$$\circ \text{ Action des paliers : } \overline{F(\text{paliers}/S)} = (X_A + X_B) \vec{X}_0 + (Y_A + Y_B) \vec{Y}_0$$

Avec  $X_A+X_B=-2.x.K_{xx}-2.y.K_{xy}$  et  $Y_A+Y_B=-2.x.K_{yx}-2.y.K_{yy}$

- Equations obtenues

$$\begin{cases} (m+M)\ddot{x}+m.c.\ddot{\alpha}=m.a\omega^2\cos\varphi-2.x.K_{xx}-2.y.K_{xy}+X \\ (m+M)\ddot{y}-m.c.\ddot{\beta}=m.a\omega^2\sin\varphi-2.x.K_{yx}-2.y.K_{yy}+Y-(m+M).g \end{cases}$$

### 3-1.3 Simplifications

- La symétrie de révolution de la roue, du champs des vitesses et des pressions induit des composantes X et Y nulles (ou de très faible amplitude).
- Il convient de comparer les quantités  $m.c.\ddot{\alpha}$ ,  $m.c.\ddot{\beta}$  par rapport aux autres quantités des équations.

- La quantité  $c = 20$  kg alors que  $a\omega^2=5940$  m/s<sup>2</sup>, impliquent que les accélérations angulaires en  $\alpha$  et  $\beta$  devraient être très grandes pour être significatives par rapport à  $a.\omega^2$ .
- Pour positionner les deux premiers termes des équations on a :

$$\frac{c.\ddot{\alpha}}{\ddot{x}} = \frac{c.\ddot{\beta}}{\ddot{y}} = \frac{M+m}{m} = 701000. \text{ Il faudrait aussi que les accélérations angulaires en } \alpha$$

et  $\beta$  soient énormes pour être prises en considération.

- Si d'autre part on pose  $\lambda = x$  et  $\xi = y - y_{\text{statique}}$  avec  $y_{\text{stat}} = \frac{M+m}{K_{yy}}$ , les équations

deviennent :

$$\begin{cases} (m+M)\ddot{\lambda}+2.\lambda.K_{xx}+2.\xi.K_{xy}=m.a\omega^2\cos\varphi \\ (m+M)\ddot{\xi}+2.\lambda.K_{yx}+2.\xi.K_{yy}=m.a\omega^2\sin\varphi \end{cases}$$

### 3-1-4 Stabilité des mouvements :

Il s'agit de positionner les valeurs propres  $r$  de l'opérateur linéaire associé au système différentiel homogène :

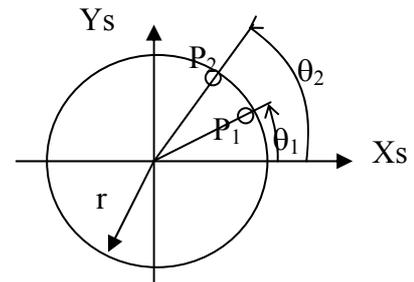
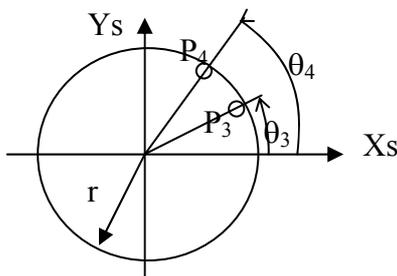
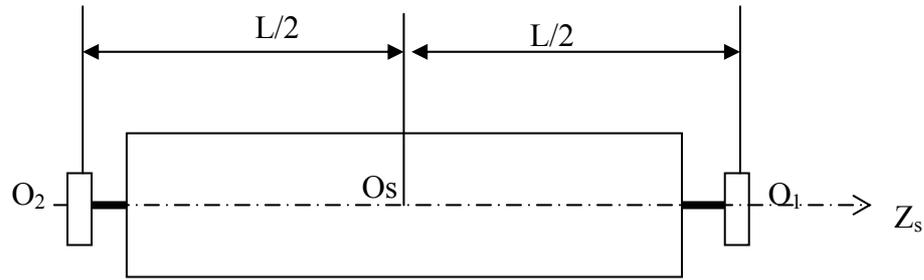
$$\begin{bmatrix} \ddot{\lambda} \\ \ddot{\xi} \end{bmatrix} + \frac{4}{(M+m)^2} \begin{bmatrix} K_{xx} & K_{xy} \\ K_{yx} & K_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda \\ \xi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

On trouve 2 solutions soit  $r_1 = 0,68$  et  $r_2 = 0,59$  positives donc mouvement stable.

On tire par ailleurs  $\omega_1 = 0,82$  rd/s ( $N_1 = 7,9$  tr/min) et  $\omega_2 = 0,77$  rd/s ( $N_2 = 7,3$  tr/min).

Ces vitesses sont environ cent fois plus petites que la vitesse de rotation nominale : il y a peu de risques de grandes amplitudes vibratoires.

## Partie 3-2 Dispositif d'équilibrage dynamique



### 3-2.1 Paramétrage

- le rotor a une masse  $M$ , un centre de masse  $G$  tel que  $\vec{O_s G} = a\vec{X}_s + b\vec{Y}_s + c\vec{Z}_s$  et un opérateur d'inertie  $I_{O_s} = \begin{pmatrix} A & -F & -E \\ -F & B & -D \\ -E & -D & C \end{pmatrix}_{R_s}$
- Les masselottes d'équilibrage sont considérées comme ponctuelles de masse  $m_i$  et situées en  $P_i$  tels que  $\vec{O_s P_i} = \begin{bmatrix} r \cdot \cos \theta_i \\ r \cdot \sin \theta_i \\ \pm L/2 \end{bmatrix}_{R_s}$ .

### 3-2.2 Conditions d'équilibrage

Le centre de masse de l'ensemble doit être situé sur l'axe de rotation  $\vec{Z}_s$  et  $\vec{Z}_s$  doit être principal d'inertie, ce que l'on peut traduire par :

$$\begin{cases} M \cdot a + r \cdot (m_1 \cos \theta_1 + m_2 \cos \theta_2 + m_3 \cos \theta_3 + m_4 \cos \theta_4) = 0 \\ M \cdot b + r \cdot (m_1 \sin \theta_1 + m_2 \sin \theta_2 + m_3 \sin \theta_3 + m_4 \sin \theta_4) = 0 \\ D + r \cdot \frac{L}{2} \cdot (m_1 \sin \theta_1 + m_2 \sin \theta_2 - m_3 \sin \theta_3 - m_4 \sin \theta_4) = 0 \\ E + r \cdot \frac{L}{2} \cdot (m_1 \cos \theta_1 + m_2 \cos \theta_2 - m_3 \cos \theta_3 - m_4 \cos \theta_4) = 0 \end{cases}$$

### 3-2.3 Commentaires

On a 4 équations et 8 inconnues. La géométrie du système impose  $L$  et  $r$ . Il faut se fixer 4 grandeurs. On peut par exemple poser  $m_i = m$ . Il reste à résoudre le système des 4 équations pour déterminer les positions angulaires. C'est ce qui est à la base de l'automatisation de ce dispositif.

## PARTIE 4 – DEFORMATION STATIQUE DE L'ARBRE

### 4 – 1 Fonctions d'interpolation

Le champ de déplacement est donné par la relation suivante :

$$v(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3$$

Et nous avons les conditions :

$$\begin{cases} v(0) = v_i \\ v'(0) = \theta_i \\ v(l) = v_j \\ v'(l) = \theta_j \end{cases} \quad \text{ce qui nous donne} \quad \begin{cases} a_0 = v_i \\ a_1 = \theta_i \\ a_0 + a_1 l + a_2 l^2 + a_3 l^3 = v_j \\ a_1 + 2 a_2 l + 3 a_3 l^2 = \theta_j \end{cases}$$

La résolution du système précédent conduit alors à :

$$v(x) = \left[ 1 - 3 \frac{x^2}{l^2} + 2 \frac{x^3}{l^3} \right] v_i + \left[ x - 2 \frac{x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2} \right] \theta_i + \left[ 3 \frac{x^2}{l^2} - 2 \frac{x^3}{l^3} \right] v_j + \left[ -\frac{x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2} \right] \theta_j$$

D'où l'on peut sortir les fonctions d'interpolation :

$$N_1 = 1 - 3 \frac{x^2}{l^2} + 2 \frac{x^3}{l^3} ; \quad N_2 = x - 2 \frac{x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2} ; \quad N_3 = 3 \frac{x^2}{l^2} - 2 \frac{x^3}{l^3} ; \quad N_4 = -\frac{x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2}$$

### 4-2 Energie de déformation

L'expression de l'énergie de déformation d'un élément de poutre droite de section variable sollicité en flexion est donnée par la relation :

$$W_{def}^e = \frac{1}{2} \int_{x_i}^{x_j} \frac{M_f^2}{EI} dx$$

### 4-3 Expression matricielle de l'énergie de déformation

A partir de l'équation de la déformée d'une poutre (théorie de Bernoulli), l'énergie de déformation d'une poutre en flexion peut encore s'écrire :

$$W_{def}^e = \frac{1}{2} \int_{x_i}^{x_j} EI v''^2 dx$$

Et nous avons :

$$v''(x) = \left[ -\frac{6}{l^2} + 12 \frac{x}{l^3} \right] v_i + \left[ -\frac{4}{l} + 6 \frac{x}{l^2} \right] \theta_i + \left[ \frac{6}{l^2} - 12 \frac{x}{l^3} \right] v_j + \left[ -\frac{2}{l} + 6 \frac{x}{l^2} \right] \theta_j$$

Soit encore :

$$v''(x) = [B^e]^T [U^e]$$

L'expression de l'énergie de déformation devient alors :

$$W_{def}^e = \frac{1}{2} [U^e]^T [K^e] [U^e] \quad \text{avec} \quad [K^e] = \int_{x_i}^{x_j} EI [B^e] [B^e]^T dx$$

### 4 – 4 Calcul du premier terme de la matrice de rigidité

Le premier terme de la matrice de rigidité de l'élément N° 6 est donc donné par l'expression :

$$K_{11}^6 = E \int_0^l I \left[ -\frac{6}{l^2} + 12 \frac{x}{l^3} \right]^2 dx = E \frac{\pi}{l^4} \frac{36}{32} \int_0^l D^4 \left[ 1 - 2 \frac{x}{l} \right]^2 dx$$

Dans cette expression,  $x$  représente la variable comptée à partir de l'extrémité de l'élément.

$$K_{11}^6 = E \frac{\pi}{l^8} \frac{36}{32} \int_0^l [660x + 510(l-x)]^4 \left[1 - 2\frac{x}{l}\right]^2 dx$$

Pour être homogène, les distances doivent être exprimées en mm.

Soit encore :

$$K_{11}^6 = E \frac{\pi}{l^8} \frac{36}{32} \int_0^l [150x + 510l]^4 \left[1 - 2\frac{x}{l}\right]^2 dx$$

On a donc une fonction polynomiale du sixième degré en  $x$  à intégrer. Pour pouvoir utiliser la méthode d'intégration de Gauss-Legendre il faut faire le changement de variable suivant :

$$\xi = -1 + 2\frac{x}{l} \Rightarrow x = \frac{l}{2}(1 + \xi) \Rightarrow dx = \frac{l}{2} d\xi$$

Ce qui nous conduit alors à :

$$K_{11}^6 = E \frac{\pi}{l^3} \frac{36}{64} \int_{-1}^{+1} [75(1 + \xi) + 510]^4 \xi^2 d\xi = E \frac{\pi}{l^3} \frac{9}{16} \int_{-1}^{+1} [75\xi + 585]^4 \xi^2 d\xi$$

Et donc numériquement on obtient avec la méthode d'intégration de Gauss-Legendre à trois points d'intégration :

$$K_{11}^6 = E \frac{\pi}{l^3} \frac{9}{16} \frac{5}{9} \frac{3}{5} \left[ \left(75\sqrt{\frac{3}{5}} + 585\right)^4 + \left(-75\sqrt{\frac{3}{5}} + 585\right)^4 \right]$$

Soit, avec  $E = 206$  GPa et  $l = x_j - x_i = 3100 - 1950 = 1150$  mm

$$K_{11}^6 = 19,80 \cdot 10^9 \text{ N/m}$$

#### 4 – 5 Travail des forces de pesanteur

On a :

$$W_{pes} = \int_{x_i}^{x_j} \rho S v dx = \int_{x_i}^{x_j} \rho S [N^e]^T [U^e] dx = \int_{x_i}^{x_j} \rho S [N^e]^T dx \cdot [U^e] = [F_{pes}^e] [U^e]$$

#### 4 – 6 Calcul du deuxième terme du vecteur pesanteur

Pour le deuxième terme on obtient :

$$M_i^6 = F_2^6 = \int_0^l \rho S N_2 dx = \rho \int_0^l \frac{\pi D^2}{4} \left(x - 2\frac{x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2}\right) dx = \frac{\rho \pi}{4l} \int_0^l (150x + 510l)^2 \left(\frac{x}{l} - 2\left(\frac{x}{l}\right)^2 + \left(\frac{x}{l}\right)^3\right) dx$$

Pour l'intégration de Gauss-Legendre, on fait le changement de variable :

$$\xi = -1 + 2\frac{x}{l} \Rightarrow x = \frac{l}{2}(1 + \xi) \Rightarrow dx = \frac{l}{2} d\xi$$

Ce qui nous donne :

$$F_2^6 = \frac{\rho \pi l^2}{8} \int_{-1}^1 (75\xi + 585)^2 \left( \left(\frac{1+\xi}{2}\right) - 2\left(\frac{1+\xi}{2}\right)^2 + \left(\frac{1+\xi}{2}\right)^3 \right) d\xi$$

$$F_2^6 = \frac{\rho \pi l^2}{64} \int_{-1}^1 (75\xi + 585)^2 (1 - \xi - \xi^2 + \xi^3) d\xi$$

Et donc numériquement on obtient avec la méthode d'intégration de Gauss-Legendre à trois points d'intégration :

$$F_2^6 = \frac{\rho \pi l^2}{64 \cdot 9} \left[ 5 \left( 75 \sqrt{\frac{3}{5}} + 385 \right)^2 \left( 1 - \sqrt{\frac{3}{5}} - \frac{3}{5} + \left( \sqrt{\frac{3}{5}} \right)^3 \right) + 5 \left( -75 \sqrt{\frac{3}{5}} + 385 \right)^2 \left( 1 + \sqrt{\frac{3}{5}} - \frac{3}{5} - \left( \sqrt{\frac{3}{5}} \right)^3 \right) + 8(585)^2 \right]$$

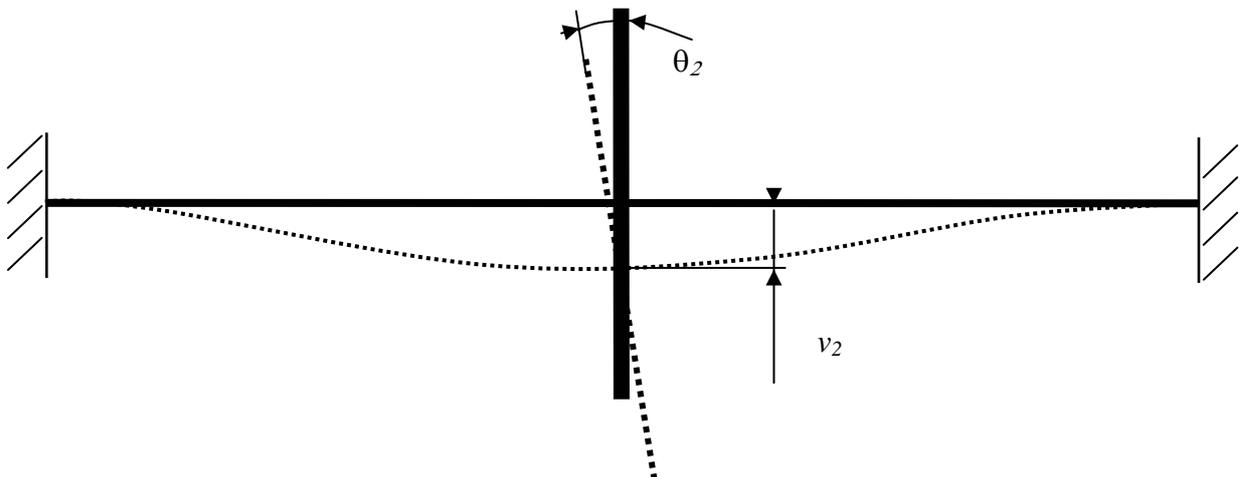
Ce qui nous donne avec les valeurs numériques :

$$F_2^6 = 181 \text{ N.m}$$

#### 4 – 7 Déplacement et rotation de l'arbre

Soit 1 le numéro du nœud  $i$  de l'élément I (abscisse 730 mm), soit 2 le numéro du nœud de jonction entre les deux éléments I et II (abscisse 4150 mm) et soit 3 le numéro du nœud  $j$  de l'élément II (abscisse 7620 mm). En tenant compte des conditions d'encastrement des nœuds 1 et 3 (degré de liberté égal à zéro) et du poids du disque qui s'applique sur le nœud 2, on peut écrire le système matriciel suivant :

$$\begin{Bmatrix} 56313 \\ -34669 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 47350 \\ 32896 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 93600 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 202550 + 182070 & -556600 + 504820 \\ -556600 + 504820 & 1653564200 + 1522615400 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_2 \\ \theta_2 \end{Bmatrix}$$

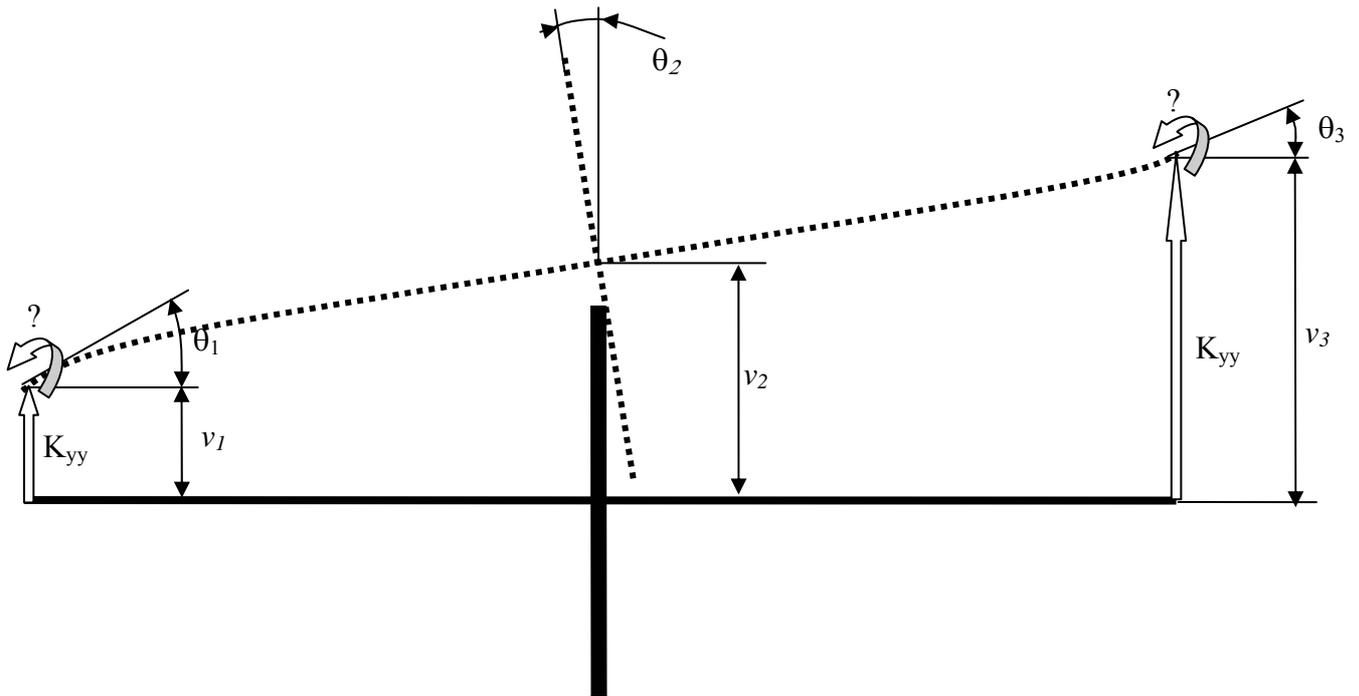


Comme dans la matrice de raideur, les termes sur la diagonale secondaire sont très faibles, on a pratiquement un découplage de nos deux inconnues. On obtient alors une flèche de 0,51 mm et un angle de rotation de  $8 \cdot 10^{-6}$  rd. Une erreur dans l'énoncé avait conduit à multiplier les valeurs données dans les matrices de raideurs par  $10^3$  et de ce fait les candidats ayant conduit les calculs jusqu'au bout trouvaient une flèche de 0,51 m. En général, ils ont fait des remarques sur la valeur excessive trouvée et ont eu un comportement responsable.

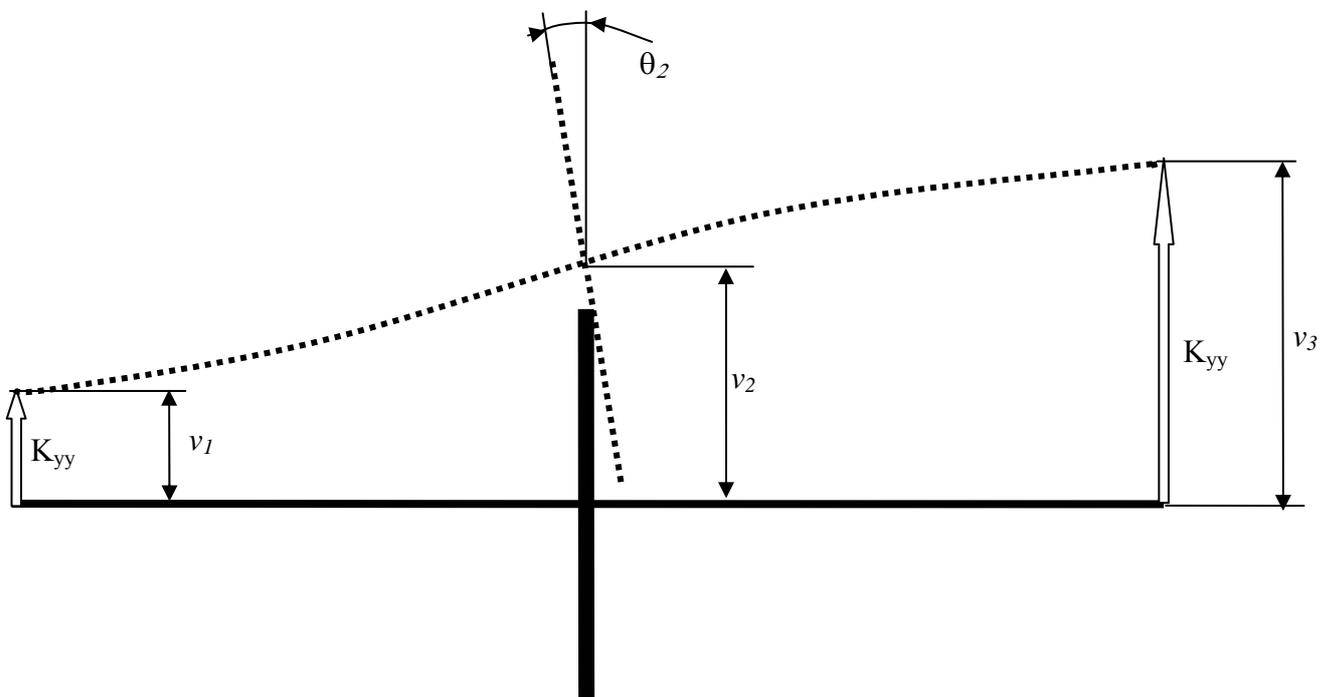
L'angle de rotation provient du fait que l'arbre et le chargement ne sont pas symétriques. Toutefois, en conclusion, on peut dire que même avec une roue de rayon extérieur de 2,1 m, cet angle de rotation, qui est très faible, n'a que très peu d'influence sur un déplacement d'extrémité de la roue. C'est un bien car sinon, il aurait fallu prévoir un jeu suffisant entre la roue et le carter et le rendement du ventilateur aurait été réduit.

#### 4 – 8 Prise en compte des raideurs de paliers

Pour prendre en compte la raideur des paliers, il faut revoir la modélisation précédente et utiliser un modèle avec 6 degrés de liberté ( $v_1, \theta_1, v_2, \theta_2, v_3, \theta_3$ ) si l'on intègre la raideur en rotation des paliers. On peut employer les valeurs de raideurs  $K_{yy}$  de palier données dans la question 3-1 pour les raideurs linéaires, mais il faut encore définir les raideurs angulaires.



Par contre, si l'on considère que la raideur en rotation des paliers est très grande, on peut alors se ramener à un modèle avec 4 degrés de liberté ( $v_1, v_2, \theta_2, v_3$ )



## PARTIE 5 – DIMENSIONNEMENT DU DISQUE

### Partie 5-1 : Roue équivalente

1-1 On a :  $e = a.r + b$

Avec :  $e_1 = a.R_1 + b$  et  $e_2 = a.R_2 + b$

On obtient donc  $a = \frac{e_2 - e_1}{R_2 - R_1}$  et  $b = e_1 - a.R_1 = \frac{e_1.R_2 - e_2.R_1}{R_2 - R_1}$

1-2 On a :

$$m = \int_D \rho_r dv = 2\pi \rho_r \int_{R_1}^{R_2} r(a r + b) dr = 2\pi \rho_r \left[ \frac{a}{3} (R_2^3 - R_1^3) + \frac{b}{2} (R_2^2 - R_1^2) \right] = 2\pi \rho_r K_1$$

$$\text{Avec } K_1 = \frac{a}{3} (R_2^3 - R_1^3) + \frac{b}{2} (R_2^2 - R_1^2)$$

$$\text{Ce qui nous donne : } \rho_r = \frac{m}{2\pi K_1} = \frac{m}{2\pi \left[ \frac{a}{3} (R_2^3 - R_1^3) + \frac{b}{2} (R_2^2 - R_1^2) \right]}$$

1-3 En isolant une portion de disque d'angle au sommet  $d\theta$ , et en écrivant l'équation d'équilibre dans la direction radiale, on obtient :

$$q e_d R_1 d\theta = \int_D r \omega^2 \rho_r dv = \omega^2 \rho_r d\theta \int_{R_1}^{R_2} r^2 (a r + b) dr = \omega^2 \rho_r d\theta \left[ \frac{a}{4} (R_2^4 - R_1^4) + \frac{b}{3} (R_2^3 - R_1^3) \right] = \omega^2 \rho_r d\theta K_2$$

$$\text{Avec } K_2 = \frac{a}{4} (R_2^4 - R_1^4) + \frac{b}{3} (R_2^3 - R_1^3)$$

$$\text{Ce qui nous donne : } \sigma_{rr} = q = \frac{\omega^2 \rho_r K_2}{e_d R_1} = \frac{\omega^2 \rho_r \left[ \frac{a}{4} (R_2^4 - R_1^4) + \frac{b}{3} (R_2^3 - R_1^3) \right]}{e_d R_1}$$

1-4 On obtient les valeurs suivantes :

$$\begin{aligned} a &= -0,48 & b &= 1,50 \text{ m} \\ K_1 &= 1,19 \text{ m}^3 & \rho_r &= 1\,266 \text{ kg/m}^3 \\ K_2 &= 1,88 \text{ m}^4 & q &= 225 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 225 \text{ MPa} \end{aligned}$$

1-5 Les effets d'écoulement du fluide dans les aubes se traduisent essentiellement par un couple sur l'arbre moteur. En tenant compte du rendement global, ce couple a pour expression :

$$C = \eta \frac{P}{\omega}$$

Sur la couronne périphérique du disque, ce couple va se traduire par l'application de contraintes tangentielles orthoradiales  $\sigma_{r\theta} = q'$  que l'on peut en première approximation considérer comme constantes. On a alors :

$$C = 2\pi R_1^2 e_d \sigma_{r\theta}$$

Ce qui nous donne :

$$\sigma_{r\theta} = \frac{\eta P}{2\pi R_1^2 e_d \omega} = q'$$

- 1-6 On obtient :  $C = 36 \cdot 10^3 \text{ m.N}$  et  $q' = \sigma_{r\theta} = 8,65 \cdot 10^{-2} \text{ MPa}$   
 Cette dernière contrainte est très inférieure à celle due à l'effet centrifuge de la roue.

## Partie 5-2 : Etat de contrainte dans le disque de liaison

- 2-1 La loi de comportement s'exprime sous la forme :

$$\bar{\sigma} = \left( \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \right) \left[ (1-2\nu)\bar{\varepsilon} + \nu \text{tr}(\bar{\varepsilon})\bar{I} \right]$$

Comme la contrainte  $\sigma_{zz}$  est nulle, à partir de la loi de comportement on peut écrire :

$$\sigma_{zz} = 0 = \left( \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \right) \left[ (1-2\nu)\varepsilon_{zz} + \nu(\varepsilon_{rr} + \varepsilon_{\theta\theta} + \varepsilon_{zz}) \right]$$

On obtient alors :

$$\varepsilon_{zz} = -\frac{\nu}{1-\nu}(\varepsilon_{rr} + \varepsilon_{\theta\theta})$$

D'où la relation :

$$\text{tr}(\bar{\varepsilon}) = \varepsilon_{rr} + \varepsilon_{\theta\theta} + \varepsilon_{zz} = \left( \frac{1-2\nu}{1-\nu} \right) (\varepsilon_{rr} + \varepsilon_{\theta\theta})$$

- 2-2 Avec la loi de comportement, on obtient :

$$\begin{cases} \sigma_{rr} = \left( \frac{E}{1-\nu^2} \right) (\varepsilon_{rr} + \nu \varepsilon_{\theta\theta}) \\ \sigma_{\theta\theta} = \left( \frac{E}{1-\nu^2} \right) (\nu \varepsilon_{rr} + \varepsilon_{\theta\theta}) \end{cases}$$

- 2-3 Pour les déformations on a :  $\varepsilon_{rr} = \frac{du_r}{dr}$  ;  $\varepsilon_{\theta\theta} = \frac{u_r}{r}$

Ce qui nous permet d'obtenir les composantes du tenseur des contraintes :

$$\begin{cases} \sigma_{rr} = \left( \frac{E}{1-\nu^2} \right) \left[ \frac{du_r}{dr} + \nu \frac{u_r}{r} \right] \\ \sigma_{\theta\theta} = \left( \frac{E}{1-\nu^2} \right) \left[ \nu \frac{du_r}{dr} + \frac{u_r}{r} \right] \end{cases}$$

- 2-4 Méthode : On utilise un schéma de résolution à partir de l'hypothèse formulée sur le champ de déplacement. L'état de contrainte qui en découle doit vérifier d'une part les équations d'équilibre et d'autre part les conditions aux limites sur les efforts. Il faut aussi valider les conditions aux limites sur les déplacements pour obtenir au final la solution du problème.

- 2-5 Seule la première équation d'équilibre est intéressante. Elle conduit à :

$$\frac{d\sigma_{rr}}{dr} + \frac{1}{r}(\sigma_{rr} - \sigma_{\theta\theta}) + \rho f_r = 0 \quad \text{avec } f_r = \omega^2 r$$

Ce qui nous donne en fonction du champ de déplacement :

$$\frac{d^2 u_r}{dr^2} + \nu \left( \frac{1}{r} \frac{d u_r}{dr} - \frac{u_r}{r^2} \right) + \frac{1}{r} (1-\nu) \left( \frac{d u_r}{dr} - \frac{u_r}{r} \right) = - \left( \frac{1-\nu^2}{E} \right) \rho \omega^2 r$$

D'où l'équation différentielle :

$$\frac{d}{dr} \left[ \frac{1}{r} \frac{d(r u_r)}{dr} \right] = \frac{d^2 u_r}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d u_r}{dr} - \frac{u_r}{r^2} = - \left( \frac{1-\nu^2}{E} \right) \rho \omega^2 r = -K r \quad \text{avec } K = \left( \frac{1-\nu^2}{E} \right) \rho \omega^2$$

2-6 Négliger le poids du disque revient à considérer que le second membre de notre équation différentielle est nul. On a alors :

$$\frac{d}{dr} \left[ \frac{1}{r} \frac{d(r u_r)}{dr} \right] = \frac{d^2 u_r}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d u_r}{dr} - \frac{u_r}{r^2} = 0$$

Ce qui nous donne la solution générale :

$$u_r = C_1 r + \frac{C_2}{r}$$

Avec :

$$\begin{cases} \sigma_{rr} = \left( \frac{E}{1-\nu^2} \right) \left[ (1+\nu) C_1 - \left( \frac{1-\nu}{r^2} \right) C_2 \right] \\ \sigma_{\theta\theta} = \left( \frac{E}{1-\nu^2} \right) \left[ (1+\nu) C_1 + \left( \frac{1-\nu}{r^2} \right) C_2 \right] \end{cases}$$

Les conditions aux limites conduisent aux relations :

$$\begin{cases} r = R_0 \rightarrow u_r = 0 \\ r = R_1 \rightarrow \sigma_{rr} = q \end{cases}$$

On obtient alors les équations suivantes :

$$\begin{cases} C_1 R_0 + \frac{C_2}{R_0} = 0 \\ (1+\nu) C_1 - \left( \frac{1-\nu}{R_1^2} \right) C_2 = \left( \frac{1-\nu^2}{E} \right) q \end{cases}$$

Ce qui nous donne :

$$\begin{cases} C_1 = -\frac{C_2}{R_0^2} \\ \left[ -\frac{(1+\nu)}{R_0^2} - \frac{(1-\nu)}{R_1^2} \right] C_2 = -\left( \frac{1-\nu^2}{E} \right) q \end{cases}$$

D'où :

$$\begin{cases} C_1 = \left[ \frac{R_1^2}{(1+\nu)R_1^2 + (1-\nu)R_0^2} \right] \left( \frac{1-\nu^2}{E} \right) q \\ C_2 = - \left[ \frac{R_0^2 R_1^2}{(1+\nu)R_1^2 + (1-\nu)R_0^2} \right] \left( \frac{1-\nu^2}{E} \right) q \end{cases}$$

Soit avec :

$$K_3 = \frac{R_1^2}{(1+\nu)R_1^2 + (1-\nu)R_0^2}$$

$$\begin{cases} C_1 = K_3 \left( \frac{1-\nu^2}{E} \right) q \\ C_2 = -K_3 R_0^2 \left( \frac{1-\nu^2}{E} \right) q \end{cases}$$

On obtient ainsi :

$$u_r = K_3 \left( \frac{r^2 - R_0^2}{r} \right) \left( \frac{1-\nu^2}{E} \right) q$$

2-7 En fonction des contraintes principales, la contrainte équivalente de Misès est donnée par la relation :

$$2 \sigma_{VM}^2 = (\sigma_I - \sigma_{II})^2 + (\sigma_{II} - \sigma_{III})^2 + (\sigma_{III} - \sigma_I)^2$$

Dans notre cas nous avons :  $\sigma_I = \sigma_{rr}$  ;  $\sigma_{II} = \sigma_{\theta\theta}$  ;  $\sigma_{III} = 0$

On obtient alors :

$$\sigma_{VM} = \sqrt{(\sigma_{rr}^2 - \sigma_{rr} \sigma_{\theta\theta} + \sigma_{\theta\theta}^2)} = \sqrt{(\sigma_{rr} + \sigma_{\theta\theta})^2 - 3 \sigma_{rr} \sigma_{\theta\theta}}$$

Avec :

$$\begin{cases} \sigma_{rr} = \left( \frac{E}{1-\nu^2} \right) \left[ (1+\nu)C_1 - \left( \frac{1-\nu}{r^2} \right) C_2 \right] = \frac{K_3 q}{r^2} [(1+\nu)r^2 - (1-\nu)R_0^2] \\ \sigma_{\theta\theta} = \left( \frac{E}{1-\nu^2} \right) \left[ (1+\nu)C_1 + \left( \frac{1-\nu}{r^2} \right) C_2 \right] = \frac{K_3 q}{r^2} [(1+\nu)r^2 + (1-\nu)R_0^2] \end{cases}$$

Ce qui nous donne pour la contrainte de Misès :

$$\sigma_{VM} = \frac{K_3 q}{r^2} \sqrt{[2(1+\nu)r^2]^2 - 3[(1+\nu)^2 r^4 - (1-\nu)^2 R_0^4]}$$

$$\sigma_{VM} = \frac{K_3 q}{r^2} \sqrt{(1+\nu)^2 r^4 + 3(1-\nu)^2 R_0^4}$$

2-8

$$K_3 = 0,7 \quad C_1 = 5,16 \cdot 10^{-4} \quad C_2 = -1,04 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Ce qui nous donne :

$$u_r(R_i) = 0,44 \text{ mm} \quad \sigma_{rr}(R_0) = 238 \text{ MPa} \quad \sigma_{\theta\theta}(R_0) = 71 \text{ MPa} \quad \sigma_{VM}(R_0) = 212 \text{ MPa}$$

La contrainte de Misès peut prendre aussi la formulation suivante :

$$\sigma_{VM} = K_3 q \sqrt{(1+\nu)^2 + 3(1-\nu)^2} \frac{R_0^4}{r^4}$$

On constate alors facilement qu'elle sera la plus élevée dans le disque pour le rayon le plus petit, soit pour  $R_0$ . On peut donc dire qu'un acier ayant une limite élastique à 240 MPa peut convenir vis-à-vis d'un simple dimensionnement élastique.

## 2-9 Commentaires complémentaires et hors sujet

Si nous n'avions pas négligé le poids du disque, le calcul aurait été plus complexe. Il aurait conduit au résultat suivant :

$$u_r = -\frac{K}{8} r^3 + C_1 r + \frac{C_2}{r}$$

Avec :

$$\begin{cases} \sigma_{rr} = \left( \frac{E}{1-\nu^2} \right) \left[ -\frac{(3+\nu)}{8} K r^2 + (1+\nu) C_1 - \left( \frac{1-\nu}{r^2} \right) C_2 \right] \\ \sigma_{\theta\theta} = \left( \frac{E}{1-\nu^2} \right) \left[ -\frac{(1+3\nu)}{8} K r^2 + (1+\nu) C_1 + \left( \frac{1-\nu}{r^2} \right) C_2 \right] \end{cases}$$

Les conditions aux limites conduisent aux relations :

$$\begin{cases} r = R_0 \rightarrow u_r = 0 \\ r = R_1 \rightarrow \sigma_{rr} = q \end{cases}$$

On obtient alors les équations suivantes :

$$\begin{cases} C_1 R_0 + \frac{C_2}{R_0} = \frac{K}{8} R_0^3 \\ (1+\nu) C_1 - \left( \frac{1-\nu}{R_1^2} \right) C_2 = \left( \frac{1-\nu^2}{E} \right) q + \frac{(3+\nu)}{8} K R_1^2 \end{cases}$$

Ce qui nous donne :

$$\begin{cases} C_1 = \frac{K}{8} R_0^2 - \frac{C_2}{R_0^2} \\ \left[ -\frac{(1+\nu)}{R_0^2} - \frac{(1-\nu)}{R_1^2} \right] C_2 = -\left( \frac{1-\nu^2}{E} \right) q + \frac{K}{8} [(3+\nu) R_1^2 - (1+\nu) R_0^2] \end{cases}$$

D'où :

$$\begin{cases} C_1 = \frac{K}{8} R_0^2 + \left[ \frac{R_1^2}{(1+\nu) R_1^2 + (1-\nu) R_0^2} \right] \left[ \left( \frac{1-\nu^2}{E} \right) q + \frac{K}{8} [(3+\nu) R_1^2 - (1+\nu) R_0^2] \right] \\ C_2 = -\left[ \frac{R_0^2 R_1^2}{(1+\nu) R_1^2 + (1-\nu) R_0^2} \right] \left[ \left( \frac{1-\nu^2}{E} \right) q + \frac{K}{8} [(3+\nu) R_1^2 - (1+\nu) R_0^2] \right] \end{cases}$$

Soit avec :

$$K_3 = \frac{R_1^2}{(1+\nu) R_1^2 + (1-\nu) R_0^2}$$

$$\begin{cases} C_1 = \frac{K}{8} R_0^2 + K_3 \left[ \left( \frac{1-\nu^2}{E} \right) q + \frac{K}{8} [(3+\nu)R_1^2 - (1+\nu)R_0^2] \right] \\ C_2 = -K_3 R_0^2 \left[ \left( \frac{1-\nu^2}{E} \right) q + \frac{K}{8} [(3+\nu)R_1^2 - (1+\nu)R_0^2] \right] \end{cases}$$

On obtient ainsi :

$$u_r = -\frac{K}{8} r (r^2 - R_0^2) + \left[ \frac{K}{8} [(3+\nu)R_1^2 - (1+\nu)R_0^2] + \left( \frac{1-\nu^2}{E} \right) q \right] K_3 \left( \frac{r^2 - R_0^2}{r} \right)$$

L'application numérique donne alors les valeurs suivantes :

$$K = 2,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-2} \quad K_3 = 0,7 \quad C_1 = 5,80 \cdot 10^{-4} \quad C_2 = -1,16 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Ce qui nous donne :

$$u_r(R_i) = 0,47 \text{ mm} \quad \sigma_{rr}(R_0) = 263 \text{ MPa} \quad \sigma_{\theta\theta}(R_0) = 79 \text{ MPa} \quad \sigma_{VM}(R_0) = 234 \text{ MPa}$$

On remarque alors que l'approximation retenue entraîne une erreur de l'ordre de 10 % et que l'on est beaucoup plus proche d'une limite élastique à 240 MPa.

# COMMENTAIRES SUR L'ÉPREUVE DE MÉCANIQUE DES SYSTÈMES ET DES MILIEUX CONTINUS

## PRESENTATION DU SUJET

Compte tenu de l'importance des questions énergétiques en ce début du XXI<sup>ème</sup> siècle, le sujet accordait une part importante à l'évaluation des pertes dans un système de ventilation d'une cimenterie industrielle. Les puissances mises en jeu, qui sont de plusieurs mégawatts, invitent à la plus haute attention quant à l'évaluation et à l'amélioration des différents rendements d'une telle installation. A ce titre, les différents modèles proposés permettaient d'affiner l'estimation des pertes dans le système aéraulique.

Les parties mécanique générale et mécanique des milieux continus ont permis d'évaluer les capacités des candidats à vérifier le bon fonctionnement dynamique et la tenue de sous ensembles du système étudié.

## PARTIE 1 – PERFORMANCES DU VENTILATEUR

Cette partie invitait les candidats à aborder les problèmes d'écoulement de fluides dans un ventilateur et à retrouver les relations habituellement utilisées dans la théorie des turbomachines. L'approche proposée allait du modèle le plus élémentaire (fluide parfait, écoulement adiabatique) à la prise en compte des différentes pertes de charge dans le rotor. La donnée des performances réelles du ventilateur appelait à s'interroger sur les limites de la démarche proposée.

On notera que la moitié des candidats n'ont pas abordé cette partie.

Le théorème de Bernoulli en mouvement relatif et l'introduction de la rothalpie n'ont pas fait l'objet de démonstration réelle pour ceux qui ont abordé ces questions.

L'approche des pertes de charge a rarement débouché sur des calculs aboutis.

Par ailleurs certains ont bien remarqué que certaines questions étaient indépendantes et ont su en tirer partie avantageusement.

## PARTIE 2 – ECHANGES THERMIQUES

Il s'agit d'évaluer les échanges thermiques à l'intérieur du ventilateur afin de vérifier si l'hypothèse d'écoulement adiabatique dans le rotor est justifiée.

Dans un premier temps, les candidats étaient invités à expliquer qualitativement pourquoi il existe une différence de température entre le fluide circulant dans le rotor et l'extérieur de la roue. Puis il s'agissait d'élaborer un modèle élémentaire de dissipation d'énergie calorifique.

Cette partie a été abordée par plus de la moitié des candidats. Si le modèle élémentaire est souvent établi, on constate des difficultés à :

- identifier la convection libre et la convection forcée
- évaluer un coefficient d'échange par convection
- faire un positionnement relatif des échanges thermiques par rapport aux énergies mises en jeu.

## PARTIE 3 – STABILITE DU ROTOR

Cette partie s'inscrivait dans une démarche de vérification du bon fonctionnement du système lors d'une modification de technologie des paliers. Elle faisait appel à des aspects classiques d'un cours de mécanique générale et ne présentait pas de difficultés particulières.

C'est la partie la plus largement abordée du sujet (seulement 11 copies sans partie 3) par les candidats dont certains s'en sont bien sortis.

Il convenait de choisir une mise en équation par les théorèmes généraux qui compte tenu des questions posées se réduisaient à appliquer le théorème de résultante dynamique selon l'axe horizontal et l'axe vertical.

Le contenu des copies montre que :

- de nombreux candidats ont cherché à utiliser sans discernement les six équations les entraînant dans des calculs longs et fastidieux
- l'obtention des équations simplifiées s'opère, la plupart du temps, sans justification particulière. Cela conduit souvent à négliger le poids du rotor de 14 000 kg de masse
- les conditions d'équilibrage sont correctement énoncées mais conduisent le plus souvent à une exploitation qui relève d'un cours sur l'équilibrage, non adapté au système proposé qui comportait quatre masses de compensation.
- le paramétrage est le plus souvent incomplet.

## PARTIE 4 – DEFORMATION STATIQUE DE L'ARBRE

Dans cette partie, la problématique était l'étude des déformations de l'arbre et des conséquences sur le jeu nécessaire entre les aubes et le stator. Pour aborder le problème, une solution par un calcul employant la méthode des éléments finis a été envisagée. Elle nécessitait tout d'abord de décrire de façon classique la méthode en construisant les éléments de base en flexion et en montrant comment l'on peut obtenir certaines valeurs numériques d'intégrales. Puis, à partir d'une modélisation simple en deux éléments et avec des conditions aux limites très simples, il était possible d'accéder aux valeurs de déplacement et de rotation de la section considérée.

Bien que très classique, cette partie a laissé indifférent la moitié des candidats. Pourtant la méthode des éléments finis est maintenant couramment exploitée à tous niveaux de l'enseignement technique et de l'industrie. Il convient donc que les futurs enseignants soient en capacité d'en expliquer les fondements à leurs élèves.

Il est à noter que cette partie était clairement scindée en deux et qu'il était tout à fait possible de traiter la fin sans avoir abordé les fondements préliminaires.

Dans les copies on trouve des fonctions de forme données sans explications ou démonstration. Cela peut représenter un bel exemple de mémoire mais n'est pas vraiment digne d'un enseignant qui se doit de connaître les démonstrations plus que les résultats. Peu de candidats fournissent les démonstrations permettant d'aboutir effectivement à la matrice de rigidité d'un élément de poutre en flexion.

## PARTIE 5 – DIMENSIONNEMENT DU DISQUE

L'objet de cette partie était de vérifier l'épaisseur du disque de liaison entre l'arbre et la roue du ventilateur. Dans un premier lieu, il convenait de définir les caractéristiques d'une roue équivalente afin de déterminer le chargement appliqué. Puis, une application, en considérant

le disque en état plan de contrainte, permettait d'obtenir l'état de contrainte en tout point et de faire la vérification souhaitée.

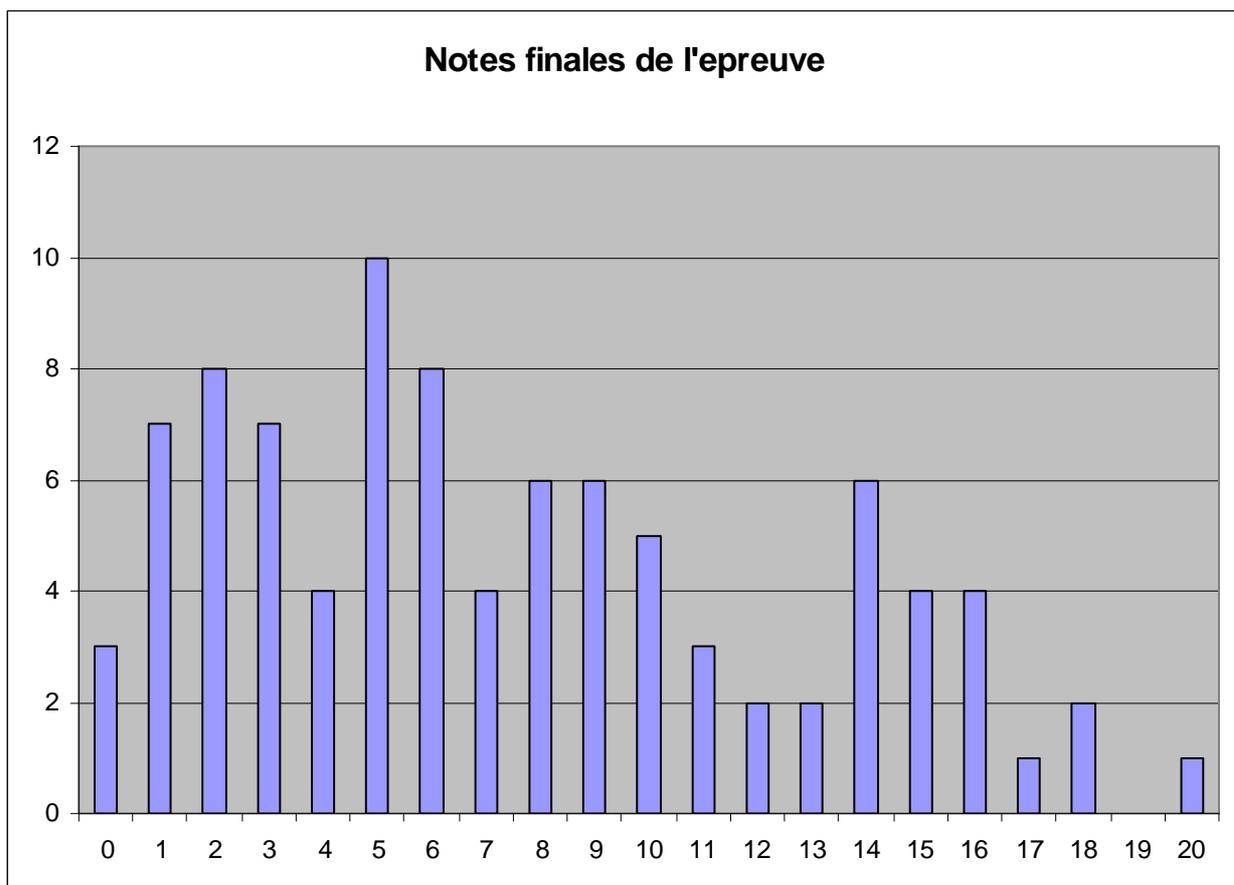
Très classique en mécanique des milieux continus, le thème a été abordé par de nombreux candidats. Hélas certains n'ont pas su interpréter correctement le fait que nous avions un état plan de contrainte et très peu ont abouti à une expression du champ de déplacement qui soit correcte. Les conditions aux limites envisagées étaient parfois folkloriques.

Le calcul du chargement aéralique n'a été abordé que par très peu de candidats. Toutefois ne présentant aucune difficultés majeures, il permettait d'aboutir rapidement à un résultat.

## CONCLUSION

Comme les années précédentes, on observe que de nombreux candidats semblent faire des impasses sur des parties importantes des disciplines fondamentales de la mécanique. Cette année, l'accent a été mis tout particulièrement sur les aspects énergétiques qui doivent être de plus en plus présents dans les préoccupations des formateurs des disciplines techniques. Les autres parties restaient plus classiques et, dans ces domaines, on aurait pu s'attendre à de meilleurs résultats.

Les notes s'étalent de 0 (copies blanches) à 19,6. La moyenne étant de 7,12. L'histogramme des notes est le suivant :



# **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

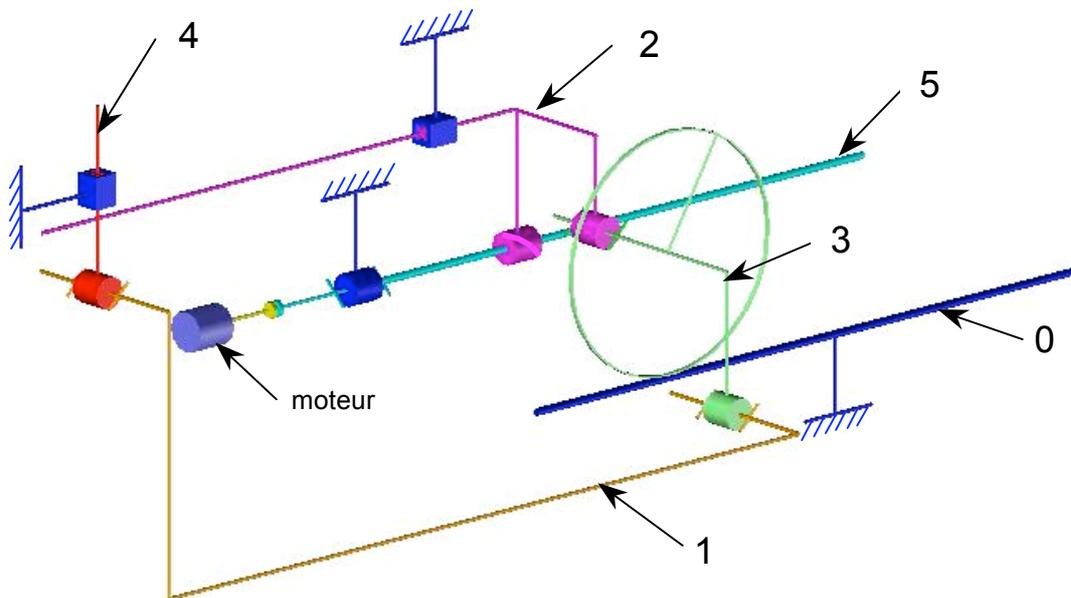
## 1-1 ANALYSE PRELIMINAIRE

### 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

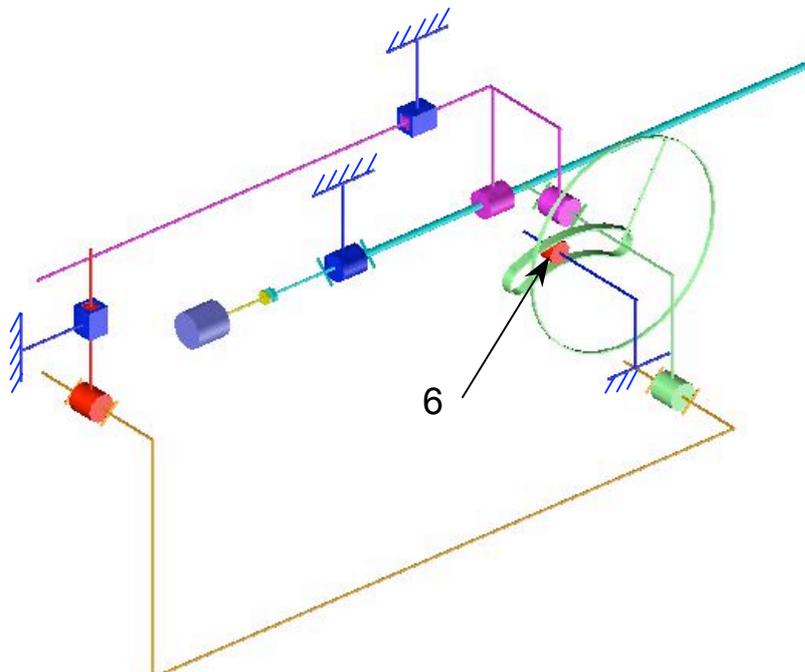
### Question 2 :

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



### Question 3 :

Schéma cinématique phase 3 (entraînement par galet-came)



## 1-2 ANALYSE CINÉMATIQUE DE L'ENSEMBLE

### Question 4

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

Pour le chargement de la bouteille  $t = 0,36s$  ( $180^\circ$  de came virtuelle).

Instants :

$t_1$  pour  $15^\circ$

$t_1+t_2$  pour  $165^\circ$

$t_3$  pour  $180^\circ$

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

$$t_2 = t_1 \cdot 150/15$$

$$t_1 = 0,03s \quad \text{et} \quad t_2 = 0,3s$$

- Vitesse de translation maxi du chariot sur le secteur de  $150^\circ$  :

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

$$V_{\text{max}} = N_{\text{maxi moteur}} \cdot p / 60 = 3000 \cdot 25 / 60 = 1250 \text{ mm/s} = 1,25 \text{ m/s}$$

- Accélération entre  $0$  et  $15^\circ$

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

### Question 5 (voir DR2 fig 1)

Mouvements:

- mvt 1/0 : mvt plan dans  $(x,y)$
- mvt 2/0 :  $T_x$
- mvt 4/0 :  $T_y$
- mvt 3/2 :  $R_z$  centre B
- mvt 3/0 : mvt plan
- mvt 3/1 :  $R_z$  centre C
- mvt 4/1 :  $R_z$  centre A

$$\overrightarrow{VA,4/0} = \overrightarrow{VA,1/0} \quad A_y$$

$$\overrightarrow{VB,2/0} = \overrightarrow{VB,3/0} \quad B_x$$

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

$$I_{3/0} \text{ contact roue/crémaillère}$$

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

$I_{1/0}$  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  $M_y$  et  $K_y$ .

### 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

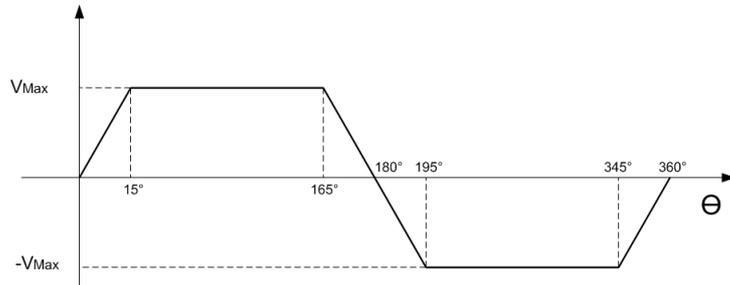
- Double équiprojectivité aux points M et C et aux points M et A dans le mvt 1/0

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

### Question 7

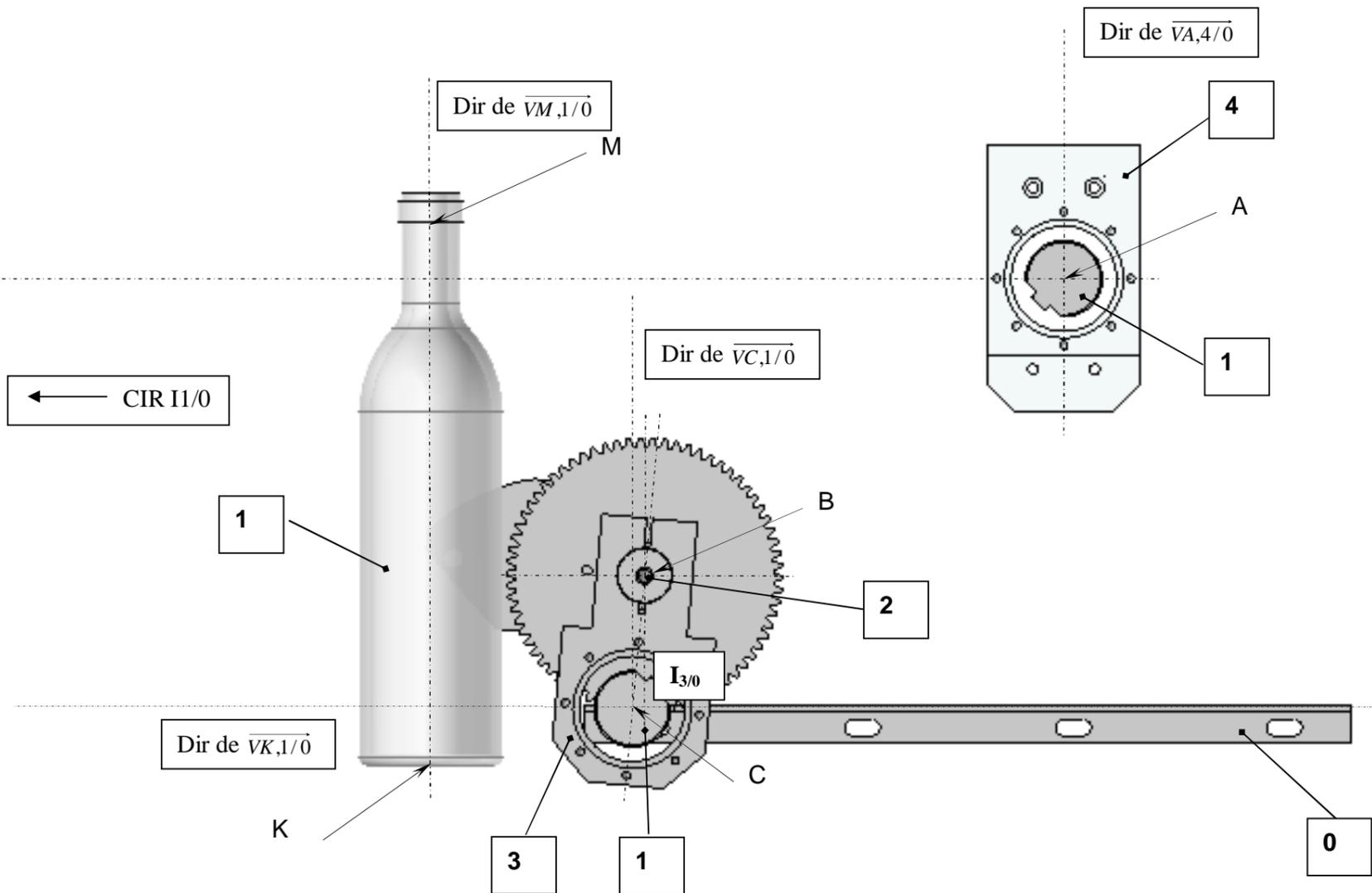
Trajectoire du point M : verticale ascendante qui assure le décollement de la bouteille du tapis roulant

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.

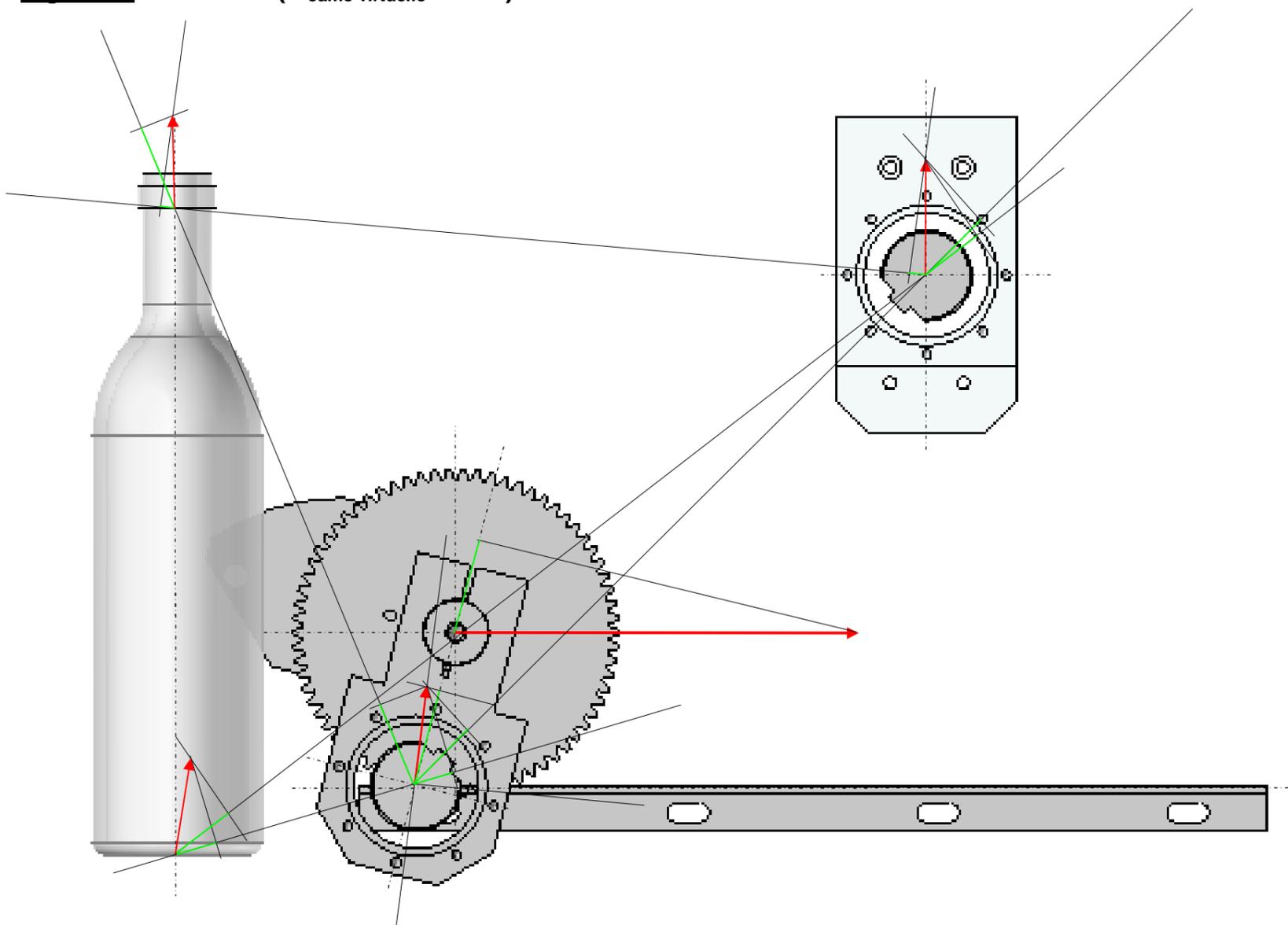


**CINEMATIQUE – PHASE 1**  
**PRISE DE LA BOUTEILLE SUR LE TAPIS ROULANT**

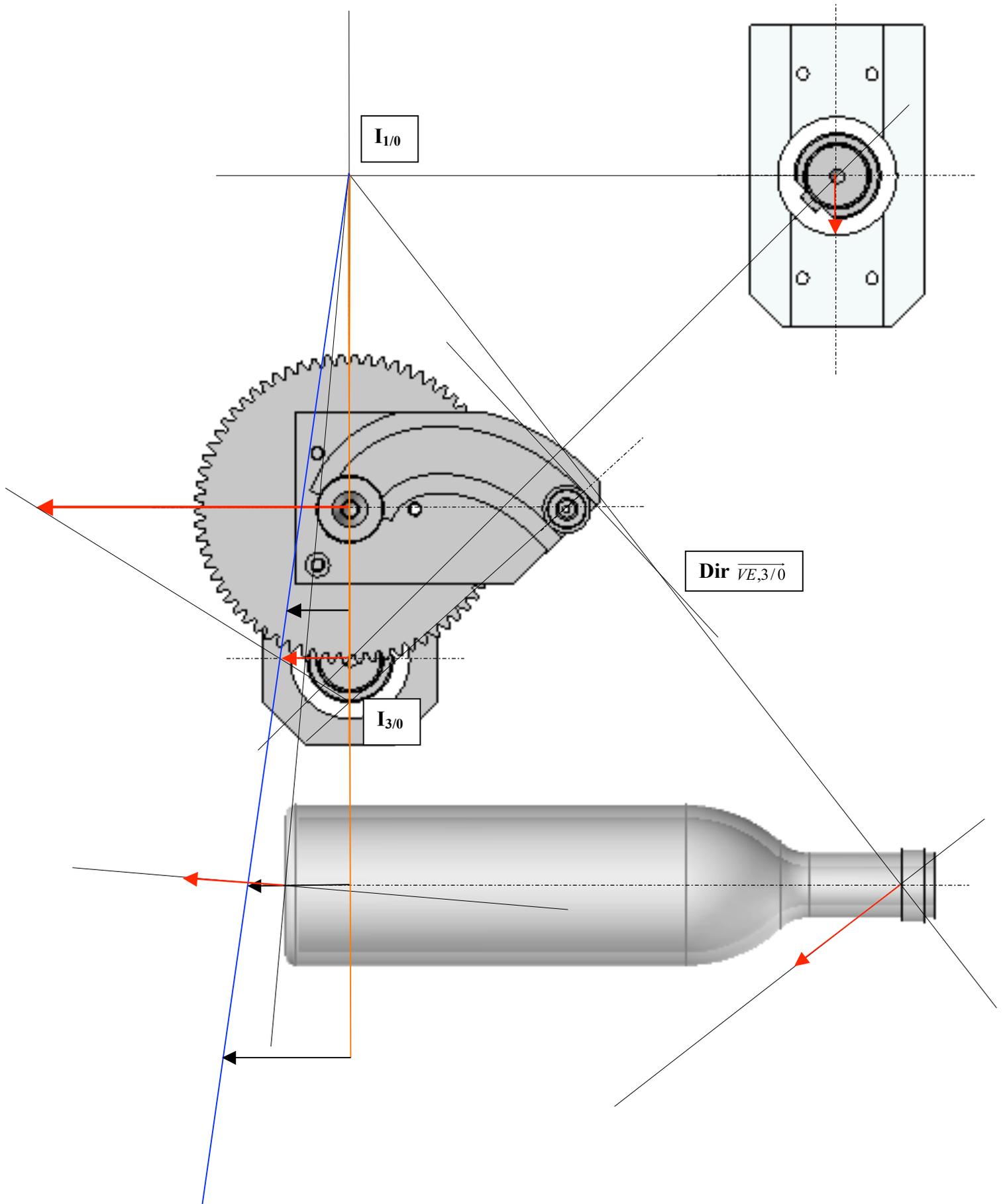
**Figure 1 : PHASE 1 (  $\theta_{\text{came virtuelle}} = 3^\circ$  )**



**Figure 2 : PHASE 1 (  $\theta_{\text{came virtuelle}} = 15^\circ$  )**



**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

$$\vec{VA,4/0} = \vec{VA,1/0} \quad A_y$$

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

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

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

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

$$\text{Dir } \vec{VC,3/0} \text{ normal à } CI_{3/0}$$

$$\vec{VC,3/0} = \vec{VC,1/0}$$

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

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

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

En fin de phase 3, la direction de  $\vec{VK,1/0}$ , 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/BOUEILLE

#### Question 9

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

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

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

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

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

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

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

## 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 positions 0 et 17 mm. La puissance variant linéairement, le travail peut être exprimé par

$$W = \frac{1}{2} P_{finals} \cdot \Delta t$$

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 :  $E_{C(CM)} = \frac{1}{2} M_{CM} \cdot V_1^2$

- Vilebrequin :  $E_{C(vil)} = \frac{1}{2} M_{vil} \cdot V_1^2 + \frac{1}{2} J \cdot \left(\frac{V_1}{R}\right)^2$

- bras :

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

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 :  $E_{CV} = \frac{1}{2} M_{CV} \cdot V_{17}^2 + M_{CV} \cdot g \cdot (Z_{1chariot} - Z_{0chariot})$

- vis à billes :  $E_{C(vis)} = \frac{1}{2} J_{vis} \cdot \omega^2$  avec  $J_{vis} = \rho \cdot l \cdot \pi \cdot \frac{D^4}{32}$  et  $\omega = 2\pi \cdot \frac{V_{17}}{P_{vis}}$  où  $P_{vis}$  est le pas de la vis à billes.

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

Application numérique :

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

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

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

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

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

$$E_{Totals} = 23,45 J$$

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

## 2.2 RAPPORT DES INERTIES

**Q11-** moment d'inertie équivalent

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

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

Application numérique :

$$J_{eq} = 2 \frac{10 \times (1250 \times 10^{-3})^2}{\left(2\pi \times \frac{1250}{25}\right)^2} = 1,58 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

**Q12-**Rapport d'inertie

$$r = \frac{1,58 \cdot 10^{-4}}{1,28 \cdot 10^{-4}} = 1,23$$

**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 :

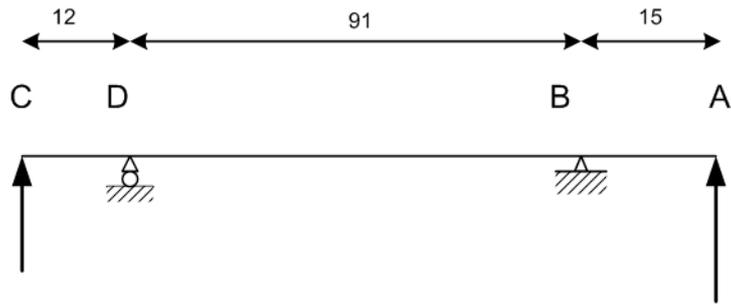
D'après le document technique les amplitudes des composantes de sollicitation sur le vilebrequin les plus importantes sont associées à la position 0,03 s.

	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.

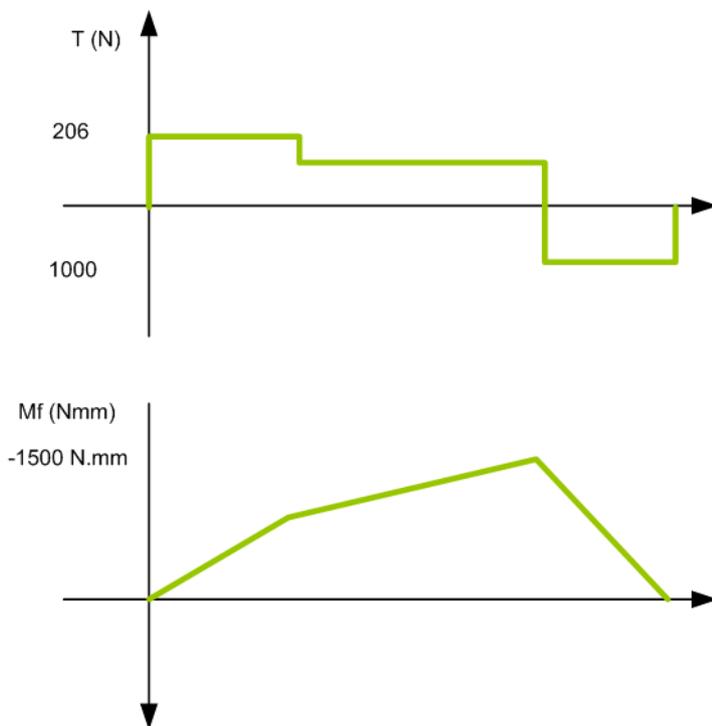


- Le diamètre de l'arbre sera considéré constant et égal à 30 mm.

Le calcul des réactions sur les appuis donne :

$R_D \approx -68 \text{ N}$  et  $R_B \approx -1137 \text{ N}$  (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 :  $(200 \times 70) = 14000 \text{ N.mm}$

Contraintes :

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

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

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

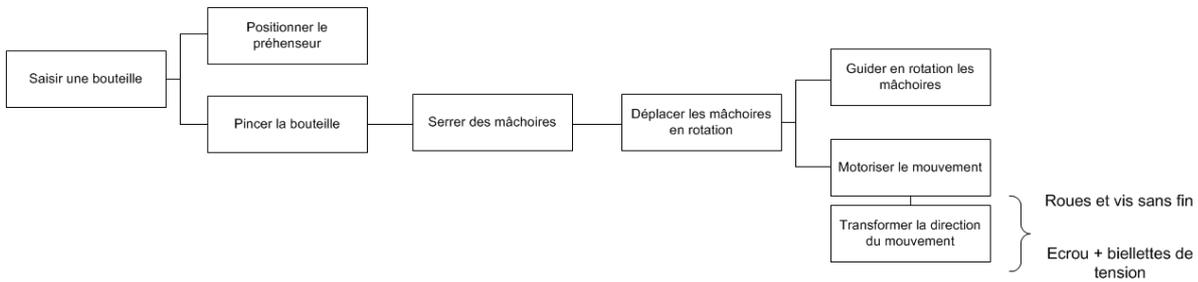
de flexion :  $\sigma = \frac{M_f}{I_{Gx}} R = 5,65 \text{ N.mm}^{-2}$

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

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

### 3.2 CONCEPTION DU SYSTEME DE PREHENSION

#### Q16 - Fast de recherche de solutions par décomposition de la fonction de service



#### Q17- Schémas cinématiques

	<p>Solution roues et vis sans fin.</p> <p>Avantage Effort de serrage sur la bouteille indépendant de l'angle de fermeture (contrôle direct par le moteur).</p> <p>Inconvénient Coût solution. Définition de la position angulaire d'origine des mâchoires.</p>
	<p>Avantage(s) Solution d'apparence simple ne mettant en œuvre que des liaisons pivot élémentaires.</p> <p>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.</p> <p>Encombrement.</p>

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. Voir le document réponse complété.

**Q19-** Exemple de solution détaillée. Voir ci-après une solution.

#### 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
----	------	---

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

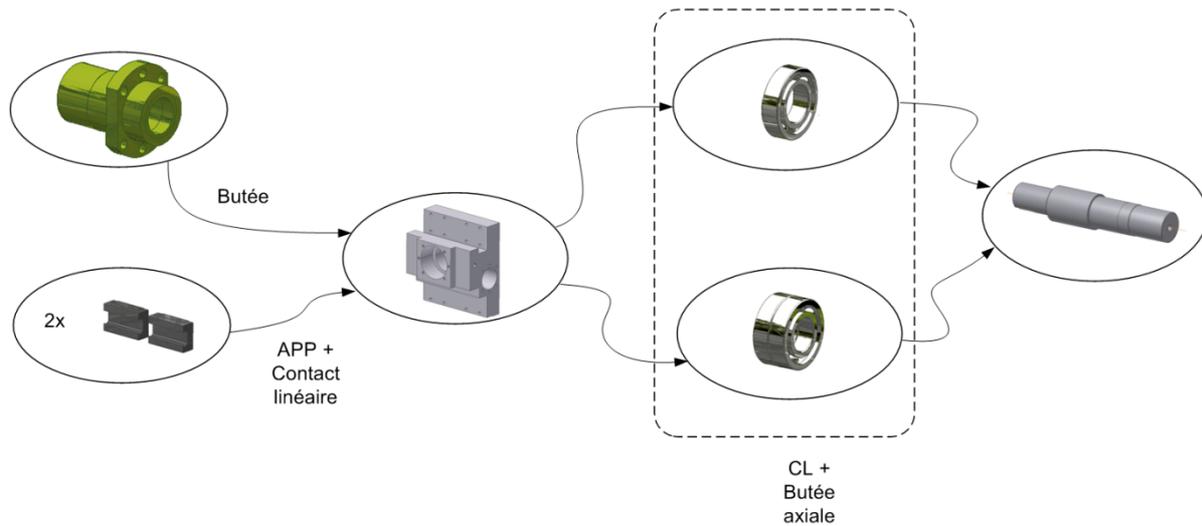
Défaut maximal au pire des cas :

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

d'où

$$\delta\alpha = \frac{(0,06^2 + 0,118^2)^{\frac{1}{2}}}{41} = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ rad} = 0,19^\circ$$

**Q21 - Graphe de contact - spécification du corps de**



ch  
moteur.

ariot

**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),

S3 (garantir la précontrainte des roulements) - peu contrainte,

S2 (garantir une largeur de portée de roulement) - très peu contrainte.

Mise en position du chariot :

GC1 (surfaces support des patins de guidage),

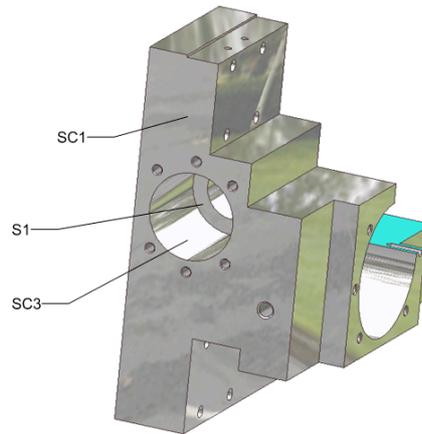
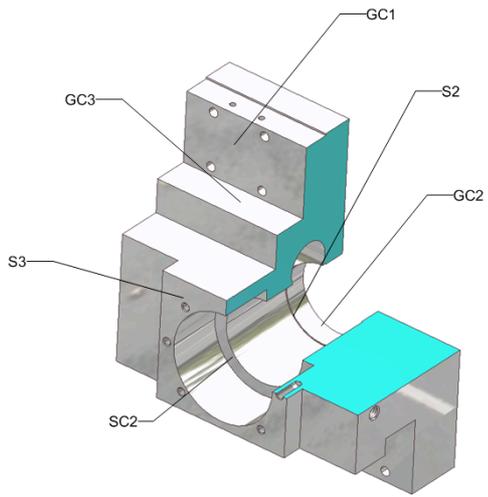
GC3 (surfaces pour alignement des patins),

Mise en position de la vis à billes :

SC1 (surface d'appui de l'écrou à billes),

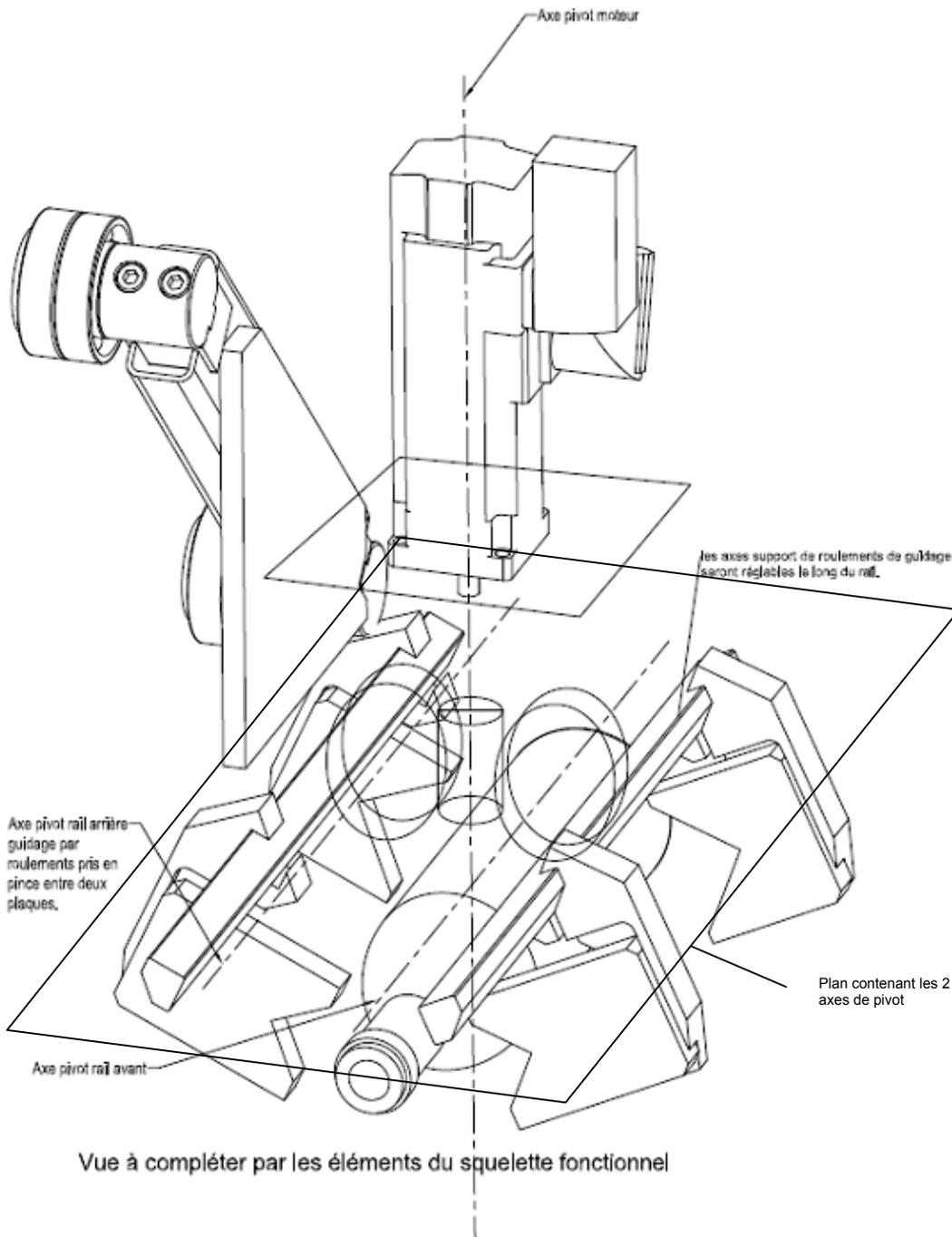
SC3 (centrage de l'écrou à billes),

S1 (jeu logement de l'écrou à billes) - très peu contrainte.

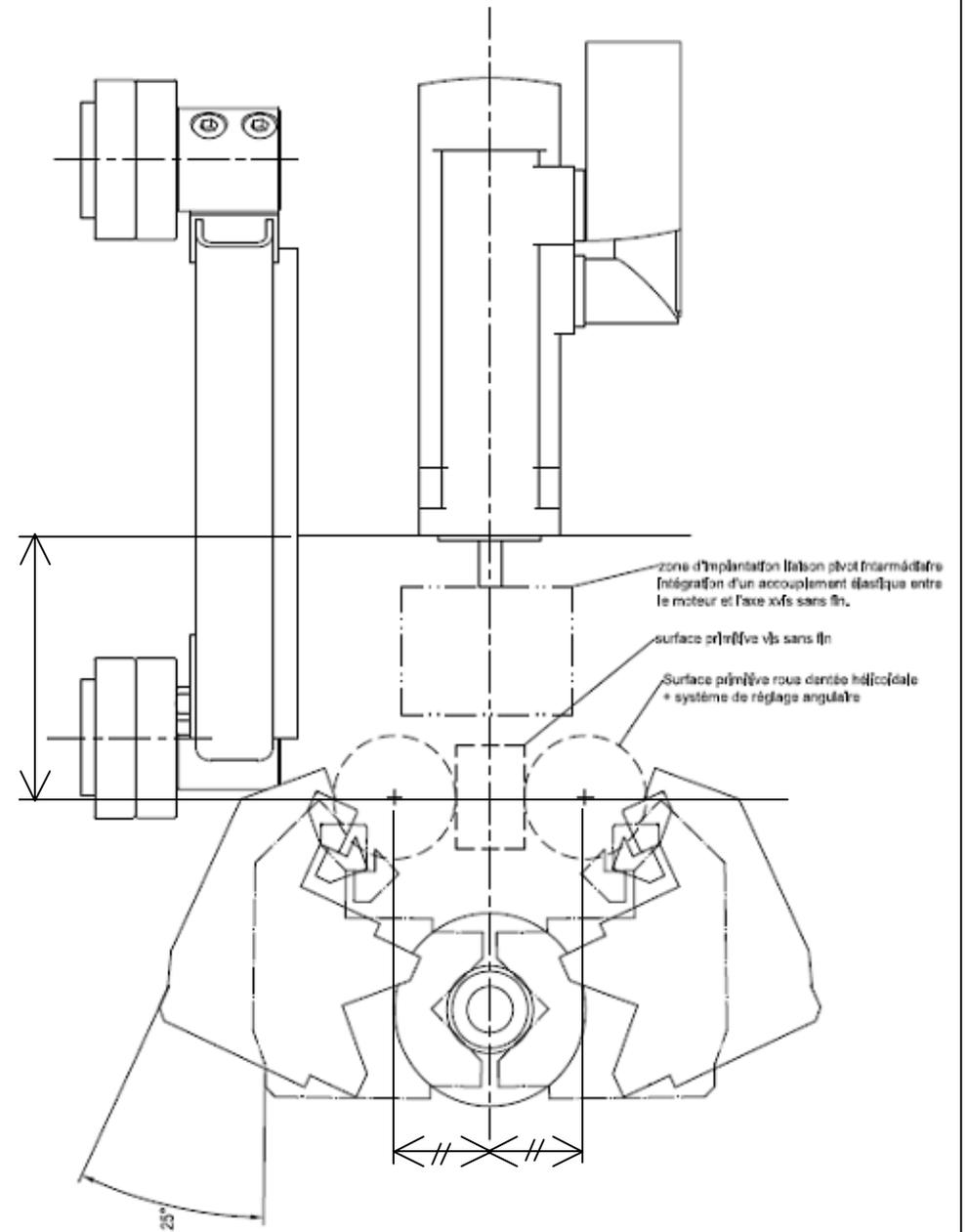


Analyse sur document réponse corrigé.

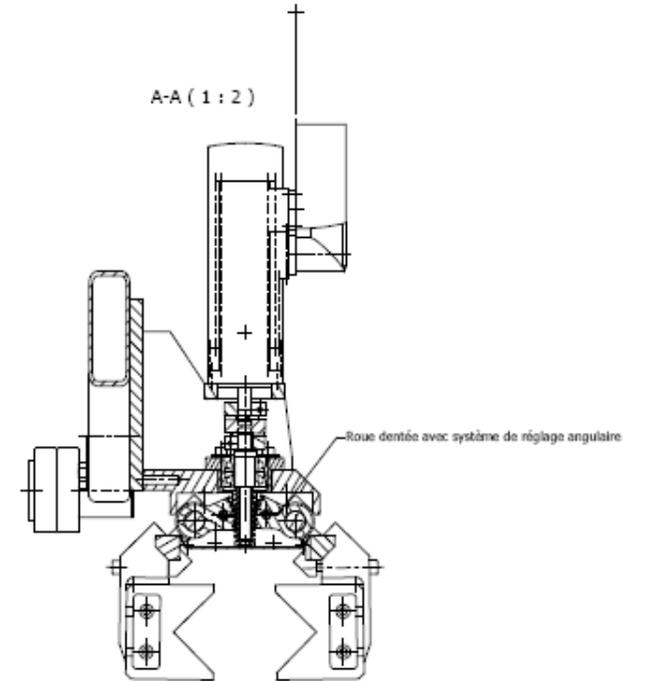
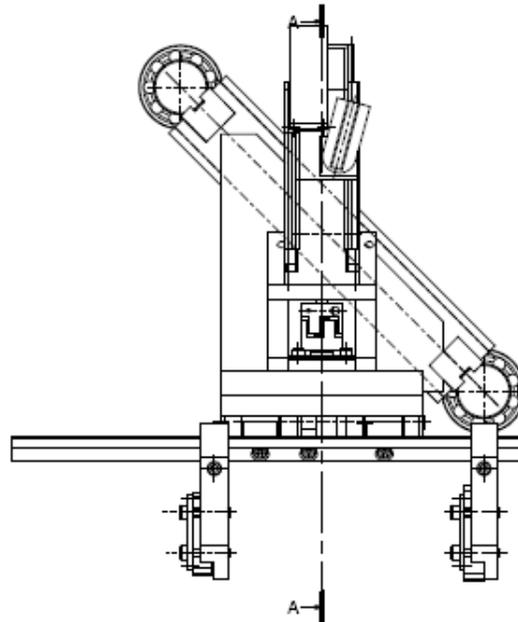
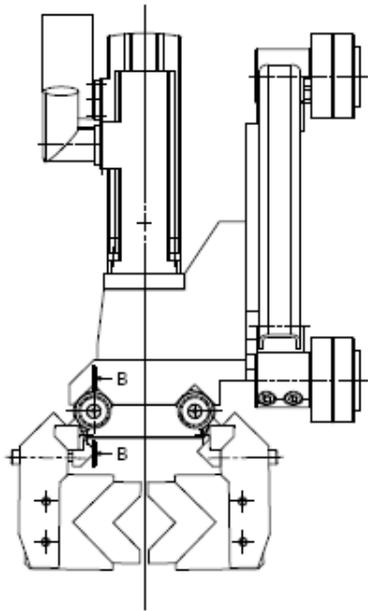
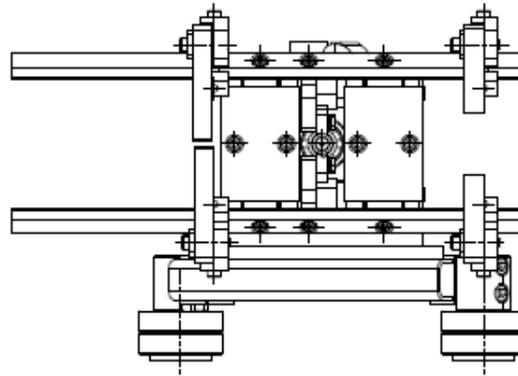
**Q23-** Voir ci - après le document réponse complété



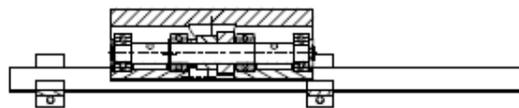
A (1:2)



PROPOSITION DE CORRECTION



B-B (1:2)



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		
Surfaces 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 rmt 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

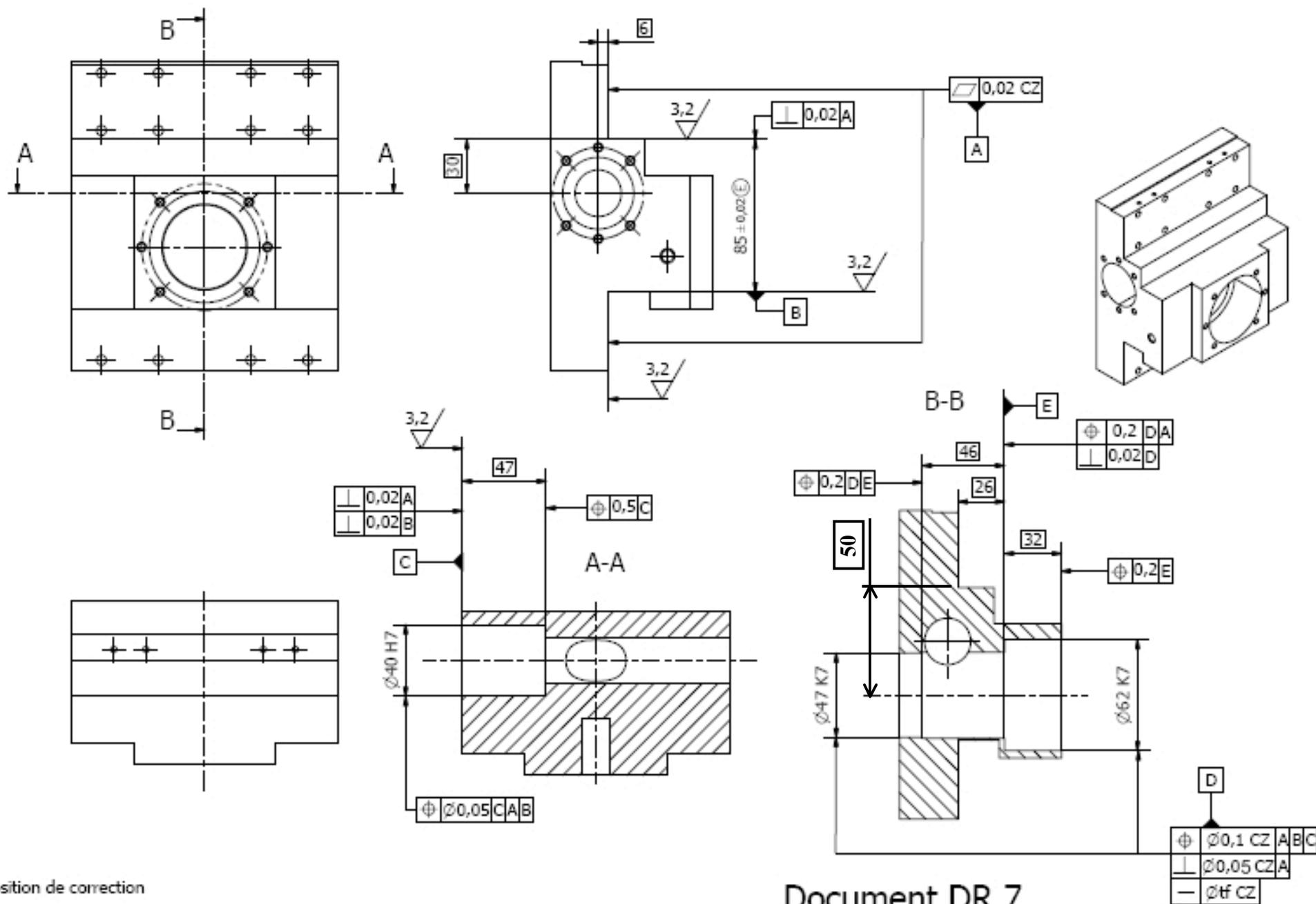
Fonction technique assurée : MIP, MAP, passage d'autres pièces, rigidité de la pièce etc.

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



Proposition de correction

Document DR 7

## Compte-rendu épreuve ACS 2009

Le sujet s'appuyait sur une machine à sérigraphier haute cadence de la société « Machines DUBUIT ». L'étude portait sur le bras de chargement associé au premier poste du carrousel de la machine. Le but de toute l'étude est l'adaptation de la conception du poste de chargement pour lui conférer la capacité d'alimenter les machines de sérigraphie avec une nouvelle bouteille de masse et dimensions spécifiques. Il comportait quatre parties indépendantes.

**Questions 1 & 2 :** l'étude des groupes cinématiquement liés et la réalisation du schéma cinématique en perspective ont été en général bien traitées. Certains candidats n'ont pas hésité à utiliser la couleur donnant une meilleure lisibilité de l'ensemble.

**Question 3 :** Le schéma cinématique de la phase 3 du mouvement a été un peu moins bien traité ; certains candidats n'ont pas remarqué que le contact roue/crémaillère n'existait plus à ce moment et que la came guidait alors le mouvement.

**Question 4 :** Peu de candidats ont trouvé la réponse exacte. Cette question de cinématique du point n'aurait pas dû poser tant de problèmes. Il est surprenant qu'à ce niveau d'étude, un candidat ne maîtrise pas les fondamentaux de la cinématique.

**Questions 5 et 6 :** Si de bonnes études ont été menées, beaucoup de candidats ont eu du mal à trouver les valeurs justes. Des problèmes persistent dans la lecture des documents et les tracés géométriques s'en ressentent. Des candidats ne sont pas gênés de tracer des vecteurs vitesses dans des directions perpendiculaires aux trajectoires des points étudiées qui étaient intuitivement simple à comprendre. L'écriture des vecteurs vitesses est aléatoire. Il est rappelé que la vitesse d'un point d'un solide dépend du référentiel par rapport auquel on se place. Certains candidats se lancent également dans des développements compliqués qu'il est parfois difficile de suivre.

**Question 7 :** Beaucoup de réponses correctes ont été données. Les candidats ont bien vu l'intérêt des trajectoires des points.

**Question 8 :** Mêmes remarques qu'aux questions 5 et 6. La fonction précise du profil de la came n'a pas été toujours bien observée.

**Question 9 :** Même si ce développement était simple, beaucoup de candidats n'ont pas su répondre correctement à la question. Un candidat n'est même pas gêné de trouver un effort de préhension de la bouteille de près de 200 000 N.

**Question 10 :** Cette question demandait un développement calculatoire assez important. Un nombre non négligeable de candidats l'a abordé. Peu ont réussi à proposer des valeurs correctes. La plupart des candidats ayant abordé la question ont su poser le théorème de l'énergie-puissance. Les calculs des différents termes ne sont pas toujours couronnés de succès. Des candidats ayant trouvé des valeurs de puissance aberrantes ont su critiquer leurs résultats. Dans ce genre de calculs la rigueur est nécessaire et la décomposition en sous-ensembles comme le suggérait l'énoncé devait guider le candidat dans leur démarche.

**Questions 11, 12 et 13 :** L'ensemble de ces 3 questions devait conduire les candidats à valider ou non le moteur sélectionné. Le calcul du moment d'inertie équivalent rapporté à un axe d'une charge en translation pose encore des problèmes à trop de candidats. Des

calculs longs sont parfois menés pour finalement aboutir à des résultats faux. Là encore, des valeurs absurdes ne gênent pas le candidat qui les trouve. Une critique par le candidat sur sa copie d'un tel résultat montre au moins qu'il perçoit les valeurs réalistes pour le système étudié.

**Questions 14 et 15 :** Beaucoup de candidats ont bien répondu à cette question, mais très peu ont entrepris de décrire une explication pédagogique pour justifier leur choix. Effectivement, il s'agissait de trouver la configuration la plus défavorable entraînant l'état de contrainte en un point singulier. Il s'agissait de faire remarquer que les sollicitations de flexion composées à celle de torsion sont en général les plus influentes sur l'état de contrainte. Etant donné que le moment de torsion est constant tout au long de l'arbre, le moment de flexion est le paramètre prépondérant pour trouver la configuration de valeurs de contraintes maximales. Comme le moment fléchissant dépend de l'effort tranchant, il s'agit pour le candidat de repérer sa valeur maximale.

Ensuite les candidats ont été amenés à calculer la valeur maximale de l'état de contrainte en un point de l'arbre. Le choix du modèle d'étude ne pose pas de problème quant au choix du modèle de poutre. Mais il en pose pour le choix du modèle de liaisons dont les valeurs des inter-efforts n'étaient pas données dans le sujet et encore davantage pour les calculs des sollicitations mécaniques le long de la poutre. Même si les formules de calcul des différentes composantes de contraintes sont connues, les applications numériques n'ont pas pu être faites ou sont très souvent fausses. Les formules des critères de Von Mises ou de Tresca sont souvent évoquées mais rarement exploitées jusqu'à la condition de vérification de résistance.

**Questions 16 et 17 :** À la question sur la réalisation d'un diagramme FAST pour la recherche de solutions constructives à des fonctions composantes d'une fonction de service, tous les candidats se sont exprimés. Les réponses sont très diverses. Pour aider les candidats, le sujet comportait des données qui auraient pu faciliter l'élaboration du FAST (actionneur disponible, partie de solution décrite, forme de pièce).

A propos des solutions constructives à proposer, les candidats ont également bien répondu. Le jury a remarqué avec intérêt que certains candidats ont proposé une solution originale parmi les deux. Les principes techniques de transformation de mouvement étaient variés et souvent valides (système à barres « plan » ou spatial, came circulaire ou cylindrique, train d'engrenages droits ou coniques, système à câbles). Toutefois quelques candidats éprouvent des difficultés très importantes à communiquer leurs idées : les règles élémentaires de représentation ne sont pas acquises (dessin en perspective, codes de représentation des liaisons mécaniques et des composants standard) et le tracé n'est pas maîtrisé (qualité et précision). Cela reste un point à améliorer.

**Questions 18 et 19 :** La question sur le squelette de la maquette numérique n'a pas été bien traitée. Il semble que cette notion, qui s'inscrit dans une démarche de conception détaillée assistée par ordinateur, ne soit pas connue alors que cette étape est particulièrement nécessaire pour réaliser une maquette numérique variationnelle et robuste.

Quant aux solutions constructives détaillées, les candidats ont représenté leur conception sous des codes de représentation différents. Ceux qui l'ont fait avec beaucoup de détails selon les règles de dessin technique ont généralement bien réussi, mais ils ont dû consacrer du temps. En revanche, l'utilisation des croquis comme demandée n'a pas toujours été fructueuse par manque de description des intentions (type de liaison, roulements, composant standard...) et d'information sur les caractéristiques intrinsèques

(longueur utile, diamètre mini...) et les positions relatives (entraxes, encombrement maxi...) des constituants. Pourtant une telle description précédant une CAO est juste suffisante et moins coûteuse en temps.

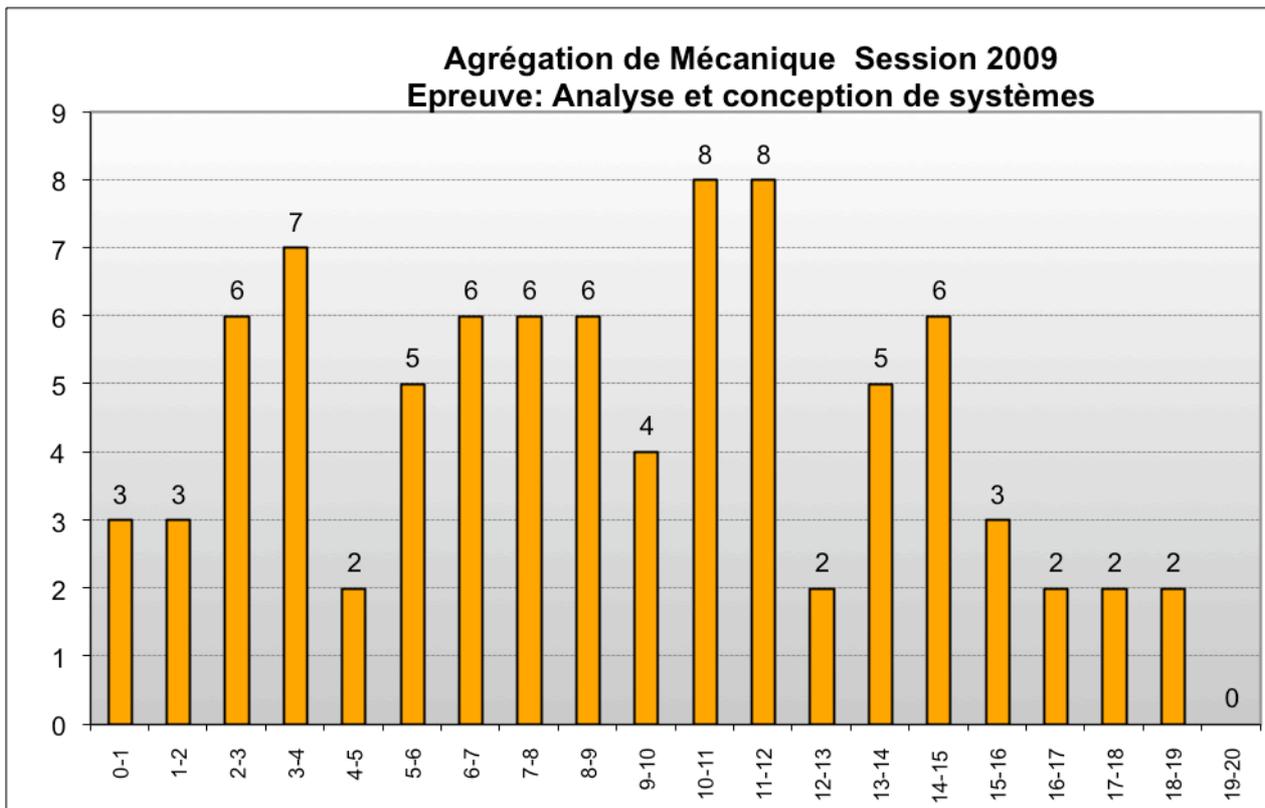
**Questions 20 :** Les candidats n'ont pas répondu à cette question d'analyse de la cotation fonctionnelle de 3 pièces liées en série. Pourtant l'analyse se réduisait à des études de défauts angulaires et donc aux calculs des écarts angulaires. Comme il s'agissait des résultantes (ou des invariants vectoriels) des torseurs de petit déplacement, le résultat global du défaut était facile à déterminer.

**Questions 21, 22 et 23 :** La notion du graphe des contacts et notamment celle de composant parent-enfant ne sont pas encore totalement maîtrisées. L'absence de réponse est importante et a été remarquée.

Quant au repérage des surfaces fonctionnelles, les candidats ont apporté des réponses à cette question. L'erreur la plus couramment rencontrée est celle du mauvais choix de plan de contact de l'écrou à billes et du palier de roulements, il s'agit là d'un manque de connaissance technologique relative aux composants standard et concernant leur montage. Mais la prise en compte des trous taraudés comme surfaces fonctionnelles est une erreur fondamentale : c'est méconnaître l'influence de la fonction « positionner » par rapport à celle de « maintenir » sur les contraintes géométriques du produit.

A propos de la définition géométrique du corps du chariot, les candidats qui ont donné une réponse satisfaisante avaient naturellement mené l'étude complète et connaissaient le codage normalisé et les concepts de base de la cotation fonctionnelle. Quand le jury a rencontré une proposition cherchant à réduire le nombre de spécifications (ex. : zone commune), sans dégrader la forme et la position relative des surfaces fonctionnelles, il a tenu compte.

### Histogramme de la répartition des notes de l'épreuve



# Automatique et informatique industrielles - Éléments de corrigé

Cycle de fabrication des profilés  
Épreuve d'automatique et d'informatique industrielle  
Jean-Jacques Duméry et Robert Papanicola

Q- 1

Le diamètre circonscrit est de  $\sqrt{80^2 + 18^2} = 82 \text{ mm}$

Après lecture de la courbe annexe 2, l'épaisseur  $E_1$  est donc de 2 mm

$$S = \pi \cdot \frac{250^2}{4}$$

$$s = 2 \cdot (80 \cdot 2 \cdot 2 + (18 - 2 - 2) \cdot 3 \cdot 2) = 808 \text{ mm}^2$$

$$\delta R = \frac{S}{s} = 60,75$$

Q- 2

Compte tenu des tolérances dimensionnelles,  $s$  devient :

$$s_{\text{maxi}} = 2 \cdot (80 \cdot 2 \cdot 2,15 + (18 - 2 \cdot 2,15) \cdot 2,15 + (18 - 2 \cdot 2,15) \cdot 2,25 + (18 - 2 \cdot 2,15) \cdot 2,40) = 874 \text{ mm}^2$$

$$\delta R_{\text{mini}} = 56,14$$

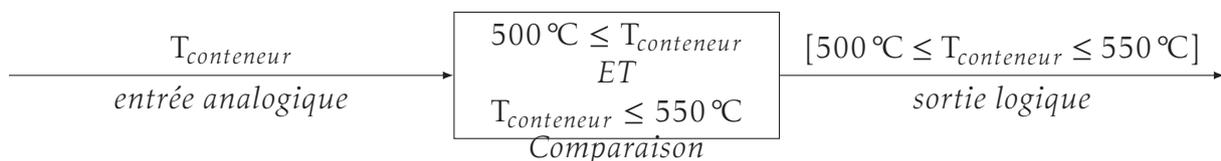
$$(\text{Longueur du bloc}_{\text{mini}}) \cdot S = (\text{Longueur du profilé}) \cdot s_{\text{maxi}}$$

$$\text{Longueur du bloc}_{\text{mini}} = \frac{\text{Longueur du profilé}}{\delta R_{\text{mini}}} = \frac{25 \cdot 2 + 26 \cdot 0,003 + 2 \cdot 0,3}{56,14}$$

$$\text{Longueur du profilé} = 0,903 \text{ m}$$

Q- 3

Il faut réaliser une comparaison :



En respectant le bilan d'entrées/sorties données dans l'annexe 4, le cycle de la presse est le suivant :

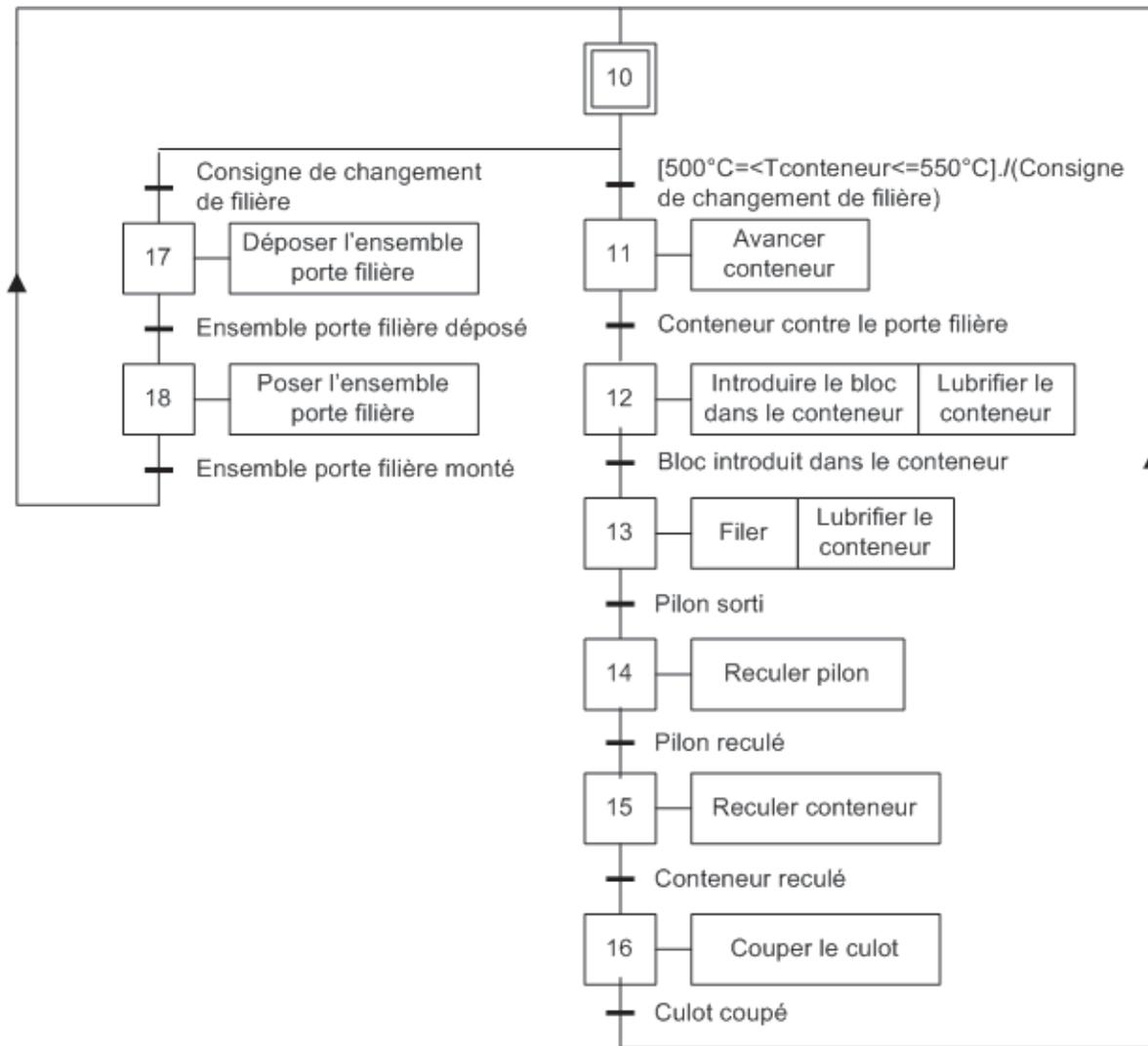


FIGURE 6 – cycle de la presse

Q- 4

L'actionneur linéaire placé en partie supérieure de la pompe manœuvre le plateau de la pompe pour l'incliner par rapport à l'axe principal. Lorsque le plateau est perpendiculaire à l'axe du barillet le débit est nul. Lorsque le plateau est incliné, les pistons ont un mouvement de translation alternative par rapport au barillet, ce qui provoque l'aspiration et le refoulement de l'huile. L'aspiration et le refoulement se fait par un jeu de lumières réalisées dans un distributeur à glace placé à l'extrémité du barillet.

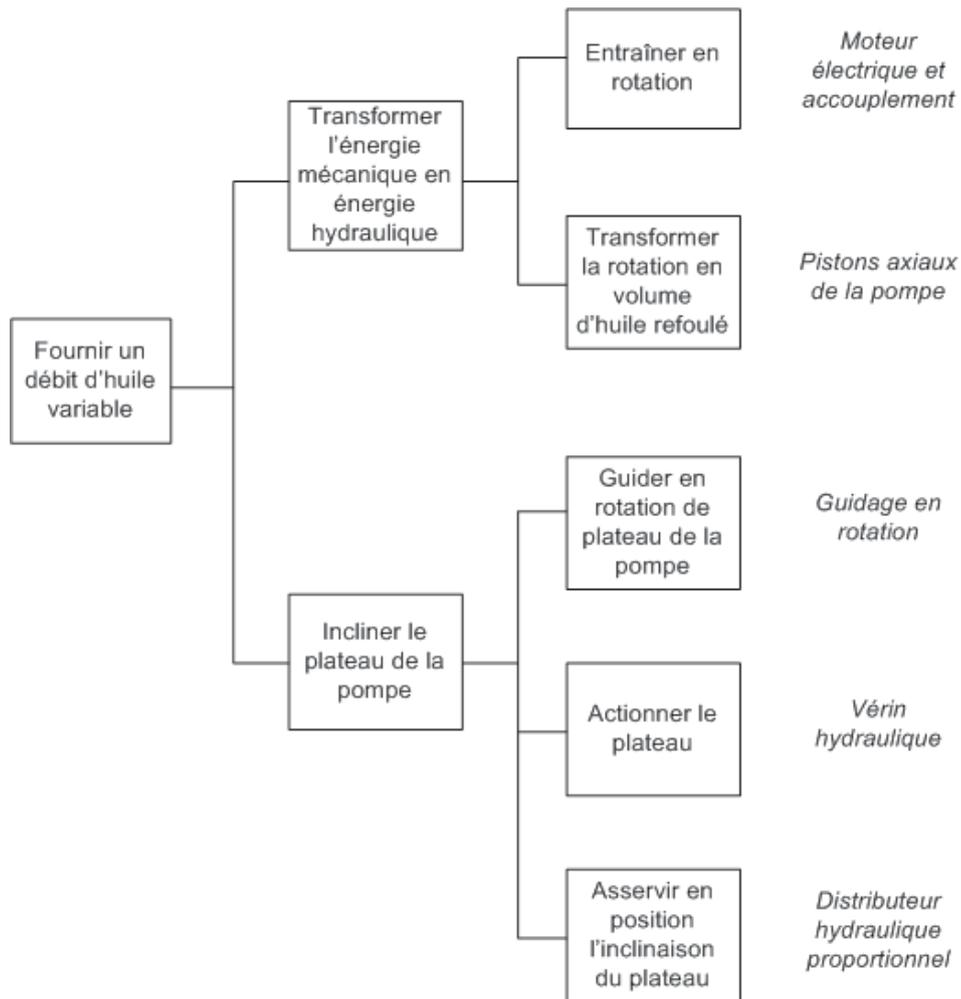


FIGURE 8 – Décomposition fonctionnelle

Q- 5

		1 pompe	2 pompes	3 pompes	4 pompes
R1	débit	725 L/min	1450	2175	2900
	pression	100 bar	100	100	100
	puissance	120 kW	240	360	480
R2	débit	480 L/min	960	1440	1920
	pression	280 bar	280	280	280
	puissance	224 kW	448	672	896
R3	débit	440 L/min	880	1320	1760
	pression	305 bar	305	305	305
	puissance	224 kW	447	671	895

TABLE 2 – Débit, pression et puissance disponible

Q- 6

$$F_{filage} = \pi \cdot 125^2 \cdot 180 \cdot \ln(60) = 36,2 \times 10^6 \text{ N}$$

$$P = F_{filage} \cdot v$$

$$P = F_{filage} \cdot \frac{20}{60 \cdot \delta R}$$

$$P = 201 \text{ kW}$$

Choix de 2 pompes (241 kW)

Q- 7

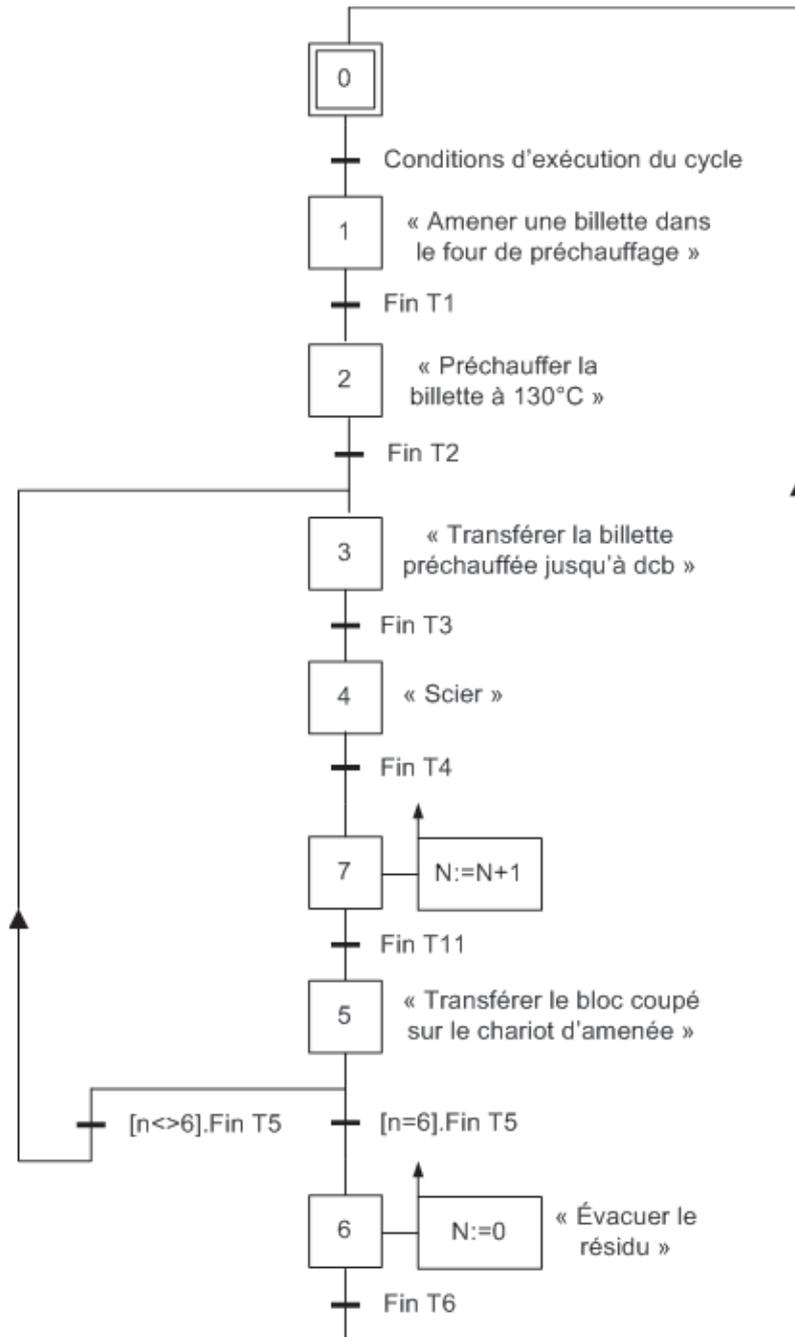


FIGURE 10 – grafcet GCamenée

Q- 8

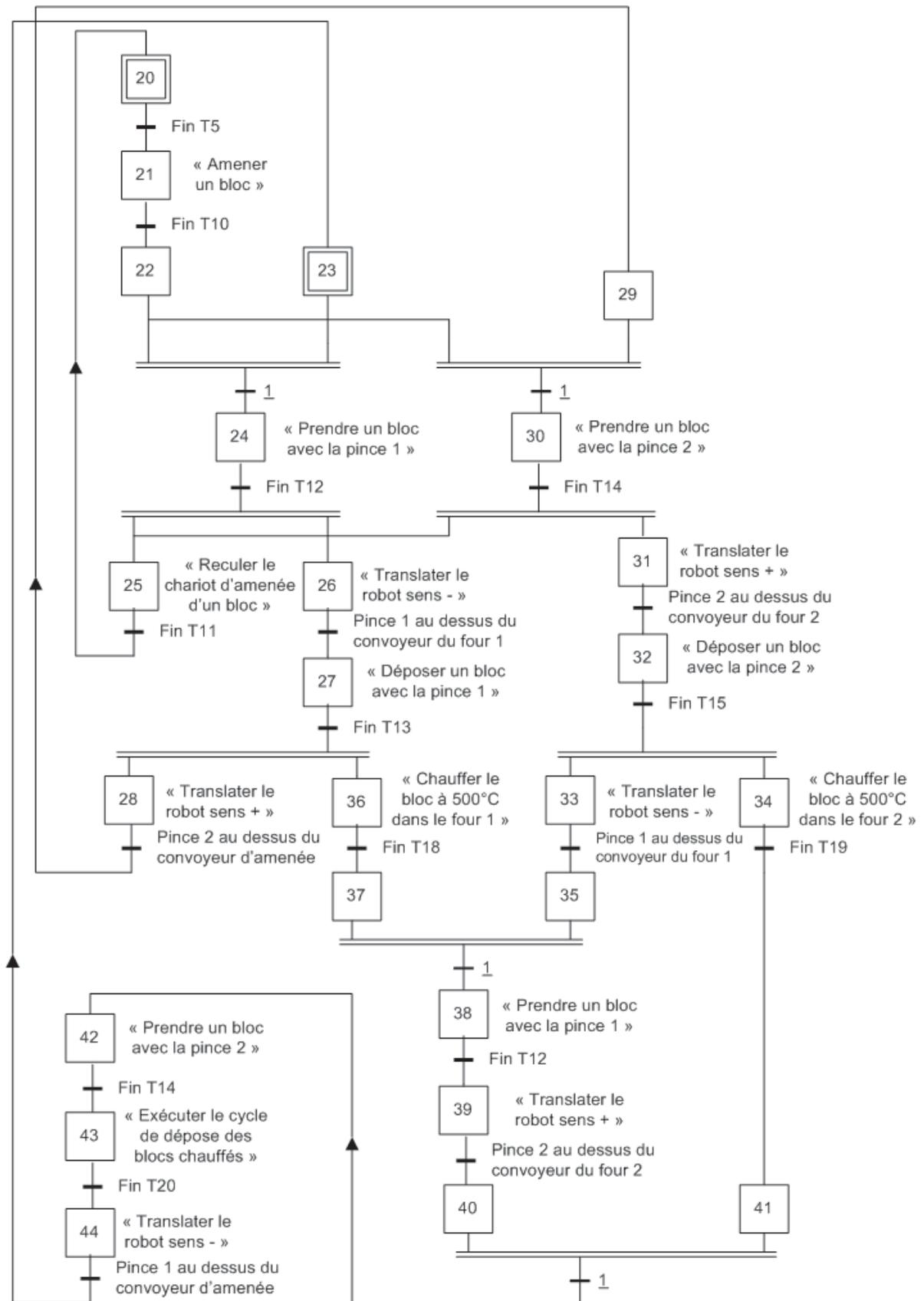


FIGURE 11 – grafcet GCamenée

Un autre cycle où le robot se présenterait systématiquement au dessus de chaque convoyeur de four avec un bloc à chauffer pourrait être imaginé. Cela permettrait de réaliser dans la même séquence une prise du bloc chauffé avec une pince et une dépose d'un bloc à chauffer avec l'autre pince. Dans ce cycle, le robot prend un bloc avec la pince 2, se dirige vers le four 1, fait un cycle de prise et dépose complet, puis effectue la tâche T20. Ensuite, le robot prend un bloc avec la pince 2, se dirige vers le four 2, fait un cycle de prise et dépose complet, puis effectue la tâche T20. Dans ce principe de fonctionnement, les fours n'attendent jamais le robot, ils fonctionnent sans discontinuer.

Q- 9 Dans le cas de la barrière simple utilisée dans l'application (émetteur/récepteur) : l'émetteur et le récepteur sont dans deux boîtiers différents montés en vis-à-vis. Le bloc est détecté dès qu'il coupe le faisceau optique.

Il est possible aussi d'utiliser une barrière réflex où émetteur et récepteur sont dans le même boîtier, la lumière émise étant renvoyée par un réflecteur.

Le détecteur direct où émetteur et récepteur sont dans le même boîtier et où la lumière émise est réfléchiée par l'objet nécessite des objets suffisamment réfléchissants.

Q- 10

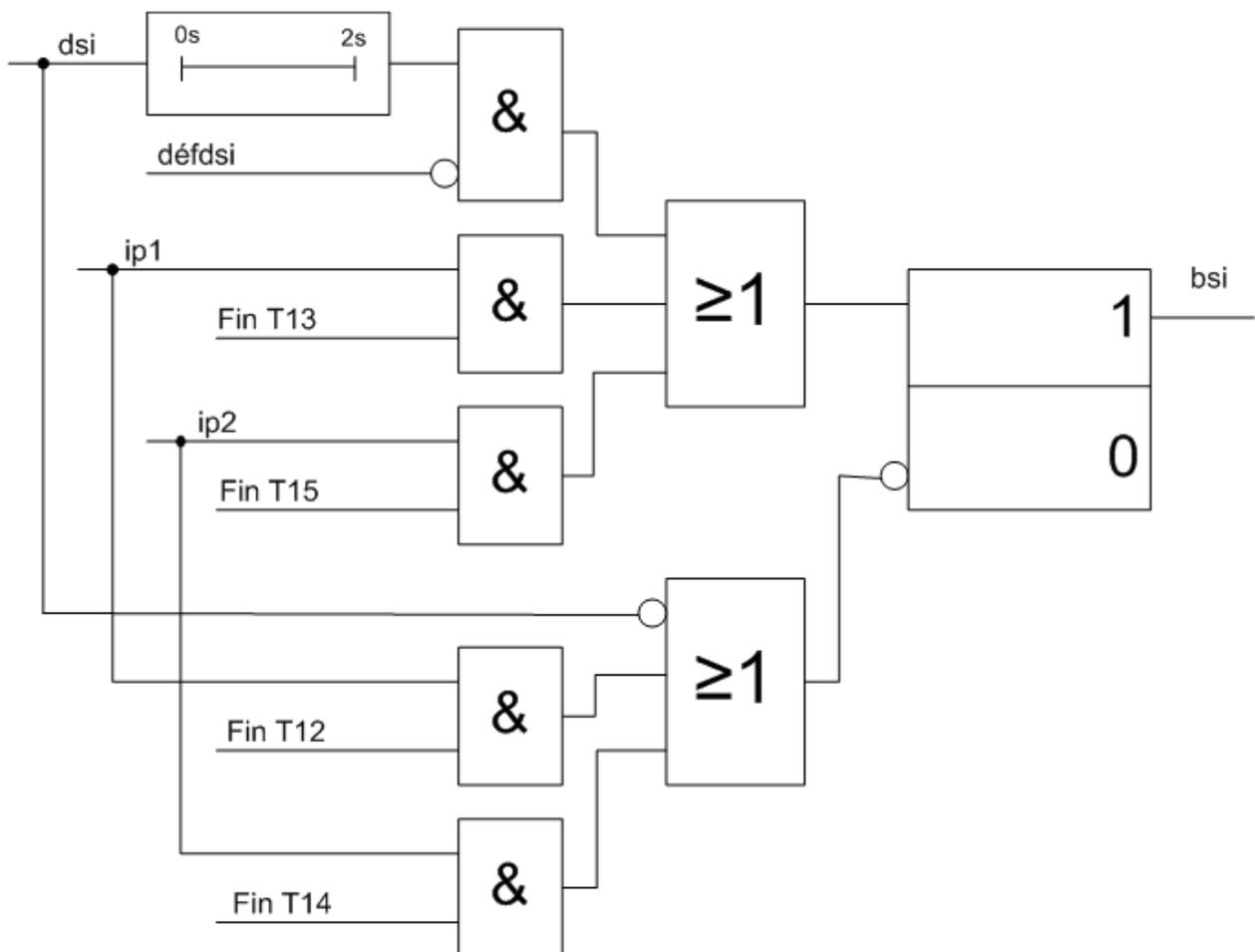


FIGURE 12 – Logigramme

Q- 11

Cette structure du programme permet d'éviter les évolutions fugaces (états instables), une étape pouvant être activée et désactivée lors de la même scrutation du programme. Il s'agit également de respecter la règle 4 d'évolution du Grafcet portant sur les franchissements simultanés de transitions.

Q- 12

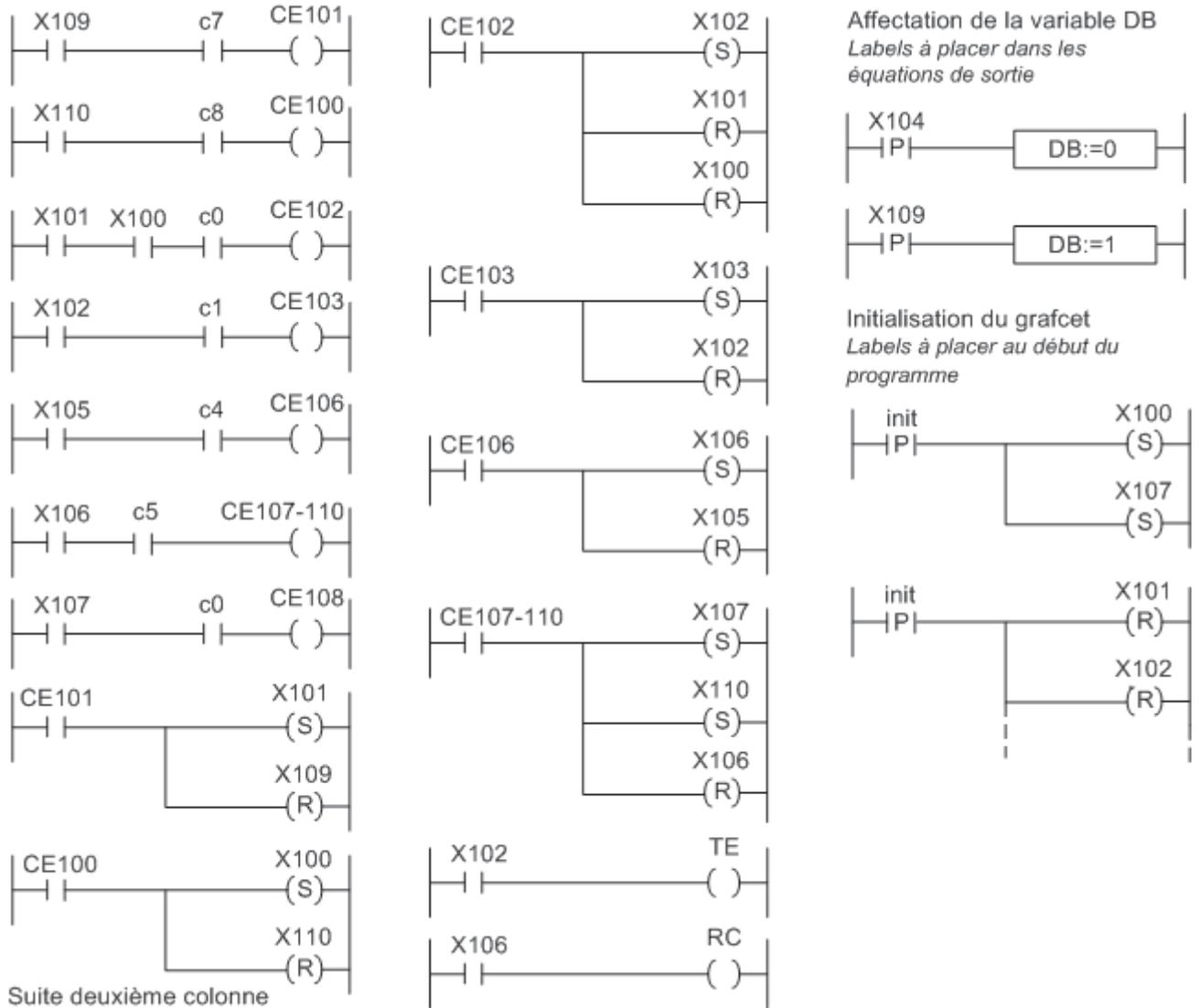


FIGURE 14 – schéma ladder

**Q- 13** On isole l'ensemble {étai + mors}. On écrit théorème de la résultante dynamique en projection suivant l'axe  $(O, \vec{x})$  ce que donne :

$$m_e \cdot \ddot{x}_f = T_c - T_f \quad (1)$$

**Q- 14** On isole maintenant tout l'ensemble mobile hormis l'étai et les mors, et on applique le théorème de l'énergie cinétique.

Déterminons dans un premier temps l'énergie cinétique  $E_c$

$$E_c = \frac{1}{2}J_m \cdot \omega_m^2 + \frac{1}{2}J_r \cdot \omega_m^2 + \frac{1}{2}M_{ch} \cdot v_c^2 + \frac{1}{2}M_c \cdot v_c^2$$

avec  $v_c = \frac{R_p}{\lambda} \omega_m$

$$E_c = \frac{1}{2}J_m \cdot \omega_m^2 + \frac{1}{2}J_r \cdot \omega_m^2 + \frac{1}{2}M_{ch} \cdot \left(\frac{R_p}{\lambda} \omega_m\right)^2 + \frac{1}{2}M_c \cdot \left(\frac{R_p}{\lambda} \omega_m\right)^2$$

$$E_c = \frac{1}{2} \left( J_m + J_r + M_{ch} \cdot \frac{R_p^2}{\lambda^2} + M_c \cdot \frac{R_p^2}{\lambda^2} \right) \omega_m^2 \quad (2)$$

d'où

$$\frac{d}{dt} \left[ \frac{1}{2} J_e \cdot \omega_m^2 \right] = C_m \cdot \omega_m - T_c \cdot v_c$$

$$J_e \cdot \omega_m \cdot \dot{\omega}_m = C_m \cdot \omega_m - T_c \cdot v_c$$

$$J_e \cdot \dot{\omega}_m = C_m - T_c \cdot \frac{R_p}{\lambda} \quad (3)$$

que l'on peut aussi écrire en fonction de  $v_c$

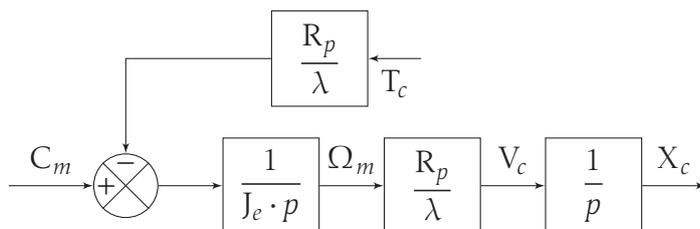
$$J_e \cdot \frac{\lambda}{R_p} \dot{v}_c = C_m - T_c \cdot \frac{R_p}{\lambda} \quad (4)$$

puis de  $x_c$

$$J_e \cdot \frac{\lambda}{R_p} \ddot{x}_c = C_m - T_c \cdot \frac{R_p}{\lambda} \quad (5)$$

$$(6)$$

**Q- 15**



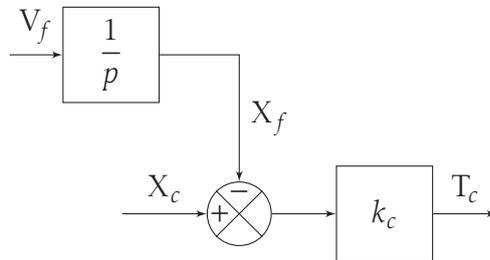
**Q- 16** Capteur à jauge de contrainte...

**Q- 17** L'effort  $T_c$  est proportionnel à la déformation, si on suppose que à l'instant initial les

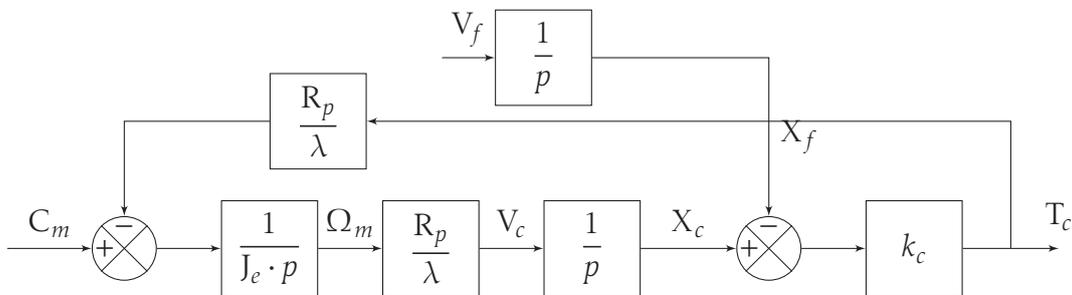
positions relatives du chariot et de l'étiau sont telles que  $x_c = x_f = 0$  alors pendant le déplacement.

$$T_c = -k_c(x_f - x_c). \quad (7)$$

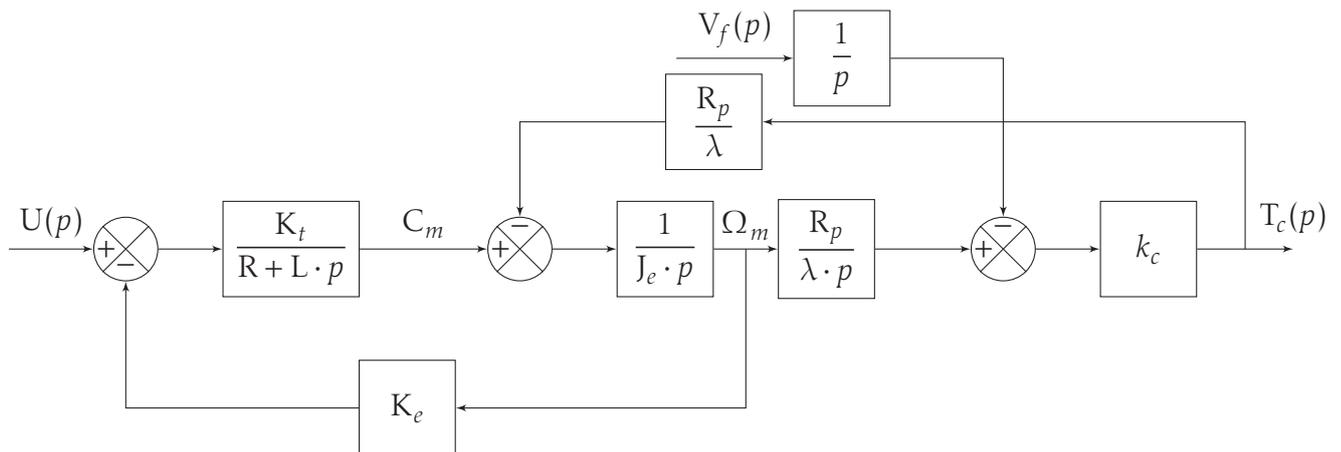
Q- 18



Q- 19



Q- 20



Q- 21

$$T_c(p) = H_e \cdot (H_c \cdot \Omega_m(p) - H_g \cdot V_f(p)) \quad (11)$$

$$\Omega_m(p) = H_b \cdot (H_a \cdot (U(p) - H_d \cdot \Omega_m(p)) - H_f \cdot T_c(p)) \quad (12)$$

d'où

$$\Omega_m(p) = H_b \cdot \frac{H_a \cdot U(p) - H_f \cdot T_c(p)}{1 + H_b \cdot H_a \cdot H_d} \quad (13)$$

en substituant dans la première relation :

$$T_c(p) = H_e \cdot \left( \frac{H_c \cdot H_b \cdot (H_a \cdot U(p) - H_f \cdot T_c(p))}{1 + H_b \cdot H_a \cdot H_d} - H_g \cdot V_f(p) \right) \quad (14)$$

finalement

$$T_c(p) = \frac{H_a \cdot H_b \cdot H_c \cdot H_e}{1 + H_a \cdot H_b \cdot H_d + H_b \cdot H_c \cdot H_e \cdot H_f} \cdot U(p) - H_e \cdot H_g \frac{1 + H_a \cdot H_b \cdot H_d}{1 + H_a \cdot H_b \cdot H_d + H_b \cdot H_c \cdot H_e \cdot H_f} \cdot V_f(p) \quad (15)$$

Q- 22

On identifie à un second ordre  $H_2(p) = \frac{K}{1 + 2\frac{z}{\omega_n} \cdot p + \frac{p^2}{\omega_n^2}}$  et on obtient

$$K \approx 535 \quad (16)$$

$$\omega_n \approx 3,45 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \quad (17)$$

$$z \approx 7,43 \quad (18)$$

et . La fonction de transfert peut donc être mise sous la forme d'un produit de deux premiers ordres :

$$H_2(p) \approx \frac{535}{1 + 4,31 \cdot p + 0,0085 \cdot p^2} \approx \frac{535}{(1 + 0,02 \cdot p)(1 + 4,3 \cdot p)} \quad (19)$$

Q- 23

On constate sur la représentation de Bode que les deux lieux sont relativement semblable jusqu'à environ  $20 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ , au delà, le modèle du troisième ordre tend vers  $-270^\circ$  alors que l'autre ne tend que vers  $-180^\circ$ .

La modélisation par le modèle du second ordre ne sera donc possible que si le domaine de fréquence du système à étudier est inférieur à  $\frac{10}{\pi} \approx 3 \text{ Hz}$  et que le gain de boucle ne soit pas trop important. Le risque d'instabilité est certainement ce qui va le plus limiter cette modélisation, en effet, une système du second ordre boucle avec uniquement un correcteur proportionnel ne sera jamais instable, alors que le système du troisième ordre lui peut être instable. **Remarque** : les deux réponses sont acceptées, seule la qualité de la justification est évaluée.

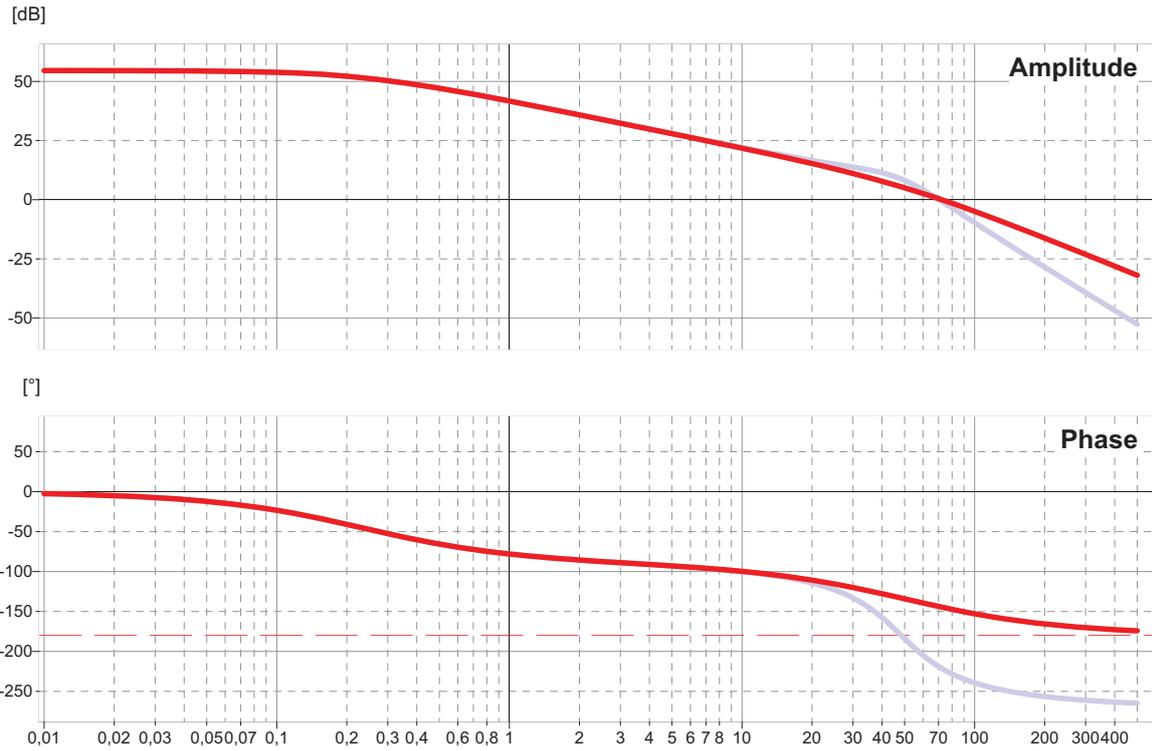
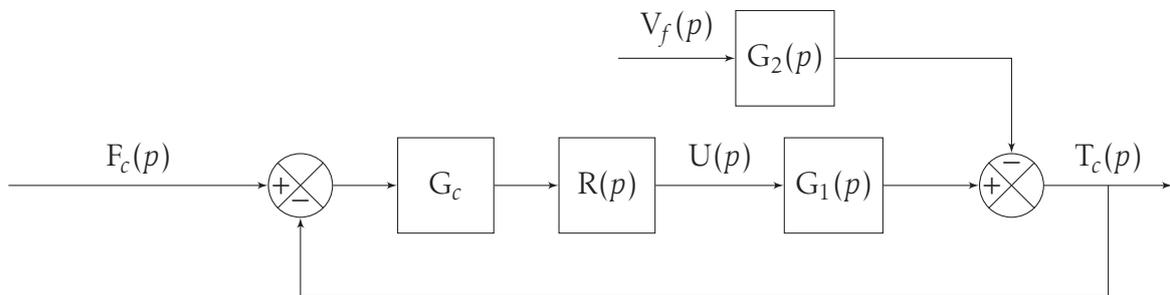


FIGURE 20 – Diagramme de Bode  $G_1(p)$

Q- 24 Le modèle proposé ne régule pas l'effort de traction mais la mesure de cet effort, ces deux efforts ne sont identiques que dans des phases de fonctionnement à vitesse constante (Cf équation du PFD sur l'étau).

Q- 25 Le gain du bloc Adapt doit être le même que  $G_c$  afin que la comparaison soit valide. Il est judicieux ici de mettre le schéma sous la forme d'un schéma à retour unitaire. le schéma devient donc :



Il est nécessaire de vérifier si le système proposé est stable.  
On peut soit faire une étude graphique, soit à partir du critère de Routh

Calculons dans un premier temps la FTBO puis la FTBF pour  $V_f(p) = 0$

$$\begin{aligned} \text{BO}(p) &= G_c \cdot R_0 \cdot G_1(p) \\ \text{BO}(p) &= \frac{2,90 \cdot 10^5 \cdot R_0}{(p + 0,232) \cdot (p^2 + 45,2 \cdot p + 2330)} \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \text{BF}(p) &= \frac{\text{BO}(p)}{1 + \text{BO}(p)} \\ \text{BF}(p) &= \frac{1450 \cdot R_0}{5 \cdot p^3 + 226 \cdot p^2 + 11695 \cdot p + 2330 + 1450 \cdot R_0} \end{aligned} \quad (23)$$

Le critère de Routh nous permet de déterminer la valeur limite de  $R_0$

$$\begin{vmatrix} 5 & 11695 & 0 \\ 226 & 2330 + 1450 \cdot R_0 & 0 \\ \frac{1315710 - 3625 \cdot R_0}{113} & 0 & 0 \\ 2330 + 1450 \cdot R_0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad (24)$$

Le système est stable si tous les termes de la première colonne sont positifs c'est à dire  $R_0 < 363$ .

Posons  $R_0 < 363$ . Nous pouvons alors appliquer le théorème de la valeur finale pour déterminer l'erreur statique  $\epsilon_s = F_c(p) - T_c(p) = \lim_{t \rightarrow \infty} (\epsilon(t)) = \lim_{p \rightarrow 0} (p \cdot \epsilon(p))$ .

$$\begin{aligned} \epsilon(p) &= F_c(p) - T_c(p) = F_c(p) - \text{BO}(p) \cdot \epsilon(p) + G_2(p) \cdot V_f(p) \\ \epsilon(p) &= \frac{1}{1 + \text{BO}(p)} F_c(p) + \frac{G_2(p)}{1 + \text{BO}(p)} \cdot V_f(p) \\ \epsilon_s &= \lim_{p \rightarrow 0} \left( p \cdot \left( \frac{1}{1 + \text{BO}(p)} F_c(p) + \frac{G_2(p)}{1 + \text{BO}(p)} \cdot V_f(p) \right) \right) \end{aligned} \quad (25)$$

avec dans la première phase  $V_f = 0$  et  $F_c(p) = \frac{2000}{p}$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \lim_{p \rightarrow 0} \left( p \cdot \frac{1}{1 + \text{BO}(p)} F_c(p) \right) = \lim_{p \rightarrow 0} \left( p \cdot \frac{1}{1 + G_c \cdot R_0 \cdot G_1(p)} F_c(p) \right) \\ \epsilon_s &= \lim_{p \rightarrow 0} \left( p \cdot \frac{1}{1 + G_c \cdot R_0 \cdot G_1(p)} \frac{2000}{p} \right) = \lim_{p \rightarrow 0} \left( \frac{2000}{1 + G_c \cdot R_0 \cdot G_1(p)} \right) \end{aligned} \quad (26)$$

$$\epsilon_s = \lim_{p \rightarrow 0} \left( \frac{2000}{1 + \frac{2,90 \cdot 10^5 \cdot R_0}{(p + 0,232) \cdot (p^2 + 45,2 \cdot p + 2330)}} \right) = \frac{466000}{233 + 145 \cdot R_0} \quad (27)$$

Finalement pour respecter le cahier des charges il faut :  $\frac{466000}{233 + 145 \cdot R_0} < 100$  d'où  $R_0 = 30,5$ .

$R_0$  doit être tel que  $30,5 \leq R_0 < 363$ .

#### Q- 26

Nous avons vus précédemment que

$$\epsilon_s = \lim_{p \rightarrow 0} \left( p \cdot \left( \frac{1}{1 + \text{BO}(p)} F_c(p) + \frac{G_2(p)}{1 + \text{BO}(p)} \cdot V_f(p) \right) \right) \quad (28)$$

ce qui donne en fonction de  $R_0$ ,  $F_c$  et  $v_3$ .

$$= \lim_{p \rightarrow 0} \left( p \cdot \left( \frac{1}{1 + G_c \cdot R_0 \cdot G_1(p)} F_c(p) + \frac{G_2(p)}{1 + G_c \cdot R_0 \cdot G_1(p)} \cdot V_f(p) \right) \right) \quad (29)$$

$$= \lim_{p \rightarrow 0} \left( p \cdot \left( \frac{1}{1 + \frac{2,90 \cdot 10^5 \cdot R_0}{(p + 0,232) \cdot (p^2 + 45,2 \cdot p + 2330)}} F_c(p) \right) \right) \quad (30)$$

$$+ \lim_{p \rightarrow 0} \left( p \cdot \left( \frac{\frac{150000}{1 + 4 \cdot p}}{1 + \frac{2,90 \cdot 10^5 \cdot R_0}{(p + 0,232) \cdot (p^2 + 45,2 \cdot p + 2330)}} \cdot V_f(p) \right) \right)$$

avec  $F_c(p) = \frac{2000}{p}$  et  $V_f(p) = \frac{v_3}{p}$

$$\epsilon_s = \frac{233}{233 + 145 \cdot R_0} \cdot F_c + \frac{33555915}{233 + 145 \cdot R_0} \cdot v_3 \quad (31)$$

Compte tenu des valeurs numériques, pour respecter le cahier des charges, il faut  $R_0 \approx 230$ . Cette valeur est compatible avec le critère de stabilité, il est donc théoriquement possible de fonctionner avec un correcteur proportionnel.

**Q- 27** Respecter toute la gamme de vitesse, nécessite de choisir une valeur de  $R_0$  trop importante pour que le système reste stable, il est donc nécessaire de prévoir une correction de type P.I, voire P.I.D en amont de la perturbation afin d'améliorer la précision sans dégrader la stabilité.

**Q- 28**

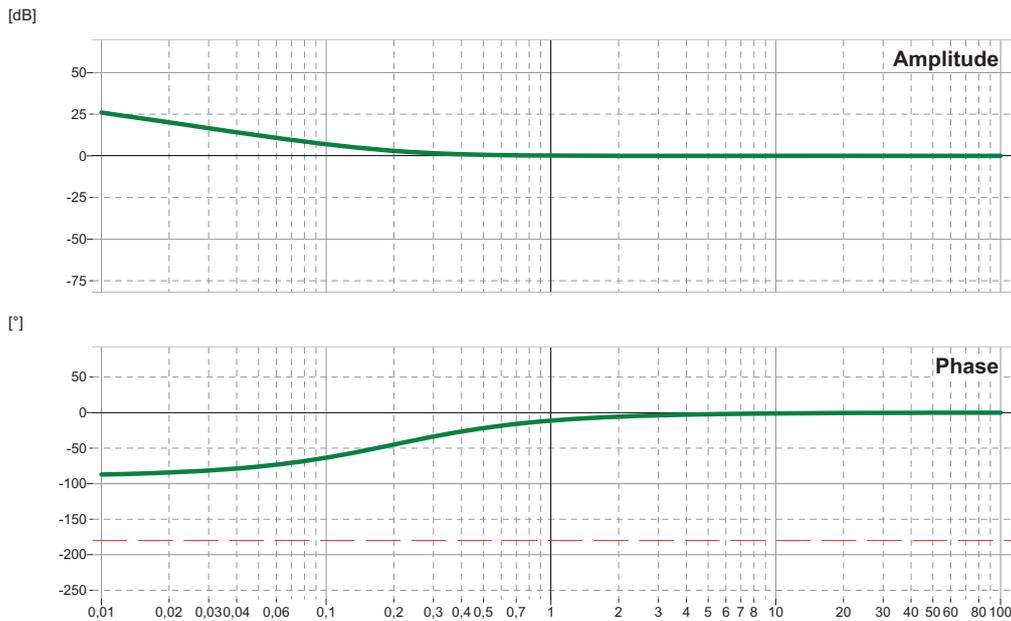


FIGURE 22 – Diagramme de Bode correcteur  $R(p)$

On reconnaît pour  $R(p)$ , un correcteur de type P.I. En rajoutant une intégration dans la boucle, il permet d'annuler l'erreur statique pour les phases à perturbation de vitesse constante. pour la phase en rampe de vitesse, l'erreur devient constante. Le défaut principal de ce régulateur est d'augmenter l'instabilité s'il est mal réglé.

**Q- 29** Diagramme de Black

La marge de gain est très importante  $\approx 50$  dB, la marge de phase est  $\approx 90^\circ$ .

Le système est stable.

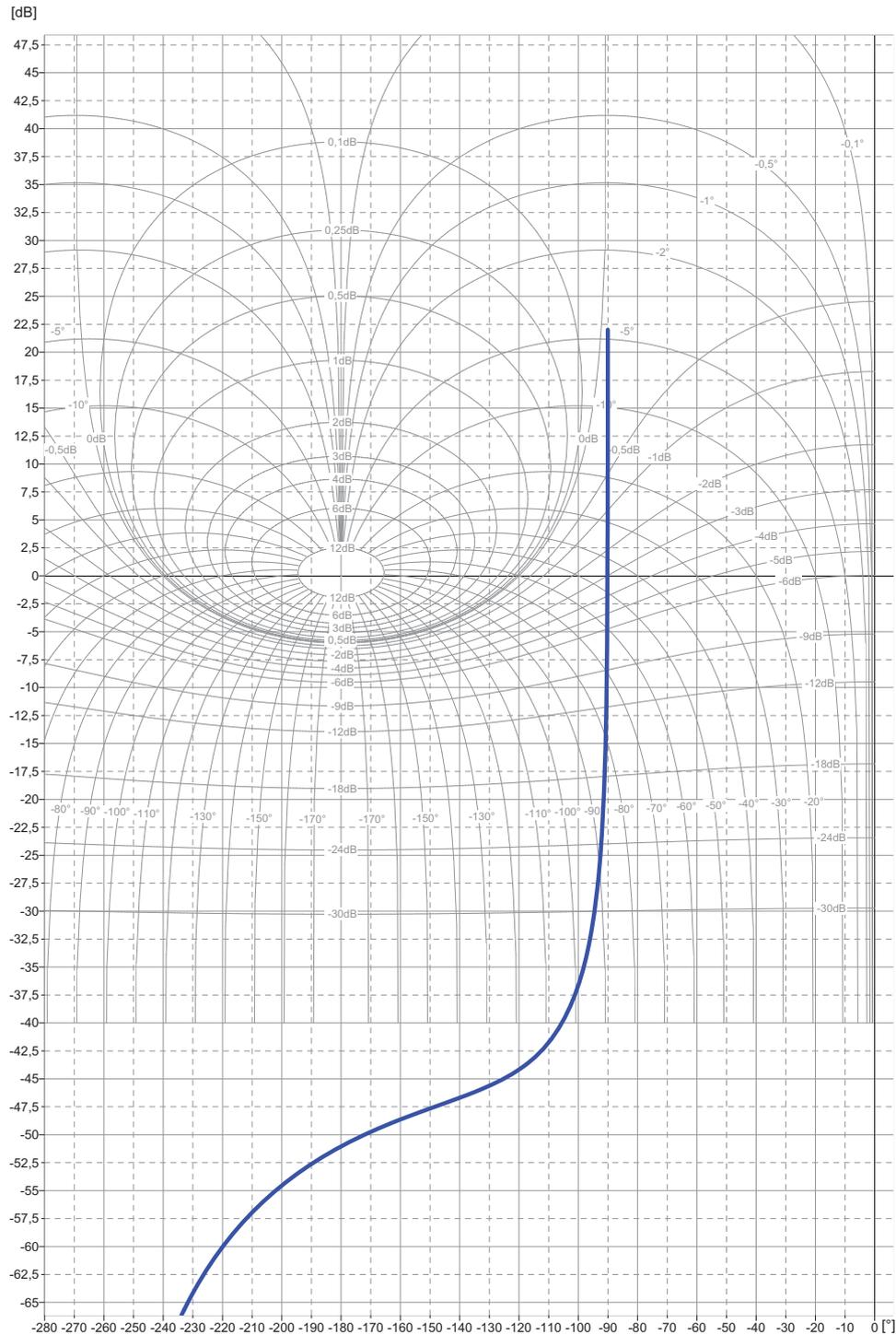
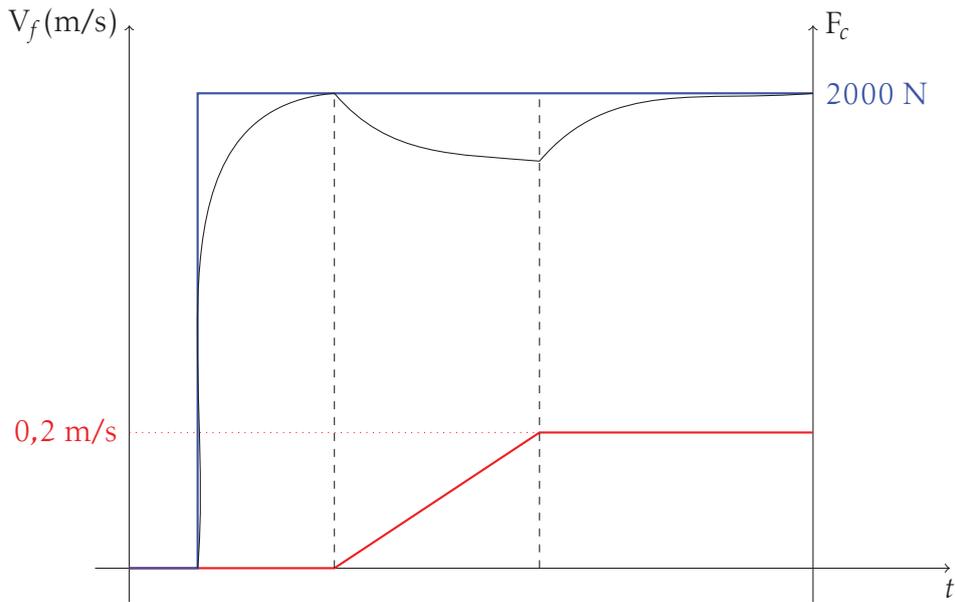


FIGURE 23 – Diagramme de Black FTBO corrigée ( $R_0 = 1$ )

**Q- 30** Le correcteur P.I placé avant la perturbation permet d'annuler l'erreur indicielle pour une perturbation constante (ici la vitesse de filage  $V_f$ ).



**première phase :** la consigne d'effort est constante, la perturbation (vitesse) est nulle, l'erreur statique est nulle ;

**deuxième phase :** effort constant et phase d'accélération constante, l'erreur statique est non nulle mais constante ;

**troisième phase :** effort constant, vitesse constante, erreur statique nulle.

**Q- 31**

« La réponse temporelle ne doit pas présenter d'oscillations »  
 La ftbf ne doit comporter que des racines réelles.

Il n'y a pas de lien direct entre la réponse fréquentielle et la réponse temporelle mais nous savons malgré tout que si le lieu de Black de la FTBO tangente une des courbes de Hall, la FTBF présentera une résonance. Il semble donc pertinent de choisir comme première étape du réglage de remonter le lieu de Black au maximum, sans qu'il soit tangent à aucune courbe de Hall puis de vérifier expérimentalement le comportement.

On peut par exemple remonter le lieu de black d'environ +40 dB soit  $R_0 = 10^{\frac{40}{20}} = 10^2 = 100$ .

On pourra aussi si cela ne suffit rajouter un correcteur à avance de phase pour faire en sorte que la marge de phase soit supérieure à  $90^\circ$ .

# **Commentaires concernant l'épreuve d'automatique - informatique industrielle**

## **PARTIE 1**

Cette partie porte sur l'étude du comportement séquentiel de l'installation. Elle a permis d'évaluer de nombreuses compétences relatives à la spécification, aux connaissances technologies, et aux techniques de réalisation programmée.

### **Le filage**

Q-1 : Les candidats ont trouvé sans problème l'épaisseur E1 du profilé.

Q-2 : Cette question a été traitée correctement par une majorité de candidat. Certains candidats ont cependant rencontré des difficultés pour calculer des surfaces apparaissant dans la relation qui permet de calculer le rapport de filage en prenant en compte les tolérances.

### **Le cycle de la presse**

Q-3 : Peu de réponses à la question concernant la comparaison (ou confusion avec un convertisseur analogique/numérique). Concernant l'élaboration du grafcet, le jury a observé parfois un non respect des entrées/sorties. Par ailleurs, le changement d'outillage a souvent été intégré au cycle principal alors qu'il fait l'objet d'une divergence en OU (choix en début de cycle).

### **Étude du circuit de puissance du vérin hydraulique de la presse**

Q-4 : Une grande majorité de candidats a traité correctement cette question, toutefois le diagramme FAST ne semble pas encore maîtrisé par certains d'entre eux. Le rôle du distributeur proportionnel a souvent été oublié.

Q-5 : Les candidats n'ont pas rencontré de difficultés particulières. Toutefois le jury a remarqué parfois des problèmes avec les unités et les valeurs de pression.

Q-6 : La principale erreur commise est l'oubli du rapport de filage dans le calcul de la puissance. Les deux autres questions n'ont posé aucune difficulté.

### **Gestion de l'amenée des blocs**

Q-7 : Les candidats ont eu des difficultés pour spécifier la gestion des 5 coupes (intégration d'un opérateur de comptage dans le grafcet). Le cahier des charges n'est pas toujours respecté (par exemple : transfert d'une billette entière dans le four de préchauffage uniquement lorsqu'il est vide).

### **Gestion du robot portique à deux pinces indépendantes**

Q-8 : Cette question où le jury souhaitait évaluer la gestion des synchronisations entre tâches nécessitait du temps d'appropriation avant de composer. Peu de candidats l'ont traité complètement. Les candidats ayant commencé à élaborer le grafcet avec des synchronisations correctes ont obtenus des points.

### **Détection dans le stock tampon**

Q-9 : Les réponses restent souvent superficielles.

### **Réalisation programmée**

Q-10 : Un nombre significatif de candidat n'a pas répondu à la question posée. Les logigrammes et le langage structuré ne sont parfois pas maîtrisés.

## **PARTIE 2**

Le jury a regretté que de nombreux candidats se présentent à l'agrégation de mécanique avec une maîtrise insuffisante des systèmes asservis.

Dans cette deuxième partie, il s'agit d'étudier le fonctionnement du « Puller ». Celui-ci doit assurer un effort de traction le plus constant possible sur le profilé pendant la phase de filage afin d'éviter les déformations. Cette étude se décompose en trois étapes, la modélisation du système, l'étude de la régulation et finalement la correction de celui-ci.

### **Modélisation**

Il s'agissait dans cette partie de proposer un schéma bloc pour décrire le fonctionnement du système à partir des équations de la mécanique et des équations de fonctionnement du moteur.

Q13, Q14 : Ces deux questions, à priori simples pour un candidat à l'agrégation de mécanique puisqu'il s'agissait d'écrire, pour la première, le théorème de la résultante dynamique et pour l'autre, le théorème de l'énergie cinétique, n'ont été correctement traitées que par les deux tiers des candidats. Cette remarque s'applique aussi à la modélisation du capteur par un ressort (Q17).

Q15, Q18, Q19, Q20 : Ces quatre questions permettaient de construire pas à pas le schéma bloc du système. Une moitié seulement des candidats a tenté de répondre à ces questions, souvent correctement. Certains candidats ont malgré tout confondu la dérivation et l'intégration dans le domaine de Laplace. Il est toujours préférable dans une phase de modélisation de faire apparaître dans le schéma bloc les fonctions de transfert élémentaires ayant un sens physique plutôt que la fonction globale du système.

Q21 : Détermination de  $T(p)$  en fonction de  $U(p)$  et  $V_f(p)$  : question sans réelle difficulté mais qui nécessitait un peu de méthode et de rigueur pour ne pas partir dans des calculs qui n'en finissaient plus.

Q22, Q23 : Étude et tracé des diagrammes de Bode d'un système du second ordre. La détermination des coefficients du second ordre n'a en général pas posé de problèmes (certains candidats confondent forme canonique et décomposition en éléments simples). Par contre, le tracé des diagrammes est souvent faux ou trop simplifié pour permettre de répondre à la deuxième partie de la question 23.

### **Régulation de l'effort de traction**

Q25, Q26 : Il s'agissait de vérifier si une simple régulation proportionnelle pouvait convenir. Une moitié des candidats a répondu correctement à la question concernant la stabilité, mais les calculs de l'erreur statique sans perturbation ( $V_f(p)=0$ ) puis avec perturbation ont rarement été menés correctement.

### **Correction**

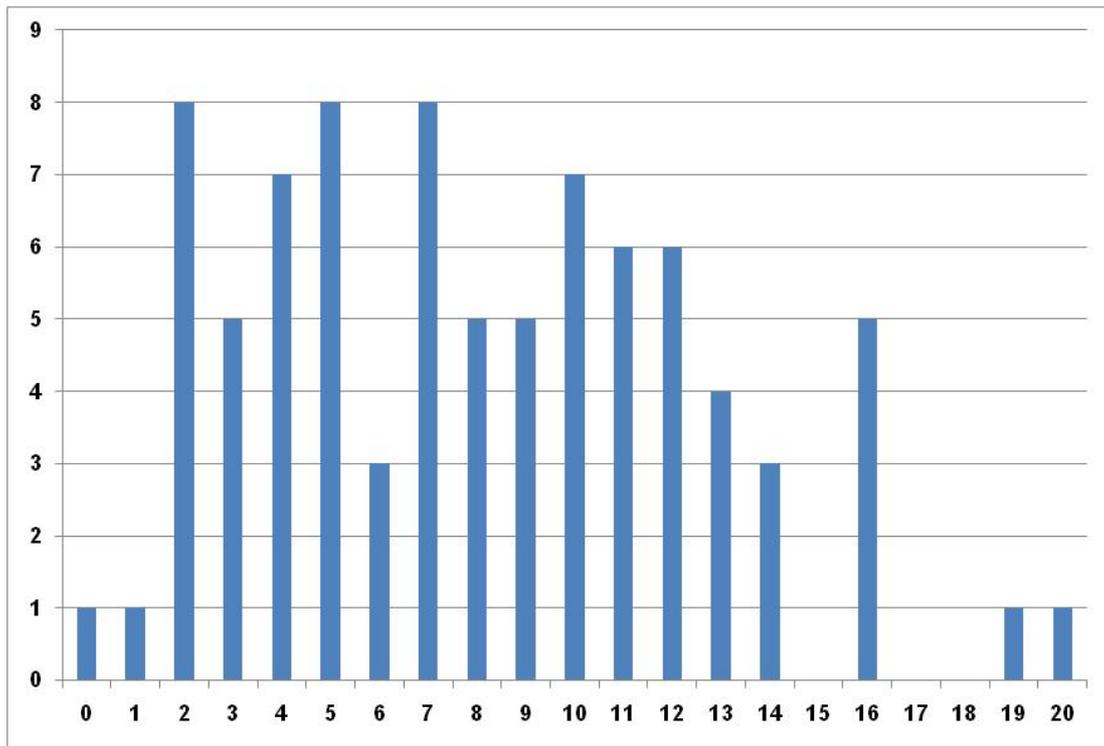
Q28 : Il s'agit de l'étude d'un correcteur PI. Cette question classique n'aurait pas dû poser de difficultés aux candidats, or seul un cinquième des candidats a répondu correctement.

Q29 : Seuls quelques candidats ont tenté le tracé du diagramme de Black. Le jury a relevé deux erreurs : oubli du gain  $G_c$ , ajout de la courbe réelle de  $G_l$  et du diagramme asymptotique du correcteur PI.

Q30, Q31 : Aucun candidat n'a répondu correctement à ces deux questions.

## Résultats

Le graphe ci-dessous présente l'ensemble des résultats obtenus à cette épreuve au cours de la session 2009.



Moyenne = 7,8 / 20

### **3. EPREUVES D'ADMISSION**

- **Épreuve de Leçon de Mécanique**
- **Épreuve de Dossier**
- **Épreuve de Travaux pratiques**

## RAPPORT DE L'ÉPREUVE DE LEÇON DE MÉCANIQUE

M. CROCHET – M. LOISY – M. MAYA – F. UTHEZA

### Organisation de l'épreuve

La leçon de Mécanique permet au jury d'évaluer l'aptitude des candidats à concevoir et à construire une leçon dans le cadre d'une séquence pédagogique pour laquelle le niveau (pré ou post baccalauréat) et les objectifs à atteindre sont précisés.

Cette épreuve permet aussi de confirmer les compétences des candidats en Mécanique sur des domaines qui n'ont pas été forcément abordés lors des épreuves d'admissibilité. Pour la session 2008, les candidats devaient exposer leur travail durant environ 40 minutes à l'issue d'une préparation de 4 heures. Cet exposé s'est prolongé par un échange d'environ 10 minutes avec le jury.

Durant l'exposé, le candidat est invité à consacrer entre 5 et 10 minutes pour situer sa leçon, préciser les objectifs visés, les pré-requis nécessaires et l'organisation de la séquence dans laquelle s'insère la leçon. Ensuite, il doit développer sa leçon comme s'il était en présence d'élèves. Il doit réserver quelques minutes avant la fin du temps imparti pour conclure sur sa prestation et justifier que les objectifs annoncés ont été atteints. De plus il doit remettre au jury la fiche de synthèse que les élèves auront en leur possession à l'issue de la séquence présentée.

Les thèmes, proposés au cours de la session 2009, du concours sont listés ci-après :

- actions mécaniques – modélisation;
- caractéristiques mécaniques principales des matériaux ;
- cinématique du solide, équiprojectivité ;
- déformations - opérateurs et cercles de Mohr ;
- éléments finis - conditions de mise en œuvre de la méthode ;
- énergies et rendement ;
- frottement de Coulomb, applications ;
- machines thermiques ;
- mouvements plans, centre instantané de rotation ;
- pertes de charge et dimensionnement de conduite ;
- principe fondamental de la dynamique ;
- principe fondamental de la statique ;
- repérage et paramétrage ;
- résistance des matériaux – théorèmes énergétiques ;
- résistance des matériaux – torseur des actions de cohésion ;
- résistance des matériaux - sollicitations simples ;
- théorème d'Archimède ;
- théorème d'Euler ;
- théorèmes généraux de la dynamique – mise en équations ;
- théorème de Pascal ;
- théorème de superposition - applications en résistance des matériaux ;
- théorème de l'énergie cinétique et applications ;
- transferts thermiques.

Les thèmes proposés peuvent être déclinés sous différentes formes : cours, application, développement d'une méthodologie, et à différents niveaux : pré-bac ou post-bac.

Pour chaque leçon, des dossiers sont fournis aux candidats avec le sujet. Ils contiennent des documents ressources parmi lesquels le candidat peut éventuellement choisir ceux qu'il juge adaptés à la construction de sa présentation. On rappelle que ces documents doivent être analysés et peuvent être modifiés pour s'adapter à la leçon proposée.

Des postes informatiques sont mis à disposition des candidats. Des ressources et les programmes des classes visées par les leçons de Mécanique sont donnés sous forme numérique. Lors de la présentation orale un vidéoprojecteur et un rétroprojecteur sont installés dans la salle de l'épreuve.

## **Évaluation des candidats**

### Les compétences évaluées

Parmi les compétences d'un futur enseignant, l'épreuve de leçon de Mécanique permet d'évaluer plus particulièrement celles qui relèvent de la pédagogie :

- identifier les connaissances à transmettre ;
- mobiliser ses connaissances scientifiques et techniques ;
- enrichir ses connaissances en recherchant dans les documents proposés ;
- proposer un schéma pédagogique cohérent ;
- faire le choix des supports d'enseignement (objets d'étude) ;
- contextualiser l'étude (choix d'une problématique, condition de fonctionnement...) ;
- scénariser une séquence d'enseignement ;
- s'adapter au niveau (le modèle, le discours, la représentation...) ;
- appliquer des démarches, des modèles, avec rigueur ;
- proposer des activités "élèves" adaptées ;
- communiquer et s'exprimer oralement ;
- présenter des informations visuelles (informations écrites, graphiques... au tableau, au vidéoprojecteur, au rétroprojecteur) ;
- analyser des résultats ;
- justifier et critiquer des choix ;
- transmettre (savoir, savoir-faire, méthodologie...) ;
- élaborer une fiche de synthèse.

### Les critères

Pour l'évaluation des prestations des candidats, le jury s'appuie sur un ensemble de critères :

#### *Schéma pédagogique :*

- identification des acquis préalables ;
- identification des notions fondamentales à présenter ;
- organisation de la séquence.

#### *Leçon :*

- respect des objectifs fixés par le sujet ;
- adéquation au niveau des élèves ;
- plan et enchaînement logique ;

- exactitude des informations transmises ;
- choix des supports et des moyens d'enseignement ;
- qualité de l'expression écrite ;
- qualité de l'expression orale.

*Travaux demandés aux élèves :*

- pertinence des travaux pendant la leçon ;
- pertinence des travaux après la leçon.

Concernant les travaux proposés aux élèves après la leçon, le jury précise qu'il s'agit principalement à partir d'un support, de présenter un problème technique et une démarche de résolution. Il n'est pas nécessaire de rédiger complètement un questionnaire ou d'élaborer un corrigé.

Les Commentaires

Afin de limiter les erreurs d'interprétation, le jury souhaite apporter les précisions de vocabulaire utilisé dans les énoncés de leçons :

- le thème : il caractérise l'association entre le domaine exploré et les problématiques ;
- la séquence d'enseignement : c'est l'ensemble cohérent des cours, TD et TP qui permettent d'atteindre un ou plusieurs objectifs de formation, décrits en termes de compétences. La séquence est présentée par le candidat dans le cadre de son schéma pédagogique ;
- la séance : c'est une activité limitée dans le temps, partie d'une séquence d'enseignement. C'est ce qui est attendu du candidat lors de sa prestation devant le jury. Elle permet d'atteindre quelques-uns des objectifs intermédiaires associés à la compétence visée. À ce titre le candidat doit présenter sa leçon comme s'il était en présence des élèves.

Recommandations

Le candidat doit veiller à présenter son schéma pédagogique en cohérence avec les programmes (baccalauréat STI, BTS CPI et MAI, DUT GMP...).

Les candidats ne doivent pas se limiter à un exposé-catalogue du programme ; ils doivent chercher à mettre en évidence les idées directrices du schéma pédagogique qu'ils proposent, la pertinence des choix qu'ils énoncent pour atteindre les objectifs imposés. En outre, les apports de la leçon à la formation de l'élève doivent être évoqués : points forts, difficultés probables des élèves, mais aussi compétences et savoir-faire nouveaux attendus.

Tous les candidats doivent commencer leur leçon en présentant la situation de la séquence dans le schéma de formation et doivent préciser clairement la classe dans laquelle se situe la séquence.

La partie « leçon » de l'exposé du candidat n'est pas une présentation de ce qu'il envisage de faire. Le jury attend du candidat qu'il fasse effectivement la leçon comme s'il se trouvait en situation dans sa classe (le candidat peut annoncer des contractions de temps afin d'aller à l'essentiel.)

Quel que soit le niveau, la rigueur scientifique doit être extrême. Pour les leçons qui paraissent simples, trop de candidats apportent des définitions incomplètes, imprécises voire fausses.

La partie exposée de la séquence d'enseignement doit en tout état de cause porter sur ce que le candidat juge être le cœur du sujet. Des indications comme "leçon d'application", "développement

d'une méthodologie" ou "leçon de synthèse" apparaissent dans les textes des sujets proposés. Les candidats doivent y être très attentifs, et situer leur présentation dans le cadre indiqué. Cela suppose un choix raisonné des acquis préalables et/ou des points précédemment traités. Le candidat est invité à sélectionner les notions essentielles qui facilitent la compréhension du sujet abordé.

La leçon elle-même n'est pas une présentation abstraite et formelle du thème proposé ; elle peut, et doit, s'appuyer sur un ou plusieurs exemples (de préférence en dehors du champ du laboratoire de physique). Ceux-ci doivent contribuer à mettre en évidence ou à expliquer certaines notions fondamentales dont l'acquisition fait partie des objectifs imposés.

Tous les supports ne sont pas aussi pertinents vis-à-vis du niveau et des objectifs à atteindre, il convient donc de justifier les choix retenus pour la leçon.

#### Période d'échange avec le jury

##### *a) Objectif de l'échange*

Il s'agit d'apporter des éclaircissements sur certains points de la présentation afin de lever des ambiguïtés. Le jury insiste sur le fait qu'il ne s'agit pas de chercher à mettre le candidat en difficulté. Cette phase importante permet d'affiner l'évaluation.

##### *b) Mode opératoire*

Un animateur, choisi parmi les membres du jury rassemble les questions des autres membres du jury durant l'exposé du candidat. Il leur donne ensuite la parole selon une progression cohérente.

##### *c) Remarques et conseils sur cette partie de l'épreuve*

Dans le cadre de cet échange, le candidat peut être invité à s'exprimer aussi bien sur le contenu de sa prestation que sur les pré-requis ou sur l'activité des élèves prévue pendant et après la leçon. Le jury peut parfois profiter de cet échange pour attirer l'attention du candidat sur certaines affirmations erronées ou des démarches pédagogiques mal adaptées à la leçon proposée.

### **Commentaires**

De nombreux candidats utilisent les technologies numériques mises à leur disposition à bon escient pour présenter leur plan de séquence ou illustrer les exemples choisis pour développer leur leçon. On notera cette année que peu d'entre eux se sont servis des animations et des maquettes numériques mises à disposition. Toutefois le jury apprécie de voir les candidats réaliser une partie de leur présentation au tableau.

En revanche il regrette qu'un nombre non négligeable ait fait des impasses sur des domaines au point de ne pouvoir exposer pendant plus de quinze minutes. Pourtant les ressources mises à la disposition des candidats permettent de combler les lacunes dans la plupart des domaines d'application des leçons.

Il est dommage de faire devant les membres du jury un exercice de type « khôlle » : une lecture attentive du sujet, et notamment des objectifs imposés, éviterait à certains candidats de passer à côté de ce qui leur est demandé.

De nombreux énoncés de leçon varient d'une session à l'autre, certains candidats enfermés dans un schéma de préparation trop spécifique ne respectent pas les objectifs spécifiques imposés. **Le jury conseille aux candidats de relire régulièrement ces objectifs** durant leur préparation afin de vérifier que la leçon qu'ils préparent y répond de manière satisfaisante.

Certains candidats traitent durant leur leçon des acquis préalables fixés dans le sujet ou qu'ils ont eux-mêmes fixés. Le temps ainsi utilisé leur manque en fin de leçon alors qu'à contrario d'autres terminent prématurément.

Le jury a pu constater à maintes reprises qu'après une identification des connaissances nouvelles à transmettre, les candidats omettent en cours de séance de fournir les points clés de la leçon (connaissance, méthodes, lois, principes, théorèmes ...). Il convient de mettre en évidence ces points clés, oralement et par écrit au tableau, et de ne pas se limiter à leur mise en œuvre dans le cadre d'une application.

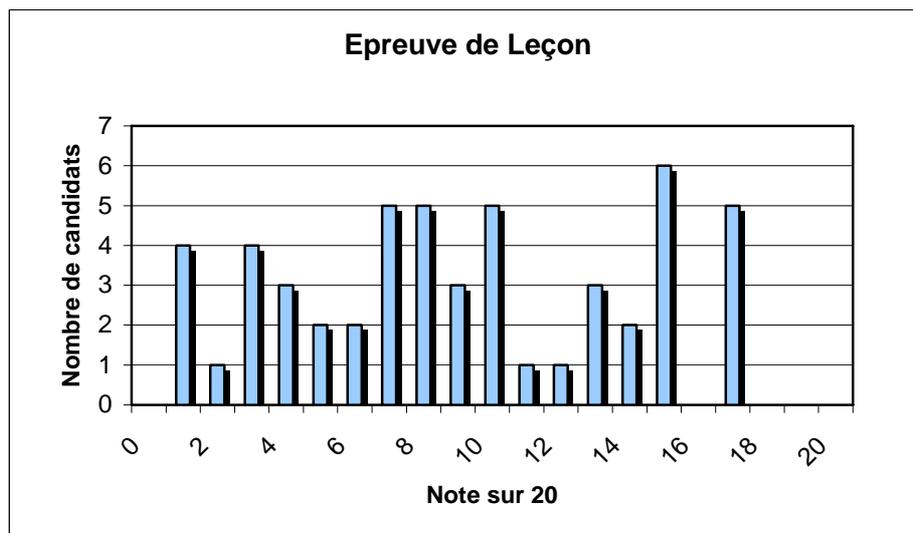
De nombreux candidats introduisent leur leçon à l'aide d'un exercice ou d'un TP, prenant appui sur un système technique. Il s'agit naturellement d'une initiative recommandable dont la fonction est d'éveiller l'intérêt et de sensibiliser les élèves au problème considéré. Toutefois on doit veiller à ce que cela ne se réduise pas à des développements fastidieux conduisant à l'effet contraire. **Mieux vaut à ce stade de la leçon, un exemple simple ou une expérience adaptée expliquée de manière qualitative.**

Pour améliorer la forme de sa prestation, le candidat doit s'efforcer de varier les rythmes de l'exposé et les moyens d'expression dont il dispose (communication écrite au tableau, au rétroprojecteur et au vidéoprojecteur, communication orale, expériences simples...) de manière à soutenir l'attention de son auditoire. Trop d'écritures au tableau rendent une leçon fastidieuse ; trop peu d'écriture fait oublier sa structure. Le jury est naturellement sensible au soin apporté à la présentation du tableau et des documents proposés, ainsi qu'à la clarté de l'élocution, à la précision de la communication. Il est aussi sensible aux fautes d'orthographe qui émaillent le tableau ou les transparents projetés.

En conclusion, le candidat doit s'efforcer d'intéresser le jury, en sachant que celui-ci cherche à évaluer l'impact formatif qu'il aurait sur les élèves. Le délayage et les répétitions destinés à remplir la durée impartie à l'épreuve sont peu appréciés.

## Résultats

Le graphe ci-dessous présente l'ensemble des résultats obtenus au cours de la session 2009.



## RAPPORT DE L'ÉPREUVE SUR DOSSIER

Marie-Christine DULUC, Jean-Jacques DUMERY, Philippe LONJOU, Guillaume RACINEUX

### Introduction

Le jury rappelle que les textes donnant la définition de l'épreuve et le programme de l'agrégation externe de mécanique se trouvent dans le BO spécial n°7 du 1<sup>er</sup> juillet 2004 et dans le BO n°38 du 21 octobre 2004. Sauf remarque particulière, toutes les citations en italiques sont extraites de ces deux documents.

Le dossier présenté doit « *résulte[r]...d'un travail personnel du candidat* » et le jury le vérifie. Le dossier est écrit dans le cadre d'un échange avec une entreprise. Le candidat doit montrer « *les investigations et développements qu'il a conduits pour s'en approprier totalement le fonctionnement et les évolutions potentielles* ». **Le travail personnel attendu du candidat prend sens par la présentation argumentée des conclusions et non par la liste des actions menées.**

Les textes, qui définissent l'épreuve, indiquent que le dossier doit contenir « *les études conduites exploitant les connaissances attendues d'un professeur agrégé dans le domaine de la conception et de la mécanique industrielle* ». **Ceci ne doit pas être compris comme la nécessité d'une étude mécanique théorique lorsqu'elle ne se justifie pas.** Le jury a regretté le nombre important de calculs sans pertinence au regard de la problématique traitée (« *Ensemble de problèmes ou de difficultés clairement identifiés, liés par une thématique commune, et que l'on résout par la réflexion, l'analyse* »). Le BO spécial n°7 du 1<sup>er</sup> juillet 2004 précise à ce sujet que « *l'un des objectifs principaux de cette épreuve est de faire preuve de réelles connaissances en technologie dans un contexte industriel choisi pour sa pertinence technique et pédagogique* ».

L'épreuve s'appuie sur un **dossier personnel de 40 pages maximum** réalisé par le candidat. Le dossier est préparatoire à l'épreuve. Le jury demande au candidat de faire parvenir les **dossiers en deux exemplaires** et un **CD-ROM** qui contient le fichier du dossier en plus de la « *maquette numérique 3D dont le fichier complet est fourni* » et des « *fichiers de simulation* ». Le CD-ROM est à structurer en quatre répertoires : CAO, simulations, dossier, et éventuellement annexes. Les maquettes numériques sont en **format natif et en format neutre** (iges ou step).

### Les compétences évaluées

Parmi les compétences d'un futur enseignant, l'épreuve de Technique permet d'évaluer plus particulièrement :

- rechercher et conduire un partenariat industriel ;
- mettre en œuvre une méthodologie de résolution de problèmes ;

- mobiliser ses connaissances scientifiques et techniques ;
- appliquer des démarches, des modèles, avec rigueur;
- analyser des résultats;
- justifier et critiquer des choix;
- concevoir une solution nouvelle;
- modéliser (passer de la réalité au modèle);
- communiquer et s'exprimer oralement;
- présenter des informations visuelles (informations écrites, graphique... au tableau, au vidéo projecteur, au rétro projecteur);
- formuler des conclusions.

## **Les recommandations**

### **L'aspect technique et scientifique**

Le jury conseille au candidat de :

- rechercher un support moderne, attrayant et industrialisé dès la décision d'inscription au concours ;
- choisir un support conforme au texte officiel : « *Le dossier présenté par le candidat est relatif à un système technique à dominante mécanique. Son authenticité et son actualité sont des éléments décisifs. Il se caractérise par une compétitivité reconnue, par la modernité de sa conception et par sa disponibilité réelle, que le produit soit de type "grand public" ou de type "équipement industriel" non unitaire* » ;
- vérifier la « capacité » du support au regard des développements scientifiques, technologiques et pédagogiques possibles ;
- utiliser une ou plusieurs problématiques techniques pour guider l'étude. L'expérience montre que sans problématique technique, il est difficile d'éviter le piège de la validation de l'existant.
- la pertinence, l'authenticité des problèmes posés sont essentielles ;
- mettre en œuvre de manière lisible les méthodes de résolution de problème et les outils associés ;
- justifier les modèles d'étude et les solutions technologiques retenues : le développement des calculs associés au cours de l'exposé doit être réduit aux étapes essentielles (l'utilisation d'outils de simulation numérique est appréciée lorsqu'elle est pertinente) ;
- s'appuyer sur une maquette numérique fonctionnelle, permettant l'utilisation d'outils de simulation de comportement pour la partie étudiée ;
- placer l'étude d'une manière adaptée dans le cadre général d'une méthode moderne de développement de produit (ingénierie collaborative, simulation numérique, optimisation produit-matériau-procédé, spécification ISO, utilisation d'une chaîne numérique intégrée, pré-industrialisation, ...) sans voir dans chaque point un passage obligé.

### **L'aspect pédagogique**

Le jury conseille au candidat :

- d'identifier « des propositions d'exploitation pédagogiques pertinentes en relation avec les points remarquables du dossier ». L'exhaustivité n'a pas à être recherchée ;
- de détailler les intentions pédagogiques pour deux à trois activités ;

- de préciser les objectifs pédagogiques et d'être attentif à leurs formulations ;
- de privilégier les activités pédagogiques se fondant sur un problème technique réel posé par le support industriel ;
- d'envisager des travaux pratiques sur le réel lorsque le support et la problématique le permettent ;
- de proposer les exploitations pédagogiques dans le respect des directives pédagogiques.

### **L'aspect dossier, expression et communication**

La qualité du dossier et le respect des règles qui lui sont imposées (nombre de pages, date d'envoi, CD-ROM) montrent la maîtrise par le candidat des outils de la communication écrite et la façon dont il s'inscrit dans une institution.

La prestation du candidat permet au jury d'évaluer qu'il saura maîtriser la communication dans une classe et exercer de manière efficace et sereine sa fonction de professeur à l'issue d'une formation spécifique.

Le B.O. n° 38 du 21 octobre 2004 définit le déroulement de l'épreuve. Celui-ci comporte trois temps :

- un temps de préparation matérielle dans la salle d'interrogation ;
- 30 minutes au maximum d'exposé devant le jury ;
- 30 minutes au maximum d'entretien avec le jury.

Les salles d'interrogation comportent un tableau, un rétroprojecteur et un vidéoprojecteur relié à un ordinateur disposant, en versions récentes, d'une suite bureautique et d'un modéleur volumique d'usage courant dans les lycées. Les candidats peuvent apporter leur propre ordinateur et utiliser les logiciels de leurs choix. Des tables permettent aux candidats de disposer au besoin le support technique si celui-ci est transportable, des maquettes ou tout matériel utile à l'exposé.

Le jury conseille aux candidats de :

- profiter des temps de préparation, qui ne sont pas des temps d'attente ; en particulier, ouvrir les fichiers annexes (CAO, vidéo,...) qui peuvent être utiles pour répondre à certaines questions ;
- préparer des documents multimédia adaptés à une soutenance d'une durée de trente minutes maximum ;
- préparer des animations aidant à comprendre le fonctionnement ;
- lors de la présentation, limiter le nombre de diapositives à 30 ou 45 au maximum ;
- Préciser le contenu du cédérom dans le dossier et dans le cas de l'utilisation de logiciels tels que MatLab, préciser le fichier principal.

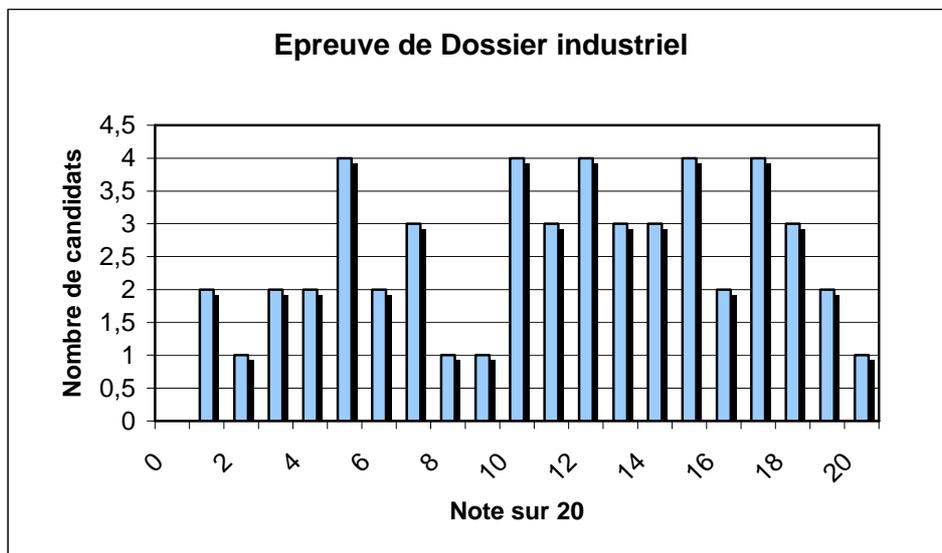
## Conclusions

Le jury a constaté une amélioration de la qualité des dossiers et des présentations des candidats. Cependant le jury conseille aux candidats :

- de s'assurer de l'existence d'une problématique industrielle réelle dans le cadre d'un partenariat avec une entreprise,
- de conserver un regard critique par rapport au travail réalisé en lien avec l'entreprise,
- de ne pas dépasser 30 à 45 diapositives lors de la présentation,
- qui souhaitent présenter à nouveau un dossier élaboré pour une précédente session, de continuer à faire vivre le partenariat engagé, de faire évoluer le dossier et de prendre en compte les remarques du jury lors des entretiens précédents.

## Les résultats

Le graphe ci-dessous montre la répartition des notes obtenues :



La moyenne est de 10,9. L'épreuve demeure sélective avec un écart type de 5,3 et une large couverture de la plage de notation.

## **RAPPORT DE L'ÉPREUVE DE TRAVAUX PRATIQUES**

M. CARREZ – M. DEJANS – P. FICHOU – S. FOURNIS –

D. LÉONI – R. PAPANICOLA – H. RIOU

### **Objectifs de l'épreuve**

L'épreuve de travaux pratiques relatifs à un produit ou à un système technique prend appui sur un système complexe pluritechnologique et vise à évaluer les compétences que les candidats mettent en œuvre pour résoudre un problème technique posé au niveau de l'agrégation, pour exploiter ce système afin de préparer une activité pédagogique à caractère expérimental à un niveau donné, et pour communiquer les démarches mises en œuvre et les résultats obtenus.

### **Déroulement de l'épreuve**

L'épreuve comporte trois phases :

- phase 1 : mise en œuvre des équipements au laboratoire (durée 4 h 30) ;
- phase 2 : préparation dans la salle d'exposé (durée 0 h 30) ;
- phase 3 : présentation des travaux devant un jury (durée 1 h 00).

La première phase se découpe en trois parties. La première partie (durée 0h30) permet aux candidats, via les manipulations demandées et les questions posées, d'appréhender globalement le système et d'en comprendre le fonctionnement. La deuxième partie (durée 2h00) positionne les candidats dans une démarche de résolution de problèmes techniques, au cours de laquelle ils doivent mobiliser leurs compétences au niveau de l'agrégation. La troisième partie (durée 2h00) sera l'occasion pour les candidats de préparer une activité pédagogique à caractère expérimental, en s'aidant d'un ou plusieurs protocoles qu'ils seront amenés à définir.

La troisième phase se découpe en quatre parties : présentation du système (durée maximale 5 min), compte-rendu des manipulations effectuées dans la deuxième partie du TP et conclusion (durée maximale 15 min), présentation de l'exploitation pédagogique (durée maximale 25 min) et entretien avec le jury (durée maximale 15 min).

### **Compétences attendues par le jury**

Lors de cette épreuve de travaux pratiques, le jury évalue chez les candidats les compétences suivantes :

- s'approprier un support matériel de TP ;
- mettre en œuvre des outils informatiques ;
- conduire, élaborer, justifier un protocole expérimental ;
- exploiter des résultats expérimentaux et exprimer des conclusions ;
- élaborer, justifier, analyser de manière critique un modèle ;
- évoluer en autonomie en mobilisant toutes ses connaissances ;
- élaborer, commenter une démarche pédagogique ;
- dégager l'essentiel d'une problématique ;
- présenter oralement ses travaux (clarté, originalité...) ;
- être pertinent et réactif aux questions posées.

### **Supports retenus et activités demandées**

Pour la session 2009, les supports retenus pour cette épreuve de travaux pratiques ont été les suivants :

- appareillage de dialyse instrumenté ;
- béquille électro-hydraulique de moto ;
- boîte de vitesses robotisée ;
- bras anthropomorphique de jockey ;
- compresseur de climatisation ;
- équilibreuse didactisée ;
- panneau solaire asservi ;
- pilote électro-hydraulique ;
- plateau diviseur asservi ;
- suspension arrière de moto ;
- système de conditionnement de balles ;
- système de dosage gravitaire de produits pulvérulents ;
- système de trancannage ;
- tronçonneuse thermique portative.

Ces supports ont permis aux candidats de mettre en œuvre leurs compétences à haut niveau scientifique sur les activités suivantes :

- détermination des caractéristiques d'une chaîne d'énergie ;
- détermination des paramètres significatifs dans une modélisation ;
- identification du comportement de composants ;
- mesure du comportement d'un système ;
- modélisation d'un système ;
- optimisation d'une solution industrielle ;
- recalage d'un modèle ;
- simulation et prédiction de performance ;
- validation des performances d'un cahier des charges.

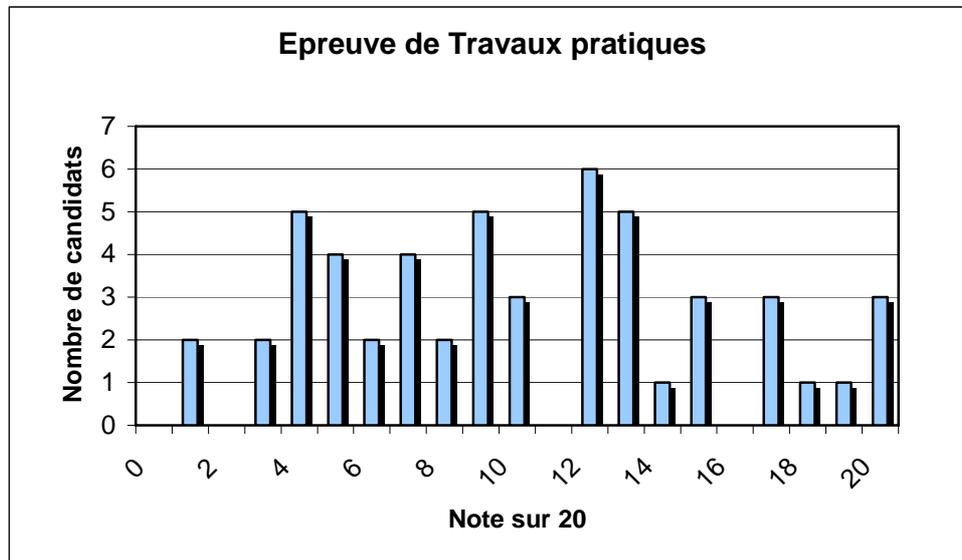
Les activités pédagogiques demandées aux candidats faisaient référence aux éléments suivants :

- caractérisation d'un capteur – niveau pré bac ;
- caractérisation d'une chaîne de traitement de l'information – niveau post bac ;
- étude d'une chaîne d'énergie – niveau pré bac ;
- étude du freinage exponentiel – niveau post bac ;
- étude du frottement et du glissement – niveau post bac ;
- mesure et évaluation du rendement d'une chaîne d'action – niveau pré bac ;
- modélisation d'une structure flexible – niveau post bac ;
- modélisation et validation de performance – niveau post bac ;
- validation du dimensionnement de composants pour un critère statique – niveau post bac ;

## Résultats obtenus pour la session 2009

### Résultats

Pour la session 2009, la moyenne de l'épreuve de TP est de **9,56**. La répartition des notes est donnée dans le graphique ci-dessous.



### Remarques générales sur les travaux pratiques à haut niveau scientifiques (deuxième partie de la phase 1)

Pour cette partie de l'épreuve, le candidat peut être amené à utiliser une instrumentation spécifique dédiée à la mesure de grandeurs physiques sur les systèmes instrumentés. Une aide d'utilisation est fournie, et le jury assiste le candidat pour l'aider en cas de difficultés matérielles.

Les candidats peuvent également être amenés à mettre en oeuvre différents outils informatiques (modeleurs volumiques, logiciels de simulation, calculs par éléments finis, tableurs, traitements de textes, logiciels de calcul, ...). La maîtrise de ces logiciels n'est pas exigée et une aide est systématiquement fournie. Les logiciels proposés peuvent, par leurs possibilités de simulation, faciliter la compréhension de phénomènes et éviter des calculs longs et complexes. En revanche ils ne dispensent pas les candidats de l'ensemble des hypothèses et des justifications nécessaires.

La maîtrise des connaissances fondamentales dans les domaines de la mécanique, de la construction et de l'automatique est indispensable pour mettre en oeuvre les différents équipements proposés aux candidats et résoudre les problématiques techniques auxquelles ils sont confrontés.

Sur cette partie, le jury constate régulièrement :

- une analyse insuffisante du sujet proposé ;
- une maîtrise insuffisante des méthodes courantes d'analyse ;
- une exploitation limitée des équipements due à des analyses superficielles, des manipulations approximatives et des interprétations peu rigoureuses des résultats obtenus, qui résultent probablement d'une pratique insuffisante de la démarche à caractère expérimental ;

- une culture technologique insuffisante des capteurs, pré actionneurs et actionneurs ;
- une incapacité à passer du modèle au réel et inversement ;
- une connaissance insuffisante de l'automatique des systèmes linéaires et séquentiels.

Le jury ne saurait donc que trop conseiller aux futurs candidats de combler leurs lacunes sur ces points.

Les candidats qui ont bien réussi la présentation de l'activité expérimentale se sont attachés à :

- présenter rapidement le problème posé, les données et l'environnement matériel ;
- structurer l'exposé à partir d'un plan ;
- présenter les résultats en faisant une analyse critique ;
- mettre en relation les chaînes d'énergie et d'information ;
- montrer l'influence du comportement de la partie opérative sur la partie commande ;
- tirer les conclusions techniques qui s'imposent vis-à-vis du problème posé.

Le jury tient à préciser que la mise en œuvre de supports équipant les laboratoires des filières S-SI, STI, STS, CPGE peut aider certains candidats préparatoires à s'inscrire dans la démarche souhaitée dans cette partie. Cette possibilité de mise en œuvre ne saurait néanmoins se substituer à une pratique régulière expérimentale des systèmes complexes industriels.

### **Remarques générales sur la réalisation d'une activité pédagogique à caractère expérimental (troisième partie de la phase 1)**

En intégrant tout ou partie des résultats obtenus lors de la mise en œuvre des équipements fournis, le candidat doit proposer une exploitation pédagogique à caractère expérimental en mettant en évidence l'apport spécifique des activités de travaux pratiques dans l'enseignement des sciences pour l'ingénieur.

Le jury constate régulièrement que les candidats :

- ne dégagent pas suffisamment les objectifs et les connaissances à transmettre ;
- ont des difficultés à structurer une démarche cohérente conduisant à la transmission de compétences nouvelles au niveau imposé et à identifier les centres d'intérêt associés au système étudié ;
- présentent le plus souvent des activités de travaux dirigés plutôt que des activités à caractère expérimental ;
- réduisent leur temps consacré à la préparation de l'exploitation pédagogique (au profit de l'étude à haut niveau scientifique), ce qui les pénalise.

Le jury conseille aux futurs candidats d'étudier attentivement les programmes et les objectifs de formation des baccalauréats S (option Sciences de l'Ingénieur) et STI, des BTS CPI, IPM, MAI, DUT GMP et des CPGE (filiales PCSI - PSI et PTSI - PT), ainsi que les commentaires associés. Cette étude leur permettra de proposer une exploitation pédagogique qui soit en adéquation avec le niveau imposé. Une réflexion pédagogique sur les objectifs de formation de ces filières est indispensable pour cette partie.

### **Remarques générales sur la présentation des travaux face au jury (phase 3)**

Les candidats disposent de 45 minutes maximum pour présenter les résultats des travaux et de l'exploitation pédagogique qu'ils ont réalisés. Il s'agit d'un temps très court pendant lequel ils doivent présenter le support sur lequel ils ont travaillé (5 minutes maximum), présenter les manipulations effectuées et les résultats obtenus en TP (15 minutes maximum), et présenter leur

exploitation pédagogique à caractère expérimental (25 minutes maximum). Le jury dispose ensuite de 15 minutes maximum pour s'entretenir avec le candidat.

Lors de la phase de présentation des manipulations effectuées, de nombreux candidats commencent leur prestation sans avoir défini le problème posé, ni la nature de l'environnement matériel du déroulement du TP. Certains n'en précisent même pas le titre. Le jury déplore l'absence de démarche et de rigueur pour résoudre le problème technique posé. Certains exposés omettent de présenter les résultats significatifs et les méthodes mises en œuvre sur le matériel. L'exposé doit en effet au contraire mettre en valeur le travail réalisé en laboratoire. Le jury attend du candidat tout au long de son exposé une prestation conduite au niveau de l'agrégation et non un discours fondé sur des généralités.

Lors de la phase de présentation de l'activité pédagogique, il est important pour les candidats d'aller à l'essentiel et de replacer la séquence proposée dans son contexte. Il n'est pas nécessaire qu'ils présentent de façon exhaustive l'organisation pédagogique générale de l'année de formation correspondante. Les candidats qui ont bien réussi dans cette présentation de l'exploitation pédagogique se sont attachés à :

- ne pas proposer des activités de travaux dirigés ;
- construire leur exposé à partir des résultats expérimentaux obtenus dans la troisième partie de la première phase de l'épreuve ;
- présenter l'organisation pédagogique générale de la séance (objectifs opérationnels, pré requis, connaissances nouvelles, environnement matériel) ;
- proposer un plan de déroulement de la séance avec les points clés ;
- développer la partie expérimentale de la séance qui amène les compétences nouvelles, en présentant les manipulations, résultats expérimentaux et conclusions attendues ;
- préciser les travaux donnés aux élèves et les modes d'évaluation.

### **Remarques générales sur le comportement des candidats**

De trop nombreux candidats manquent de méthode et de rigueur pour appréhender un système pluritechnologique dans sa globalité et sa complexité. Cette épreuve de travaux pratiques ne s'improvise pas et doit se préparer tout au long de la formation post-baccalauréat conduisant à l'agrégation.

Les candidats se réfèrent avec une confiance aveugle aux modèles numériques et ont en revanche beaucoup de méfiance vis-à-vis des résultats expérimentaux. Même si c'est une évidence, il n'est pas inutile de le rappeler ici, une épreuve de travaux pratiques est avant tout une épreuve expérimentale.

À l'avenir, la « culture des systèmes pluritechniques » sera davantage valorisée au travers de sujets plus équilibrés entre les problèmes de comportement mécanique et de commande. En effet, aujourd'hui il n'est plus possible d'ignorer que la conception globale des systèmes fait appel tout autant à la connaissance des systèmes de commande qu'à ceux des chaînes d'action mécanique. De la même façon, un agrégé de mécanique ne peut ignorer les bases de l'électrotechnique utiles à la caractérisation de la chaîne d'énergie, notamment des actionneurs électriques, de leur commande et de leur protection.

L'agrégation est un concours prestigieux qui impose le respect aussi bien de la part des examinateurs que de celle des candidats. Les candidats doivent se présenter dans une tenue digne de candidats à un concours de recrutement de cadres A de la fonction publique.