

**RAPPORT**  
**DE JURYS**  
**DE CONCOURS**  
**2003**

**AGREGATION DE MECANIQUE**

CONCOURS INTERNE  
Et CAER

## COMPOSITION DU JURY

BARRAU Jean-Jacques	Professeur des Universités <i>Président</i>
BINET Francis	Professeur agrégé
CAHUZAC René	Inspecteur Général <i>Vice-Président</i>
CARTONNET Yves	Professeur des Universités <i>Auteur première épreuve de mécanique</i>
CASTANIE Bruno	Maître de conférences <i>Auteur première épreuve de mécanique</i>
COLLIGNON Jean-Pierre	Inspecteur d'académie Inspecteur Pédagogique Régional
FRANCESCHI Jean Luc	Professeur des Universités <i>Auteur deuxième épreuve automatisation</i>
KOWALYK Jean-Paul	Professeur agrégé
L'ESCOP Jean-Paul	Professeur agrégé.
LAUNAY Luc	Inspecteur d'académie Inspecteur Pédagogique Régional
MICHARD Francis	Chef des travaux
PICAULT Thierry	Professeur Agrégé
TRICHARD Jean-Paul	Professeur agrégé <i>Auteur deuxième épreuve automatisation</i>

## OBSERVATIONS GENERALES

Le concours interne de l'agrégation de Mécanique s'est déroulé pour la quinzième fois en 2003. Les textes qui précisent les modalités de déroulement du concours, les programmes, les recommandations du jury sont répertoriés ou explicités dans les pages suivantes. Il est tout d'abord important de rappeler que les exigences scientifiques et techniques de ce concours sont élevées et doivent le rester. Aussi, sa réussite passe nécessairement par une préparation importante et spécifique. Elle sera, comme c'est régulièrement démontré, plus aisée et plus efficace à effectuer au sein d'une préparation collective. Le jury insiste sur le fait qu'il est indispensable que les I.U.F.M intègrent des préparations dans leur plan de formation et il incite très fortement les futurs candidats au concours à y participer.

Du point de vue des épreuves écrites, comme les années précédentes les parties relatives aux applications pédagogiques n'ont pas été traitées par un nombre important de candidats. Cela est regrettable puisque ces questions spécifiques doivent leur permettre d'utiliser les compétences acquises dans leur métier.

Pour les épreuves sur dossier, le jury a été très heureux de constater que la majorité des candidats utilisent un support très intéressant mais les outils de simulation ne sont pas assez maîtrisés ce qui amène à des conclusions souvent erronées. Il est important de rappeler que ces outils ne doivent être utilisés que si l'on connaît parfaitement leur fonctionnement et il est particulièrement important de réfléchir précisément sur la modélisation. Il est souhaitable d'autre part que la séquence pédagogique proposée s'appuie sur une mise en œuvre du système (montage démontage, instrumentation etc...) Encore une fois il faut rappeler, pour un petit nombre de candidats, que cette étude demande un temps de préparation important et qu'elle doit être préparée dans la sérénité longtemps à l'avance. Comme toujours les dossiers construits à la hâte, après publication des listes d'admissibilité, ont conduit à un échec complet. Il est primordial, avant de démarrer ce travail, de bien réfléchir sur le choix du support pour pouvoir réaliser des analyses d'un niveau élevé. Une lecture attentive des recommandations du jury sur cette épreuve doit permettre aux candidats d'éviter les écueils majeurs et de choisir les bonnes orientations.

Pour l'épreuve de TP, si la mise en œuvre des équipements est bien réalisée par les candidats, un effort doit être fait sur l'exploitation critique des résultats et sur l'analyse des écarts de comportement entre modèle et réalité. Pour la partie pédagogique, l'appropriation de la manipulation et l'utilisation des résultats obtenus lors de la partie expérimentale sont encore très insuffisantes. Là aussi une lecture attentive des recommandations du jury doit permettre de mieux préparer cette épreuve.

Nous souhaitons que ce rapport soit riche d'enseignements pour les futurs candidats et nous recommandons vivement aux professeurs concernés de préparer et de présenter ce concours.

# COMPTE-RENDU DE LA PREMIERE EPREUVE D'ADMISSION Entretien

## 1 - Rappel des textes officiels définissant l'épreuve d'entretien

### 1.1 - BOEN n° 32 du 29 septembre 1988

L'épreuve consiste en la présentation et la soutenance par le candidat d'un dossier original relatif à un projet qu'il a conduit dans le cadre de la discipline dans laquelle il enseigne.

Le thème du projet est pris dans les programmes des enseignements technologiques de la spécialité donnés dans les classes terminales de lycée ou dans les classes post baccalauréat.

**Le projet doit mettre en valeur :**

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

Le candidat dispose de trente minutes pour présenter :

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

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

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

Le jury apprécie :

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

### 1.2 - BOEN n° 42 du 08.12.88, note du 28.11.88, précise :

Le dossier élaboré par le candidat est relatif à un problème de caractère industriel.

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

## 2 – Rappel du contexte de l'épreuve

La première épreuve d'admissibilité consiste en un entretien entre le candidat et le jury à l'occasion de la présentation d'un travail personnel mené par ce dernier sur un système industriel.

Cette épreuve s'inscrit dans la vérification d'une compétence fondamentale que doit posséder tout professeur de Sciences et Techniques Industrielles, qui consiste à être capable de bâtir une stratégie de formation à partir d'un système industriel actuel.

### 2.1 - Le choix du support

Un " bon " support, apprécié par le jury, s'appuie sur un système industriel et est toujours à l'origine des excellents résultats obtenus par certains candidats.

Par exemple, un système industriel :

- **comportant des solutions techniques optimisées et pertinentes vis-à-vis de problèmes de conception, de fabrication et de maîtrise des coûts.**
- **issu de démarches structurées de conception, faites à partir d'études de marchés et de la concurrence, de cahier des charges, d'analyses des performances et des modes de défaillance, amenant les techniciens de bureau d'études à proposer des solutions étudiées et justifiables.**

Pour trouver un bon support, le candidat se doit :

- **de découvrir et de retenir un support industriel issu d'une entreprise, pertinent vis-à-vis de critères techniques et pédagogiques à expliciter, et motivant pour les élèves ;**  
*Pour cela, il suffit de savoir nouer des contacts sérieux avec un ou plusieurs membres de l'entreprise et d'installer un dialogue technique précis pour pouvoir obtenir les renseignements suffisants à la mise au point du dossier. Par contre, il est très rare d'obtenir de l'entreprise les réponses à toutes les questions... et le candidat devra toujours, à partir des données récupérées, proposer et justifier des hypothèses de travail, les vérifier et compléter par des propositions crédibles les maillons manquants.*
- **d'analyser, de comprendre et de justifier le fonctionnement du mécanisme, ce qui ne peut se faire qu'en menant des études scientifiques et techniques précises, justifiées sur le plan du besoin, et amenant le candidat à valider ou critiquer les solutions retenues, à vérifier des performances annoncées, à justifier ou à proposer certaines solutions, voire des améliorations ;**
- **d'extraire de cette étude de haut niveau des exercices pédagogiques adaptés à un niveau d'enseignement choisi et justifié, en correspondance avec un ou plusieurs objectifs du référentiel ;**
- **d'adapter les documents industriels aux contraintes de l'enseignement (simplifications justifiées, documents ressources adaptés, dessins et documents techniques respectant les normes en vigueur).**

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

- **des supports trop importants, relevant de systèmes techniques globaux et complexes (usines, ateliers, systèmes de fabrication dédiés...) trop compliqués pour des élèves, et obligatoirement exploités à un niveau très particulier (étude d'un sous ensemble précis), sans rapport direct avec le système, car pouvant être étudiés sur de nombreux mécanismes plus simples.**
- **de mécanismes trop classiques, connus de tous, souvent vieillots qui ne sont plus représentatifs des technologies d'aujourd'hui et qui, même s'ils sont pertinents vis-à-vis d'apprentissages, ne sont plus motivants pour les élèves.**
- **de supports déjà exploités lors d'autres concours, sans développements techniques et pédagogiques nouveaux, prouvant au jury que le candidat a décidé de ne pas s'investir dans une préparation sérieuse et motivée de cette épreuve.**
- **de sujets d'examens ou de concours, de supports correspondant à des études réalisées par des étudiants de sections de techniciens supérieurs.**

Lors de cette session, le jury a apprécié les choix pertinents et intéressants d'un nombre significatif de candidats, qui prouvent qu'il est possible de trouver des mécanismes récents et accessibles dans de nombreux secteurs industriels (médecine, loisirs, domotique... ) et de trouver des solutions en dehors des domaines traditionnels.

## 2.2 - L'exploitation technologique et scientifique du support industriel

Elle permet de vérifier que le candidat est capable de mener une investigation technique, technologique et scientifique, au niveau du concours, sur tout ou partie d'un système industriel dans les domaines de la mécanique industrielle et de la construction mécanique.

Pour cela, le jury attend :

- Une étude globale et rapide de données économiques, de l'entreprise, expliquant le contexte technico-économique du produit ;
- L'expression du besoin ou du cahier des charges relatif au système étudié, permettant au candidat de justifier les solutions constructives du système en utilisant les outils classiques de l'analyse fonctionnelle ;
- La formalisation de problèmes techniques réels ou crédibles, justifiant des investigations techniques et scientifiques à mener sur le système (pouvant être issues d'analyse de performances et de défaillances, de SAV, de services de maintenance...);
- La description de la résolution de tout ou partie des problèmes identifiés, faisant apparaître :
  - les hypothèses faites, en particulier les modèles mécaniques et constructifs, leurs justifications et leurs conséquences sur la pertinence des résultats obtenus,
  - les démarches de résolution, manuelles et informatisées, en insistant sur les contraintes engendrées par l'utilisation de certains outils et en formalisant les limites des résultats obtenus,
  - l'exploitation des résultats, leur interprétation, leur degré de pertinence,
  - les conséquences de ces résultats sur le mécanisme, sa construction, sa structure, sa fiabilité,
  - éventuellement, des propositions de modifications constructives qui ont été faites par l'entreprise ou qui pourraient lui être suggérées.
  - L'outil informatique doit être utilisé lorsqu'il amène un plus dans la compréhension du système.

Le jury a apprécié particulièrement :

- les études qui reposent sur des expérimentations .
- l'utilisation des logiciels de CAO 3D (modeleurs volumiques paramétrés et variationnels), de calculs (du simple tableur aux logiciels d'analyse cinématique et dynamique) et de calcul des structures (modes classiques et calculs par éléments finis) lorsque ces outils de simulation permettent d'apporter des résultats essentiels dans la compréhension du système.
- la prestation des candidats qui ont su faire preuve de la maîtrise de la chaîne informatique et de la capacité d'y intégrer l'analyse technique et scientifique d'un système, l'utilisation de ces outils devenant une compétence professionnelle incontournable du professeur de construction ;
- les réflexions visant à valider les hypothèses formulées ;
- la résolution au niveau du concours de problèmes techniques réels, repérés par l'entreprise, qui donnent du sens aux calculs menés et permettent de finaliser les études par des propositions d'amélioration, constructives, structurelles et architecturales.

Le jury regrette que certains candidats proposent :

- l'utilisation de modèles mécaniques faux ou injustifiés pour pouvoir utiliser des outils informatiques connus ce qui est un comble pour un technicien qui doit se confronter à la réalité de la technologie et non la détourner pour justifier l'utilisation de démarches de résolutions ;
- l'utilisation d'outils de simulation mal maîtrisés ( par exemple les problèmes liés aux conditions aux limites dans les modélisations par éléments finis ) ce qui amène à des conclusions erronées.
- des études trop élémentaires et superficielles, alors que les problèmes à résoudre auraient mérité des investissements complémentaires ;
- des systèmes mécaniques trop pauvres en terme de solutions constructives.
- l'utilisation d'outils de l'analyse fonctionnelle (graphe des interacteurs, énoncé et caractérisation des fonctions, FAST, ...) déconnectés des problèmes techniques abordés dans l'étude et souvent mal maîtrisés.

## 2.3 - L'exploitation pédagogique du support industriel

Peu de supports industriels sont pauvres en exploitations pédagogiques potentielles. Il est presque toujours possible, sur un mécanisme industriel et industrialisé, de développer des leçons sur des modèles de comportement de la mécanique, sur la culture des solutions techniques, sur des modèles de représentation ou des démarches d'analyses actuelles relevant de démarches technico-économiques en vigueur. Encore faut-il le faire avec discernement et compétence.

**Les exploitations proposées sont décevantes lorsque les candidats analysent mal les potentialités de leur support et :**

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

Le jury invite les candidats, pour une exploitation pédagogique destinée à des élèves des classes SI (sciences de l'ingénieur) , STI (sciences et techniques industrielles) et à des étudiants des classes post-baccalauréat (STS, IUT, CPGE), à :

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

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

## 3 – Contenu et présentation du dossier

### 3.1 - Contenu

Le dossier doit être structuré intellectuellement (titre, plan, ..., conclusion, bibliographie, sommaire, pagination), identifié (nom et prénom du candidat) et correctement présenté, cette dernière remarque incluant une maîtrise satisfaisante de l'expression écrite et graphique.

La partie technique porte sur l'étude d'un produit industriel, de bon niveau technique et comprend au moins :

- **le cahier des charges du projet technique, en conformité avec la norme,**
- **éventuellement l'analyse des solutions existantes et l'étude des produits de la concurrence,**
- **les documents techniques élaborés ou rassemblés : notes de calculs, dessins d'ensemble et de définition, documents divers,**
- **les développements et les résultats obtenus : études de comportement et validation des solutions. Les modélisations et les développements en mécanique, traités au niveau de l'agrégation, constituent la partie la plus importante du dossier technique. Il importe de poser les vrais problèmes associés au produit étudié et de proposer des conclusions pertinentes dans le domaine de la construction mécanique.**

La partie pédagogique est constituée :

- **de la préparation d'une séquence d'enseignement (cours, TD , TP) explicitant les objectifs fixés, les acquis préalables nécessaires, les connaissances nouvelles, la démarche prévue, les moyens à mettre en œuvre, les critères d'évaluation retenus et les documents remis aux élèves ainsi que les éléments qui leur resteront pour mémoriser l'enseignement reçu.**

**Cette préparation comprend également toutes les aides pédagogiques préparées et utilisées par le professeur pour soutenir son enseignement (transparents, diapositives, matériels didactiques ou autres, etc...) ainsi que les documents préparés pour la correction et l'évaluation des enseignements.**

**L'utilisation de logiciels de présentation (PAO) ne doit pas privilégier le forme sur le fond et devenir le prétexte à une systématisation des fonctionnalités, mêmes spectaculaires, de ces outils.**

- **du développement complet d'une seule séance pédagogique, issue de la séquence choisie, s'appuyant sur le support industriel retenu dans laquelle les élèves sont amenés à effectuer des manipulations sur le système étudié.**

Cette séance contient tous les documents et supports didactiques nécessaires. Il convient de différencier les documents de préparation du professeur des documents remis aux élèves, et de proposer des corrigés types d'excellente qualité.

### 3.2 – Déroulement de l'épreuve

Le candidat dispose d'une salle pour préparer son exposé. Il prend contact avec l'environnement matériel (poste informatique et vidéo-projecteur mis à disposition) et aménage le cadre de sa prestation (affichages, installation de maquette, préparation des moyens audiovisuels, etc).

Au terme de cette préparation, le candidat dispose de trente minutes au maximum pour présenter son travail. Son exposé est suivi d'un entretien d'environ trente minutes avec le jury (cf. BOEN n°32 du 29/9/88 précédemment reproduit dans ce compte-rendu).

Le jury conseille aux candidats de bien gérer le temps de l'exposé, les trente minutes représentant un temps très court. Il ne faut donc développer que l'essentiel en évitant de se laisser entraîner dans des considérations générales sans intérêt pour la compréhension des problèmes abordés.

Le jury attend des candidats qu'ils développent plus particulièrement les points clés de l'étude scientifique et technique de haut niveau après une rapide contextualisation sans omettre de définir correctement les problèmes à résoudre, puis qu'ils s'attachent au développement de la seule séance pédagogique choisie en relation avec le système étudié et la séquence présentée.

### 3.3 – L'entretien avec le jury

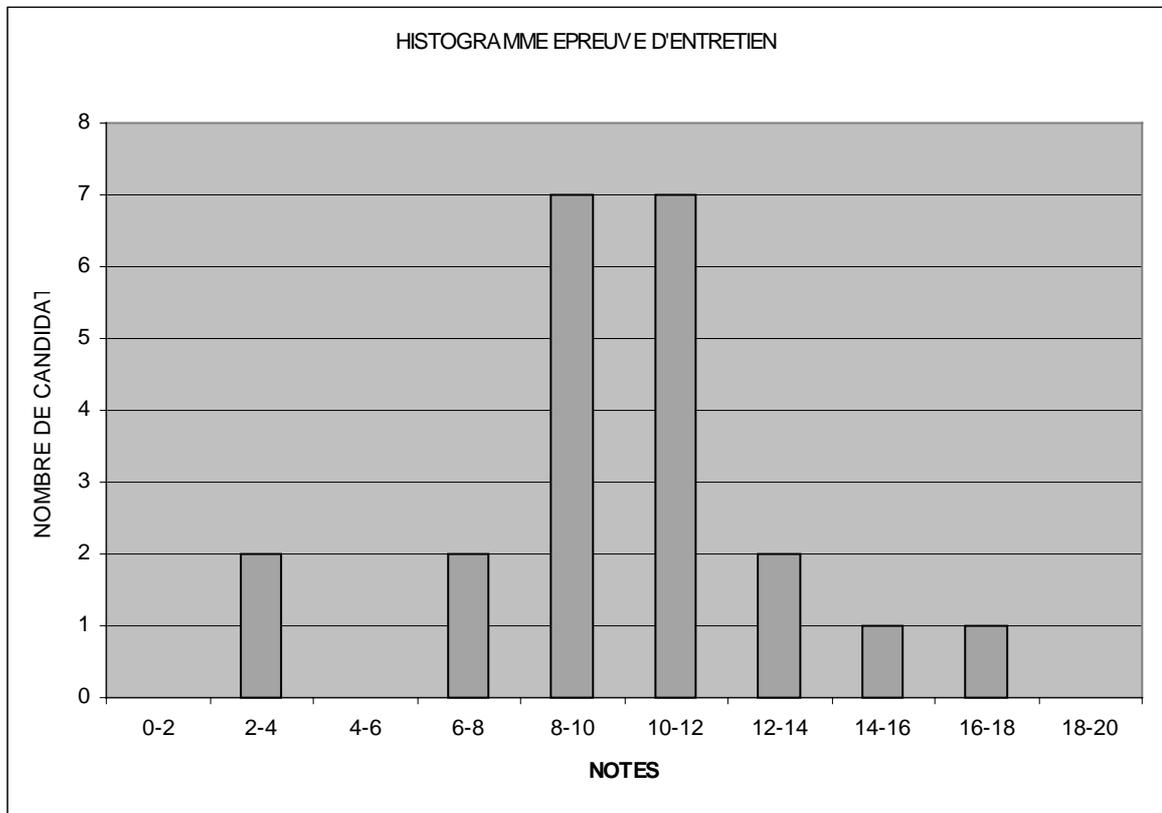
Durant la phase prévue pour l'entretien, le jury souhaite obtenir du candidat qu'il enrichisse son exposé en répondant aux questions prévues à cet effet. Ces questions ne visent pas à mettre le candidat en difficulté ou à le déstabiliser, mais à s'assurer que le travail présenté est bien issu d'une démarche personnelle et à rechercher la meilleure adéquation entre la prestation et les critères d'évaluation connus du candidat.

Pour de nombreux candidats, cette partie de l'épreuve a contribué à améliorer le résultat final. Il importe donc de bien saisir le sens des questions posées et de bien réfléchir avant de formuler des réponses aussi concises et rigoureuses que possible. Il ne s'agit pas de "gagner du temps" en délayant les réponses, ce qui peut avoir pour effet de laisser supposer au jury une maîtrise insuffisante du projet présenté.

Les réponses formulées par certains candidats mettent parfois en évidence :

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

## 5 – Résultats et conclusions



L'examen des notes obtenues montre les résultats décevants de certains candidats n'ayant suffisamment pas suivi les recommandations du jury lors des sessions précédentes. Le niveau des études scientifiques est pour beaucoup de candidats insuffisant.

Si les candidats utilisent généralement très correctement les moyens modernes de présentation, il est assez surprenant de voir certains candidats réaliser leur présentation assis sans regarder le jury.

Le jury invite donc tous les futurs candidats à prendre en compte les remarques faites précédemment et à préparer cette épreuve longtemps à l'avance, sans attendre les résultats des épreuves d'admissibilité pour se lancer dans la rédaction d'un dossier.

Il rappelle, enfin, que cette épreuve ne peut qu'avantager les professeurs expérimentés, curieux, proches des milieux industriels et mettant en œuvre les outils modernes de conception, d'analyse et de définition des produits industriels mécaniques, ce qui devrait correspondre à la majorité des profils professionnels des candidats se présentant à ce concours.

# COMPTE RENDU DE LA DEUXIEME EPREUVE D'ADMISSION Travaux pratiques

## 1 - REMARQUES GENERALES

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

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

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

**L'apprentissage de la maîtrise des modèles de description**, qui, en mécanique sont essentiellement les modèles de représentation géométrique des pièces et des produits. Ces modèles évoluent fortement actuellement et s'appuient de plus en plus sur la notion de maquette volumique d'un mécanisme, fondement de sa définition et point de départ pour des simulations du comportement et de fabrication. Le large éventail actuel des produits et leur temps d'apprentissage relativement long, limitent l'utilisation de ces produits dans une épreuve d'examen. Mais cette situation évoluant il sera bientôt possible d'intégrer la modification de solutions constructives données dans une épreuve de travaux pratiques de construction mécanique.

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

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

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

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

## 2 - DEROULEMENT DE L'EPREUVE

L'épreuve de travaux pratiques se déroule en deux phases :

### **Phase expérimentation :**

- Une première étape favorise la découverte et la compréhension globale de l'expérimentation et de son objectif pédagogique. Elle est validée par un premier entretien avec le jury.
  - L'étape suivante est une expérimentation qui permet au candidat de développer ses compétences et ses connaissances à partir du support technique concret. Cette phase se conclut également par un entretien avec le jury.
- Cette première phase donne lieu à une proposition de note portant sur les capacités du candidat à mener une démarche expérimentale dans un contexte imposé.

### **Phase pédagogique :**

Le candidat prépare une exploitation pédagogique qui sera évaluée par le jury lors d'une restitution dans laquelle il doit :

- **Proposer une séquence pédagogique qui s'appuie sur l'expérimentation et les résultats obtenus précédemment;**
- Présenter cette séquence en montrant, concrètement, comment il organise un enseignement ;
- Répondre aux questions des membres du jury à la suite de cet exposé.

Même si elle s'appuie sur les résultats et les analyses menées dans la première partie de l'épreuve, cette dernière partie est évaluée indépendamment et permet au candidat de faire la preuve qu'il est capable de proposer un dispositif de formation cohérent vis-à-vis de l'objectif pédagogique fixé et d'un contexte expérimental donné.

### **Commentaires du jury :**

L'épreuve comporte donc deux parties :

#### **2-1 – Découverte et expérimentation.**

Le candidat prend tout d'abord connaissance du dossier relatif à l'épreuve et aux équipements qu'il aura à manipuler ou à mettre en œuvre. Il bénéficie au cours de cette partie de l'aide du jury pour se familiariser avec l'environnement du TP, le but à atteindre, l'articulation entre les différentes phases de l'épreuve.

Cette phase introductive est assez bien perçue par les candidats puisqu'elle permet de fixer les objectifs, de comprendre l'intérêt de l'expérimentation proposée, d'entrevoir les applications pédagogiques susceptibles d'être développées à partir du support et du (ou des) thème(s) étudié(s).

La phase d'expérimentation consiste ensuite à mettre en œuvre l'équipement proposé selon la procédure établie dans le sujet. Sans perdre de vue l'objectif final qui lui est imposé, le candidat s'attache, au cours des manipulations, à justifier chaque étape, formule des commentaires et sélectionne toutes les informations, données et résultats qui lui serviront à bâtir son compte rendu. Cette partie se conclut par un bilan sous forme d'exposé devant le jury.

La maîtrise des connaissances fondamentales dans les domaines de la mécanique, des automatismes et de la construction est indispensable pour mettre en œuvre les outils expérimentaux proposés aux candidats.

Bien que la phase " découverte " permette de placer le candidat dans des conditions optimales, le jury a constaté :

- une pratique expérimentale parfois peu développée,
- une maîtrise incertaine des méthodes courantes d'analyse des systèmes,
- des analyses peu rigoureuses des résultats obtenus,
- une connaissance des solutions technologiques parfois insuffisante qui handicape le candidat dans sa démarche d'analyse.

Le jury conseille donc aux candidats :

- d'appréhender le TP dans sa globalité en essayant de comprendre le but des activités proposées,
- d'analyser avec pertinence les résultats obtenus,
- de formuler des observations critiques associées aux résultats,
- de bien maîtriser les hypothèses existant dans les modèles utilisés.

Cette seconde partie de l'épreuve doit permettre au candidat de faire apprécier ses connaissances au plus haut niveau, celui de l'agrégation.

## 2-2 - Exploitation pédagogique.

Cette dernière partie de l'épreuve fait l'objet d'une préparation spécifique et d'une restitution devant le jury.

A partir du dossier de l'épreuve, **de l'activité précédemment conduite** et des résultats expérimentaux complets fournis au candidat, ce dernier doit construire une séquence d'enseignement conformément aux objectifs actuels des programmes. Si le niveau et la série ou la filière de formation sont imposés, le mode d'intervention (cours, TD, TP) est laissé quant à lui à l'initiative du candidat. Le candidat peut envisager une utilisation du support plus large que celle prévue dans le sujet du TP précédent.

Les candidats au concours interne de l'agrégation devraient être familiarisés avec ce type de démarche. Toutefois, on constate encore cette année que beaucoup trop d'entre eux :

- ne s'appuient pas suffisamment sur les résultats acquis dans la phase expérimentale ;
- n'analysent pas le contenu à enseigner comme une phase préalable à la conception d'un enseignement ;
- ont du mal à structurer une séquence d'enseignement en fixant des objectifs clairs et la stratégie permettant de les atteindre ;
- n'établissent pas toujours les prérequis nécessaires aux connaissances à transmettre ;
- présentent des procédures d'évaluation qui ne sont pas en rapport avec les objectifs et les connaissances visées ;
- n'utilisent pas pleinement le temps accordé pour l'exposé ;
- ne développent pas la séance au niveau attendu.

Le jury conseille vivement aux candidats d'étudier attentivement les programmes et les objectifs de formation des baccalauréats S (option Sciences de l'Ingénieur) et STI ainsi que les commentaires qui les accompagnent, mais aussi ceux des BTS CPI, Productique, MAI, DUT GM et CPGE.

**Le jury recommande aux candidats de construire leur exposé en présentant de manière synthétique les résultats obtenus au cours de l'expérimentation ainsi que leur interprétation** avant de présenter l'exploitation pédagogique qui en résulte.

Une réflexion pédagogique sur les points essentiels des programmes liés aux thèmes des Travaux Pratiques, dont la liste est donnée ci-après, constitue une excellente préparation à cette épreuve. Par ailleurs, la mise en œuvre, durant la préparation à l'agrégation, des matériels et des logiciels équipant les laboratoires des sections S, STI et PSI constitue un exercice incontournable pour aborder correctement cette partie de l'épreuve.

## 3 - REMARQUES DETAILLEES SUR LES TP

<b>TP-01 : RELATION “ PRODUIT-PROCÉDÉ-MATÉRIAU ” SUSPENSION ARRIERE DE V.T.T.</b>
---

L'objectif de ce TP est de justifier la définition géométrique, le procédé de fabrication retenu ainsi que le matériau utilisé pour un élément du mécanisme. Pour arriver à cela, les candidats ont à mettre en œuvre des outils d'analyse, de représentation et de simulation ainsi que des mesures sur le système.

### **Commentaires du jury :**

L'approche du mécanisme n'a pas posé de problèmes aux candidats dans la mesure où c'est un produit relativement connu de tous. La première partie, concernant plus particulièrement la sélection de couples (matériaux, procédés) possibles, est en général assez bien faite, toutefois certains candidats éprouvent des difficultés pour respecter une procédure affichée, pour mettre en œuvre une méthode de sélection multicritères. La deuxième partie, consistant à justifier un triplet (produit, procédé, matériau) donné, nécessite la mise en œuvre d'un pont d'extensométrie et l'utilisation d'un logiciel de calcul par éléments finis : cette partie pose plus de problèmes aux candidats.

On peut regretter :

- La difficulté des candidats à justifier le choix d'un matériau ou l'utilisation d'un procédé de fabrication à partir des résultats donnés ;
- Le manque de connaissances de certains logiciels de simulations intégrés à des modélisateurs volumiques ;
- La difficulté à réaliser et exploiter des mesures expérimentales.
- Le peu de capacité des candidats à s'appuyer sur l'étude de TP pour réaliser l'exploitation pédagogique.

## TP-02 : ETUDE DU FROTTEMENT Winch

L'objectif de ce TP est d'identifier et d'évaluer les paramètres influant au niveau du contact entre le bout (cordage) et la poulée du winch, de dissocier l'adhérence du glissement et en déduire les facteurs d'adhérence et de frottement.

Le système est mis en situation réelle sur un banc expérimental qui permet de mesurer certaines caractéristiques en faisant varier plusieurs paramètres afin d'en éditer les courbes correspondantes.

L'analyse du mécanisme et des résultats permet de valider le modèle théorique du contact bout/poulée du winch.

Les connaissances à mobiliser restent dans le domaine de la mécanique générale (essentiellement les lois de frottement).

### Commentaires du jury :

- L'approche du mécanisme n'a pas posé de problème aux candidats dans la mesure où le banc d'essai du Winch est simple à utiliser. Le jury a regretté les lacunes des candidats au niveau de l'analyse des principes mis en jeu, de la rigueur de l'utilisation de formules en oubliant de préciser les hypothèses relatives à l'établissement de celles-ci.
- Concernant l'analyse du système et malgré les recommandations figurant dans le compte rendu des épreuves de la session 2001, le jury a regretté de nouveau que plusieurs candidats ne connaissent pas assez bien avant l'épreuve l'utilisation de logiciels de simulation volumique 3D et de cinématique.
- L'exploitation pédagogique devant le jury est souvent limitée à la reconduction du TP proposé au candidat. Nous conseillons aux candidats de guider leur travail de conception d'une séquence d'enseignement par la question : " Qu'est-ce que je veux apprendre aux élèves ? "

## TP-03 : EVOLUTION DE SOLUTION CONSTRUCTIVE Liaison sol arrière et transmission de puissance de motocyclette

L'objectif de ce TP est d'étudier au travers de différentes étapes une solution constructive innovante concernant la liaison sol arrière et la transmission de puissance d'une motocyclette. A partir de plusieurs fonctions de service, retenues au sein du cahier des charges fonctionnel du produit industriel, le candidat devra :

- s'approprier l'existant,
- comprendre les principes physiques qui régissent les phénomènes étudiés
- valider un principe de solution innovant au travers de plusieurs critères,
- construire un espace solution et proposer au sein de cet espace une solution optimisée.

Pour mener à bien son activité, le candidat dispose du produit industriel instrumenté, d'un ensemble de ressources industrielles, d'une maquette numérique de l'ensemble et d'un environnement informatique d'exploitation et de simulation de la maquette numérique.

### Commentaires du jury :

- La relation réel – modélisation – simulation - expérimentation doit être exploitée de façon plus systématique et avec davantage de rigueur ;

- Les principes de base de la mécanique (isolement, principe de superposition, théorèmes généraux) ne sont pas toujours mobilisés sur des situations concrètes avec suffisamment de rigueur ;
- Les candidats devraient avoir plus recours aux ressources techniques lors de la construction de leur séquence pédagogique ;

## TP-04 : ETUDE STATIQUE ET FLAMBEMENT D'EULER Ouvre-Portail

Un système d'ouvre-portail utilisant une cinématique originale sert de support à une étude statique et une étude au flambement de diverses bielles. Les objectifs de ce T.P sont d'une part d'appréhender les différences entre modélisation et expérience tant en statique qu'au flambement et d'autre part de mettre en évidence par l'expérience les paramètres pilotant le flambement des poutres en compression.

Des mesures extensométriques sont réalisées sur les bielles et les efforts sur le portail sont mesurés par des capteurs de forces.

### **Commentaires du jury :**

La partie statique a été correctement traitée par les candidats. En général les candidats connaissent bien les hypothèses de la statique. Toutefois, la remise en cause de ces modélisations pour expliquer les divergences entre théorie et mesures reste difficile. De plus, la méconnaissance des fonctions élémentaires du logiciel Excel a pénalisé les candidats. Nous encourageons fortement les futurs admissibles à travailler ce point.

L'exploitation des mesures extensométriques pour déterminer la (ou les) sollicitations réelles des bielles demeure laborieuse. Le flambement d'Euler n'est pas suffisamment connu et devra être approfondi par les futurs candidats. En particulier, aucun candidat n'a su expliquer correctement le phénomène. Si le calcul des charges critiques par les formules d'Euler n'a pas posé de problèmes, il reste délicat pour la majorité des candidats d'appréhender l'origine des différences entre force critique expérimentale et théorique.

## TP-05 : ETUDE DES SOLLICITATIONS COMPOSEES Char à voile et maquette de sollicitations de poutres

L'objectif de ce T.P. est de caractériser le comportement de poutres soumises à des chargements générant des sollicitations simples et composées par l'analyse des déformations locales observées sur des rosettes collées sur les poutres.

### **Commentaires du jury :**

L'étude statique à partir des hypothèses simplificatrices proposées, a été traitée de manière inégale à cause d'un manque de méthode pour poser le problème.

Si les candidats n'ont eu de difficultés ni dans la prise en main du matériel, ni dans l'analyse des sollicitations simples ; il en a été tout autrement dès qu'ils ont abordé les sollicitations composées par des difficultés dans l'utilisation des cercles de Mohr et des relations contraintes-déformations. En particulier, les candidats ne savent pas déterminer les cercles de Mohr des déformations à partir de la mesure des déformations sur une rosette.

Les candidats ont des difficultés à mettre en parallèle les résultats expérimentaux et ceux du calcul en s'appuyant sur les hypothèses de la R.D.M..

## TP-06 : ANALYSE DE SOLUTIONS CONSTRUCTIVES Indexeur

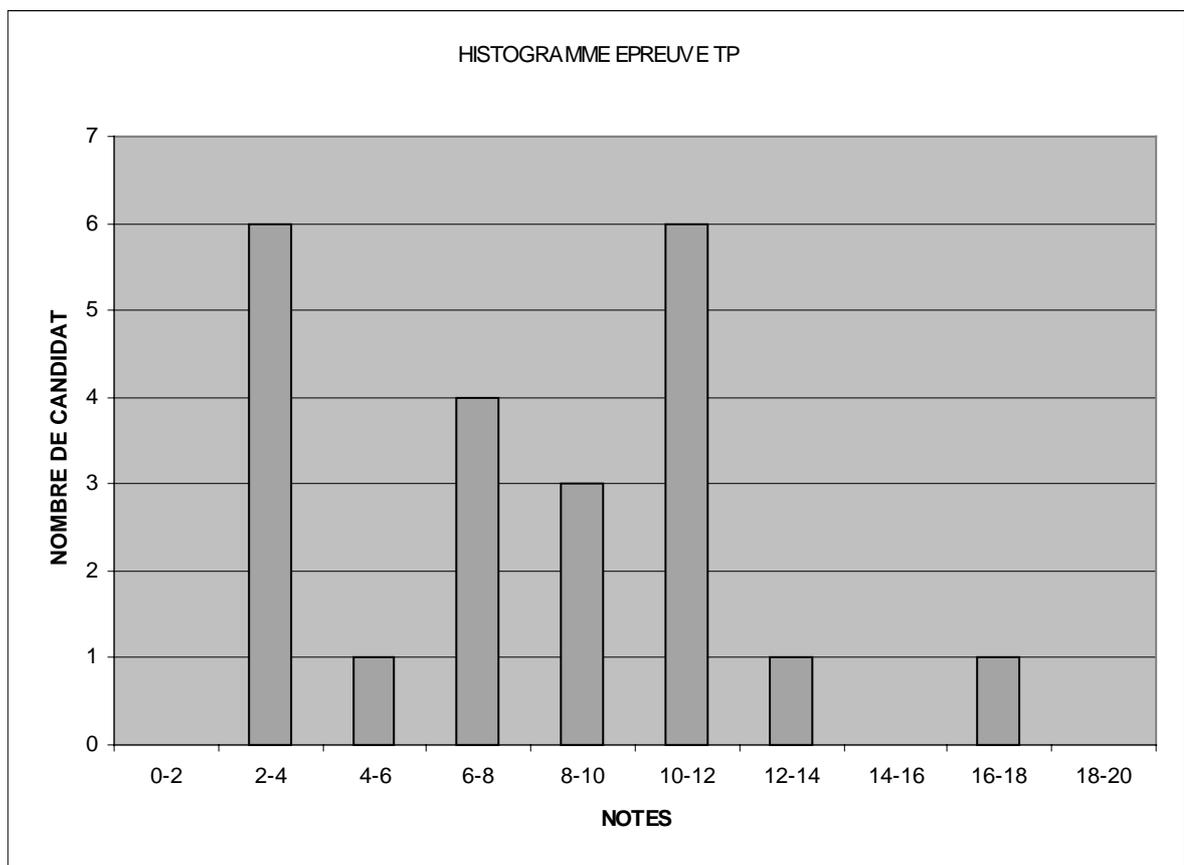
Ce TP est organisé pour mettre en évidence les caractéristiques principales d'un indexeur à cames. L'analyse des solutions constructives adoptées par le constructeur est conduite à partir d'expérimentations simples, de l'utilisation d'une maquette numérique et d'une feuille de calcul.

### Commentaires du jury :

Le support de l'épreuve, malgré une apparente simplicité, présente des solutions techniques intelligentes et éprouvées. Les candidats qui réussissent bien sont ceux qui ont su :

- décrire les performances attendues du mécanisme, grâce à leurs connaissances en construction mécanique et en mécanique;
- mener les investigations et les manipulations expérimentales avec rigueur
- interpréter les résultats obtenus avec lucidité scientifique

## 4 – Résultats - Epreuve de TP



# **Première épreuve de mécanique (Prenant appui sur un système industriel)**

<b>Durée 8heures</b>
----------------------

## **Déroulement de l'épreuve :**

Après la distribution des sujets , le candidat dispose de 8 heures d'épreuve pour traiter **l'épreuve mécanique** et **l'exercice pédagogique**

## Composition du sujet :

Le sujet comporte :

- un **Dossier Technique** (couleur saumon) comportant :
  - 1- La mise en situation du LITHOTRITEUR.
  - 2- Le principe de la lithotritie.
  - 3- La description générale du lithotriteur.
  - 4- La description de la réalisation du lithotriteur et de ses sous-ensembles par trois figures (n° 5 à 7).
  - Le document DT1 (format A3) : Plan du sous-ensemble « porte-arceau ».
  - Le document DT2 (format A4) : Nomenclature du DT1.
  - Le document DT3 (format A3) : Plan du sous-ensemble « arceau / fixation des chaînes ».
  - Le document DT4 (format A4) : Plan du sous-ensemble « colonne OZ équipée ».
  - Le document DT5 (format A3) : Plan du sous-ensemble « rotation  $RY_0$  du porte-arceau ».
  - Le document DT6 (format A4 Recto-verso) : Nomenclature du DT5.
  - Le document DT7 (format A3) : Description des mouvements de la table électrique.
  
- un **Dossier Ressources** (couleur blanche) comportant :
  - Le document DR1 : Validation du besoin pour le lithotriteur LT02x.
  - Le document DR2 : Graphe des interacteurs pour le lithotriteur LT02x.
  - Le document DR3 : Cahier des charges fonctionnel pour les fonctions techniques FT1 et FT4.
  - Le document DR4 : Modélisation du problème du guidage de l'arceau.
  - Le document DR5 : Modélisation RDM, géométrie et paramétrage de l'arceau.
  - Le document DR6 : Modèle éléments finis de l'arceau.
  - Le document DR7 : Champ de la contrainte équivalente de Von Mises.
  - Le document DR8 : Champ des déplacements verticaux pour l'arceau.
  - Le document DR9 : Paramétrage pour l'étude de rotation  $Rx_0$  de l'arceau.
  - Le document DR10 : Paramétrage étude rotation  $Ry_0$  et étude mouvement de la tige du vérin.
  - Les documents DR11 et DR12 : Documentation vérin SKF CARR.
  
- un **Dossier Questionnaire** (couleur verte) comportant :
  - 1. Etude fonctionnelle.
  - 2. Etude géométrique et statique.
  - 3. Etude de résistance des matériaux.
  - 4. Etude Dynamique.
  - 5. Etude de reconception.
  - \*\*\*\*\*
  - 6. Exercice pédagogique.

# **DOSSIER TECHNIQUE**



# LITHOTRITEUR (LT02x) EXTRA CORPOREL



## 1. Mise en situation :

Le système industriel qui fait l'objet de l'étude est un LITHOTRITEUR pour le traitement des lithiases (ou calculs).



*Figure N° 1 : Installation du patient sur la table de traitement du LT02x.*

## 2. Principe de la lithotritie :

Les sels contenus dans les liquides de l'organisme (dans la vésicule biliaire, dans la vessie, dans l'urètre et dans les reins) peuvent former des calculs de densité variable. Leur grosseur varie de la taille d'un gravier jusqu'à celle d'une noix. Les calculs (ou lithiases) prennent naissance soit sous l'influence de causes générales, comme l'arthrite, la goutte ou une mauvaise alimentation, soit suite à une malformation.



*Figure N° 2 : Calculs de cystine avant et après traitement par le LT02x. Fragmentation in vitro durant 2 minutes.*

Les calculs rénaux sont des concentrations de substances normalement dissoutes dans les urines pouvant provoquer des troubles tels que les coliques néphrétiques. Leur traitement ne comporte que deux indications : les faire disparaître et empêcher leur retour par un régime alimentaire approprié.

*La lithotritie est une technique permettant la destruction de ces calculs.*

### 3. Description générale du LITHOTRITEUR :

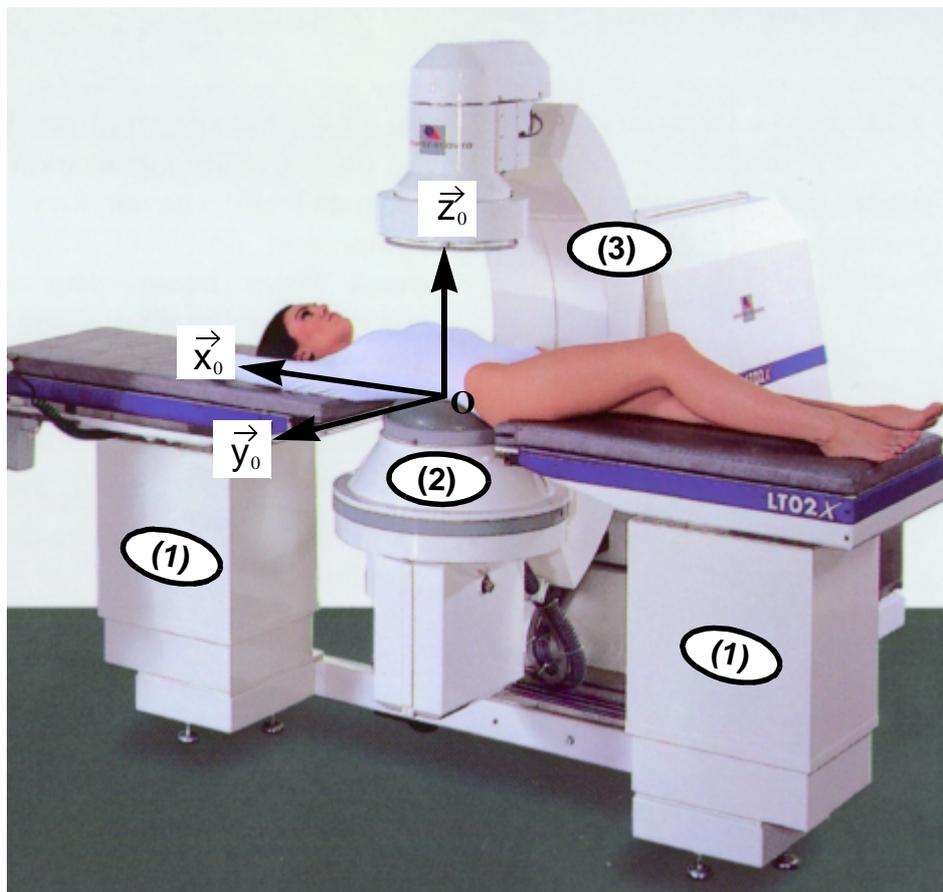


Figure N° 3 : Principaux éléments du LT02x.

(1) Tables support du patient se déplaçant en translation suivant la direction de  $\vec{z}_0$  et en rotation autour de  $\vec{y}_0$ .

(2) Tête de traitement composée d'une sonde échographique escamotable, d'un système de radioscopie et d'un système de tir constitué de céramiques piézo-électriques.

(3) Arceau pouvant se déplacer en translation suivant les 3 directions de  $\vec{x}_0$ ,  $\vec{y}_0$ ,  $\vec{z}_0$  et en rotation autour des axes  $(O, \vec{x}_0)$  et  $(O, \vec{y}_0)$ .



Figure N° 4 : Pupitre de commande avec curseurs de déplacement de l'arceau et écrans de contrôle.

Les tables support (1) permettent la mise en position du patient dans les meilleures conditions de confort et de stabilité possible (voir aussi document technique DT7). La durée complète du traitement (mise en place du patient, repérage de la lithiase et tir de fragmentation) peut, en effet, durer deux heures. L'arceau porte la tête de tir et les sondes échographiques et à rayons X. Deux technologies de repérage de la lithiase sont utilisées pour accroître la fiabilité et la précision de la localisation. A la fin du repérage, la tête de traitement est en position de tir après translations suivant les 3 directions  $\vec{x}_0$ ,  $\vec{y}_0$ ,  $\vec{z}_0$  de l'ensemble tête (2) et arceau (3). Avant le tir, les sondes s'escamotent par un mécanisme interne à la tête. Deux rotations autour des axes  $(O, \vec{x}_0)$  et  $(O, \vec{y}_0)$  (notées respectivement  $R_{x_0}$  et  $R_{y_0}$ ) sont utilisées pour affiner la direction de visée et minimiser les dommages collatéraux (en cas de présence d'un os ou d'organe vital dans la direction du tir). Ces rotations sont limitées de  $-25^\circ$  à  $+25^\circ$ .

#### 4. Réalisation :

Les perspectives qui suivent Figures 5 à 7 présentent globalement les mécanismes permettant la réalisation des 5 mouvements de l'ensemble arceau + tête. Les trois translations sont réalisées à partir de vérins électriques. Le boîtier porte-arceau (document technique DT1) permet la rotation  $R_{x_0}$ . L'arceau (document technique DT3) est guidé par un système de galets et entraîné par une chaîne tendue sur le profil circulaire et un pignon. La rotation  $R_{y_0}$  de l'arceau est réalisée par un moteur électrique, un réducteur et une transmission poulie-courroie avant étude de conception (document technique DT5).

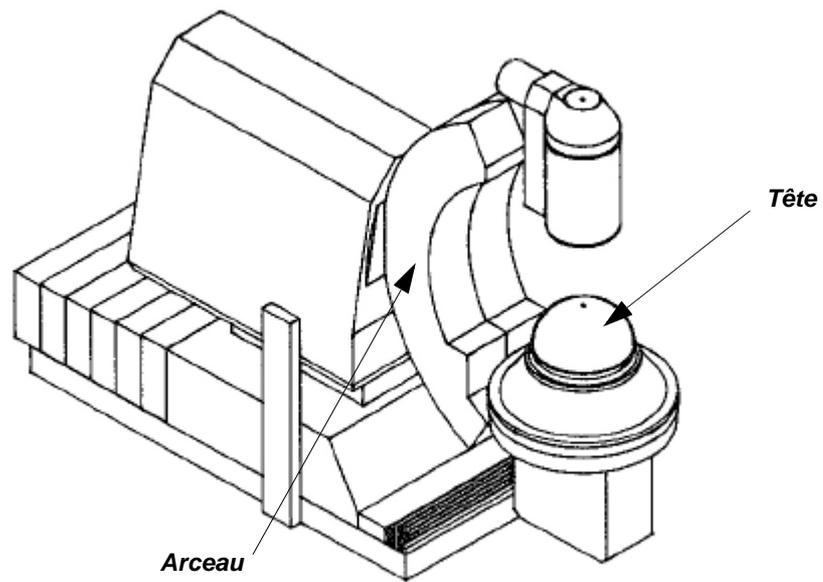


Figure N° 5 : Vue générale de l'ensemble de traitement.

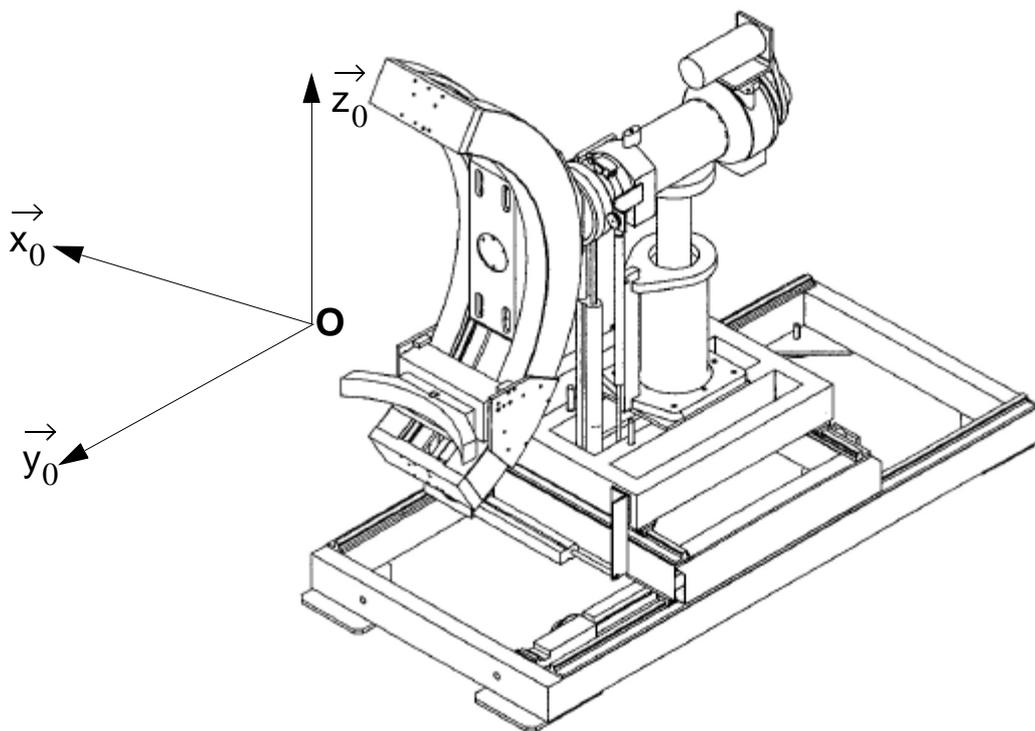


Figure N° 6 : Perspective générale de l'ensemble de traitement (tête et capot enlevés).

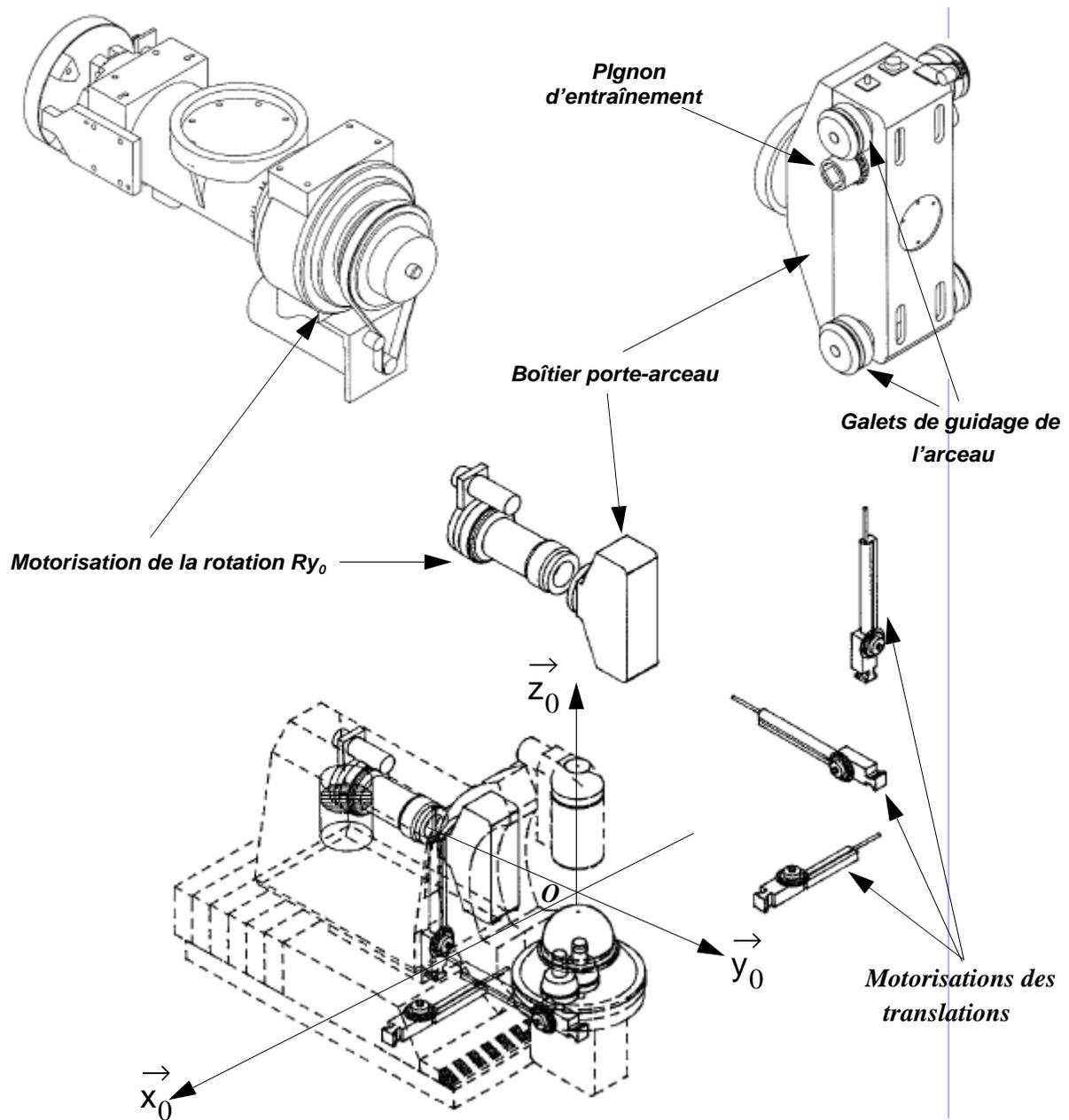
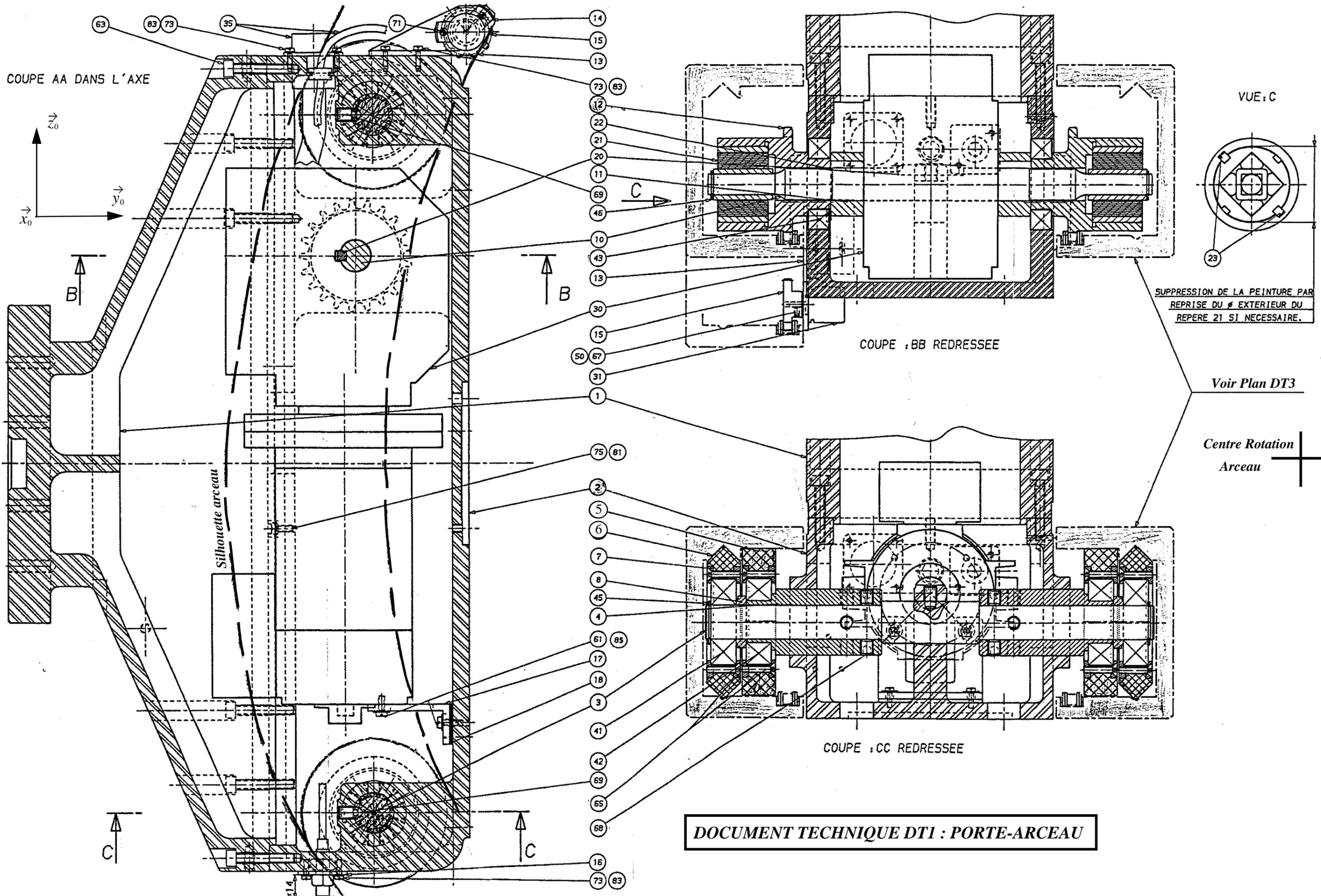


Figure N° 7 : Détail des sous-ensembles motorisant quatre mouvements de l'arceau : translation selon  $X_0$ , translation selon  $Y_0$ , translation selon  $Z_0$  et rotation autour de  $Y_0$ .



**DOCUMENT TECHNIQUE DT1 : PORTE-ARCEAU**

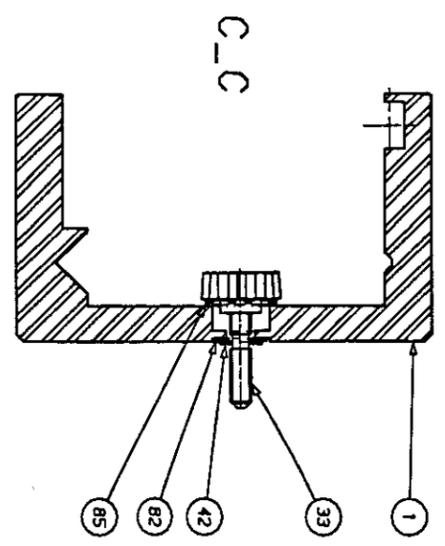
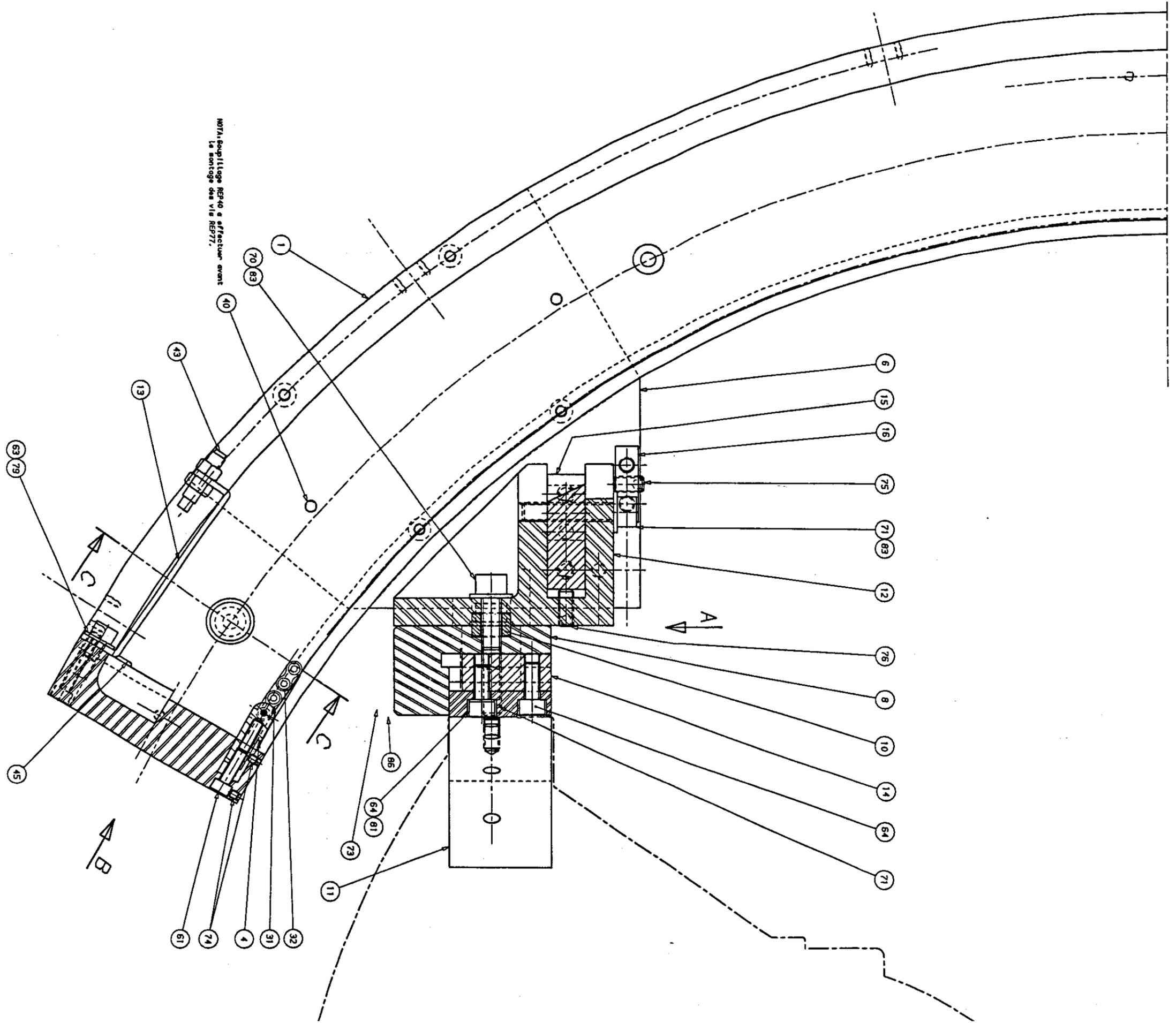
## Document Technique 2 (DT 2)

### Nomenclature du sous-ensemble porte arceau

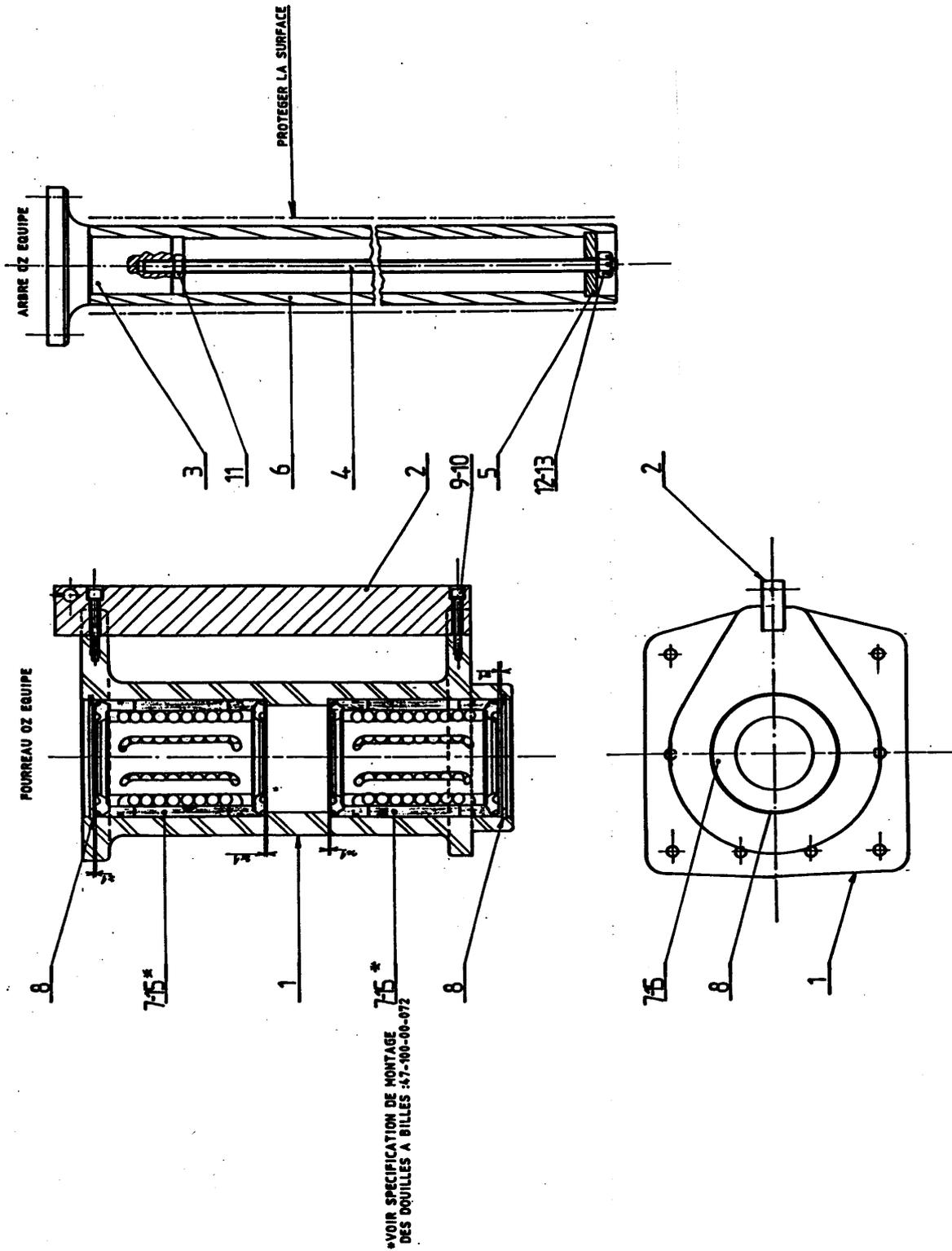
*Nota : Les pièces non répertoriées dans la nomenclature ne présentent pas d'intérêt pour la compréhension du sujet.*

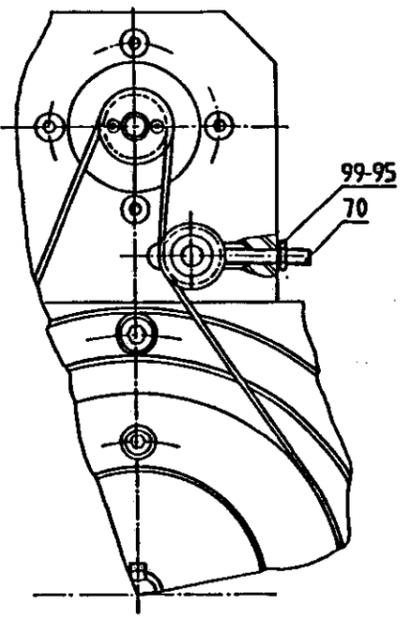
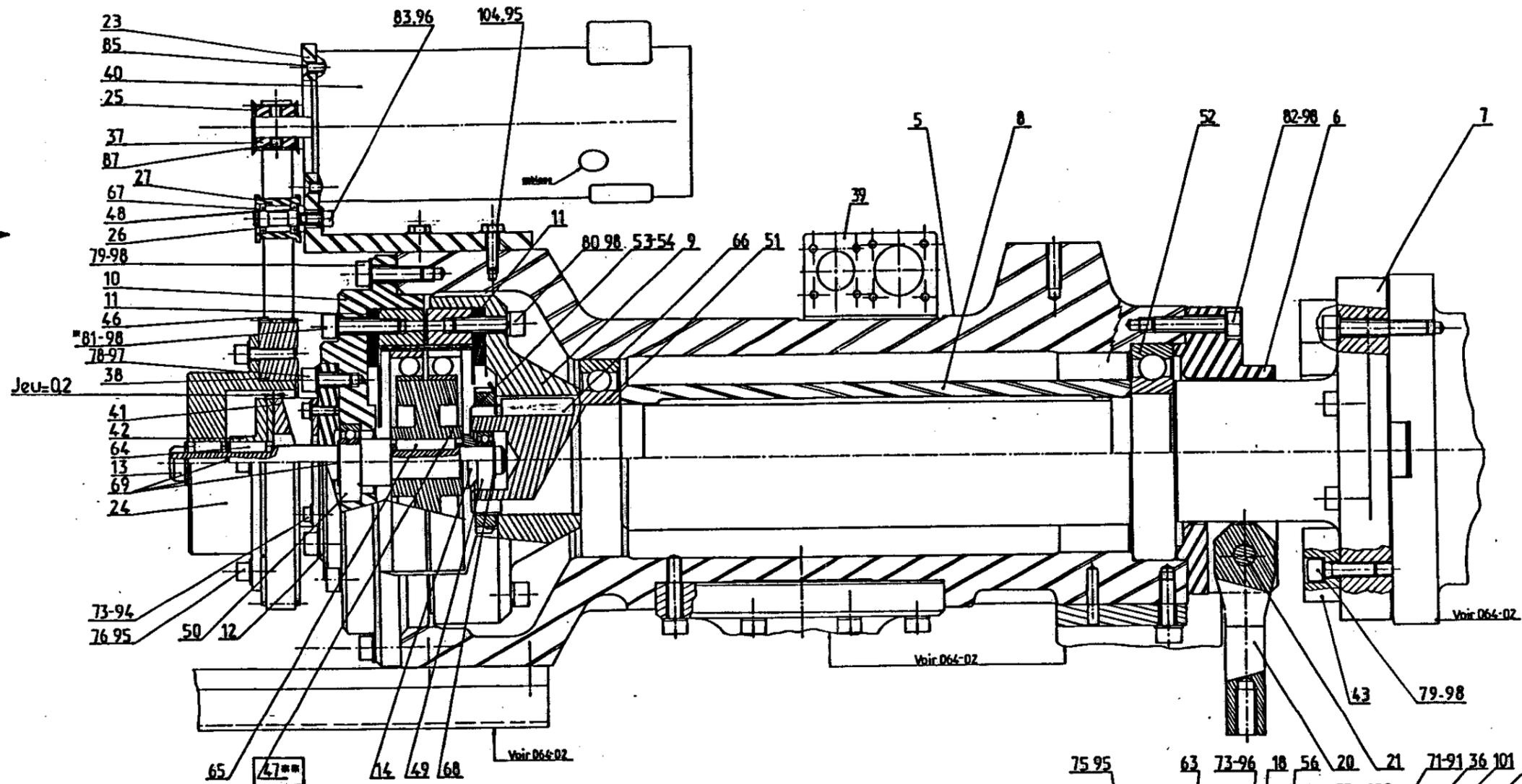
<b>Repère</b>	<b>Désignation</b>	<b>Quantité</b>
1	Couvercle porte-arceau	1
2	Boîtier porte-arceau	1
3	Axe des galets	2
4	Bague excentrique	4
5	Galet plat	4
6	Galet conique	4
7	Flasque galet	16
10	Arbre réducteur	1
11	Entretoise	2
12	Pignon	2
13	Support potentiomètre	1
14	Bride potentiomètre	1
15	Pignon potentiomètre	1
16	Plaque fin de course	2
17	Equerre motoréducteur	1
18	Cales caoutchouc	1
20	Clavette forme A 6.40	1
22	Bague permaglide	2
23	Clavette forme B 5.5.25	4
30	Motoréducteur	1
41	Roulement SKF 6205 2RS1 25.52.15	4
42	Roulement SKF 6304 2RS1 20.52.15	4
43	Roulement SKF 6206 2RS1 30.55.13	2
45	Anneau élastique 20.1,2	4
46	Anneau élastique 12.1	2

**DOCUMENT TECHNIQUE DT3 : ARCEAU ÉQUIPÉ**

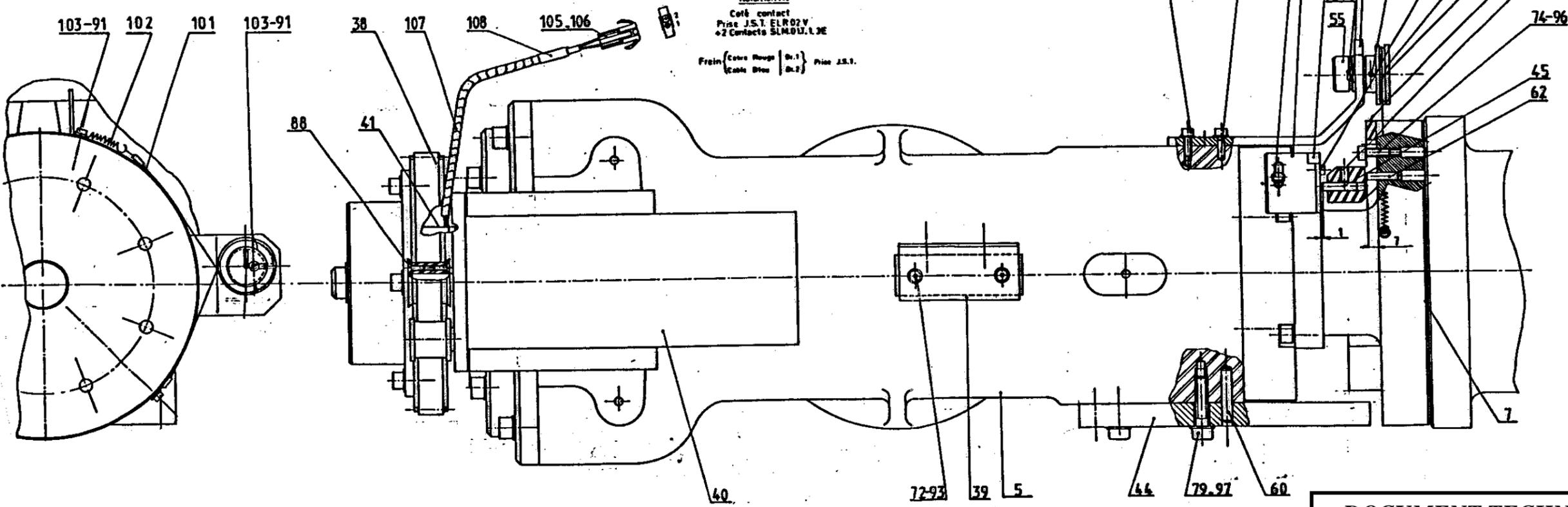


# DOCUMENT TECHNIQUE DT4 : COLONNE OZ EQUIPÉE





vue A redressé



Rotation Y.  
Côté contact  
Pine J.S.T. ELR02Y  
+2 Contacts SIMOU.L.3E  
Frein (Cote Rouge [D.1] Pine J.S.T.)  
(Cote Bleu [D.2])

NOTA  
VOIR SPECIFICATION DE MONTAGE  
DU REDUCTEUR POUR 50 : 57-90-00-076  
à COUPLE DE SERRAGE 30Nm.

## Document Technique 6 (DT6)

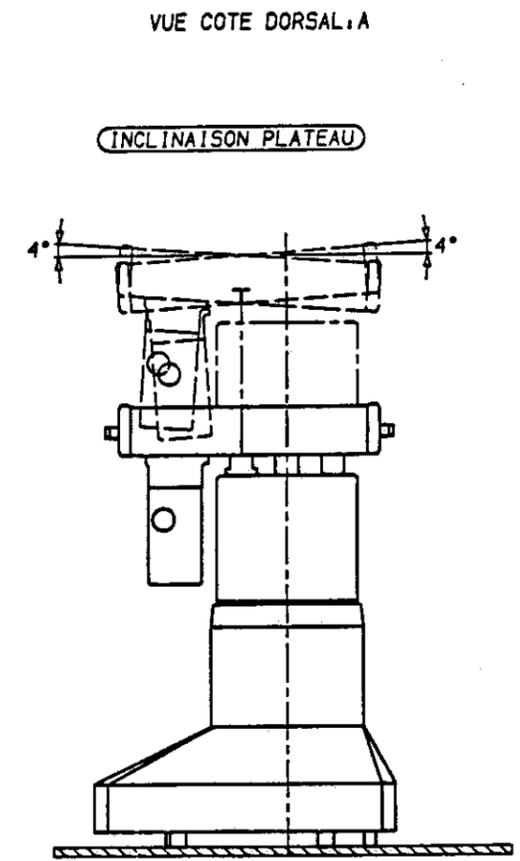
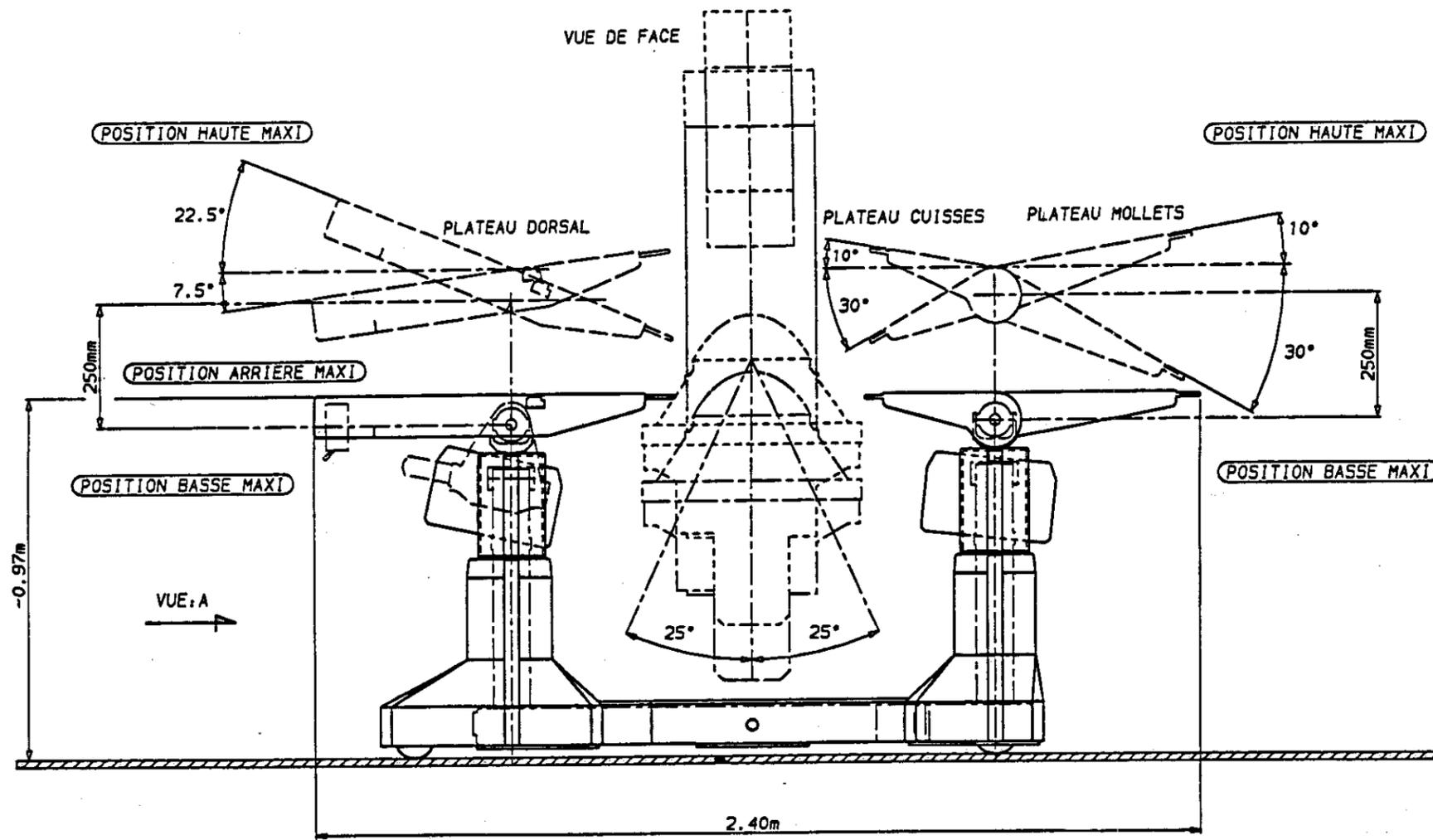
### Nomenclature du sous-ensemble de rotation $Ry_0$ du porte-arceau

*Nota : Les pièces non répertoriées dans la nomenclature ne présentent pas d'intérêt pour la compréhension du sujet.*

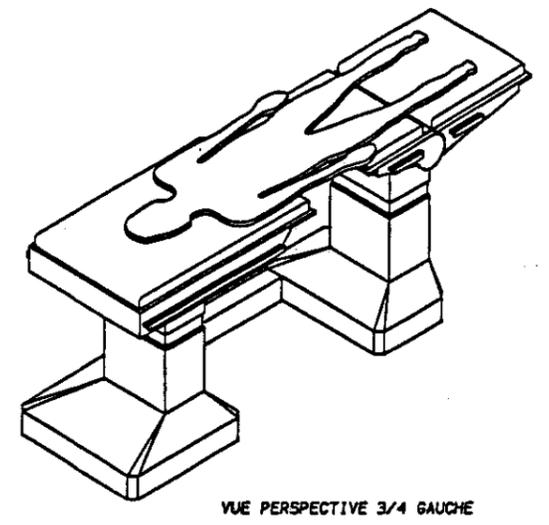
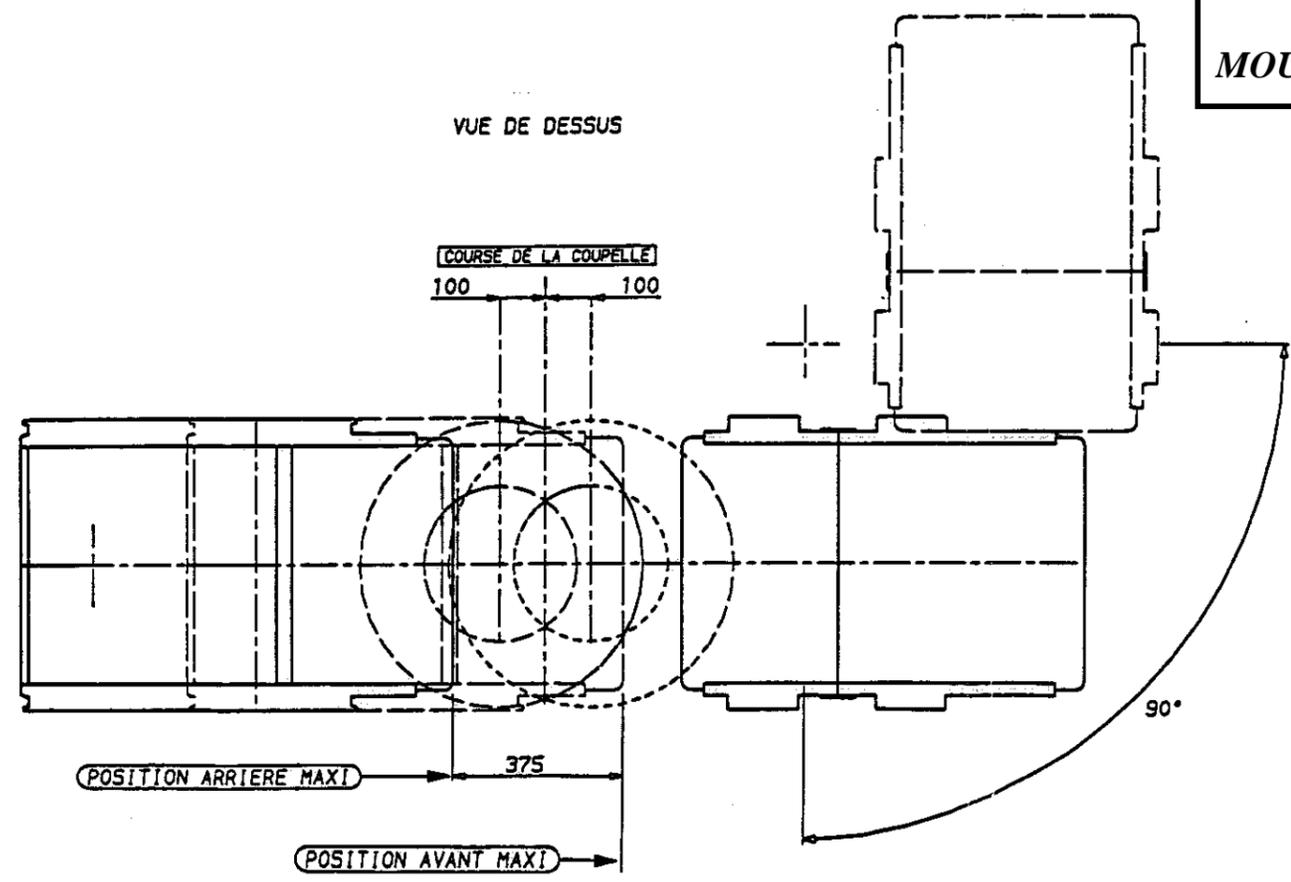
Repère	Désignation	Quantité
5	Palier de l'arbre OY	1
6	Couvercle arbre mené	1
7	Arbre mené axe OY	1
8	Entretoise	1
9	Plateau « circular spline »	1
10	Plateau du « dynamic spline »	1
11	Plateau « guide flexpline »	1
12	Couvercle arbre menant	1
13	Arbre menant axe OY	1
14	Entretoise	1
15	Bride de fixation servo	1
17	Support d'aimant	1
18	Support contact droit	1
19	Support contact gauche	1
20	Embout vérin	1
21	Axe tête vérin	1
23	Support moteur	1
24	Moyeu support poulie menée	1
25	Flasque pignon	2
26	Axe de galet	1
27	Galet	1
35	Support de potentiomètre	1
37	Pignon 16 dents	1
38	Poulie menée 100 dents	1
39	Support connecteur	1
40	Moteur GNM 5480 E, 24V, 160 W	1
41	Frein monodisque à aimant permanent, 24 V, 5 Nm	1
42	Armature mobile	1
46	Courroie crantée synchroflex	1
47	Réducteur « Harmonic drive » HDUR 50-242 BL3 Gammatic	1
48	Roulement SKF 8.16.4	2
49	Roulement à billes SKF 6002 2 RS 1	1
50	Roulement à billes SKF 6004 2 RS 1	1
51	Roulement à billes SKF 6012 2 RS 1	1
52	Roulement à billes SKF 6013 2 RS 1	1
53	Ecrou KM 12 M 60.2	1
54	Rondelle frein MB 12 SKF	1
55	Potentiomètre monotour 360° Beckman	1
64	Clavette forme B 6.6.20	2

*Suite document DT6*

65	Clavette forme A 6.6.32	1
66	Clavette forme A 16.10.40	1
67	Circlips pour arbre 8 x 0,8	1
68	Circlips pour arbre 15 x 1	1
69	Circlips pour arbre 19 x 1,2	1
70	Vis de réglage M6 40	1
76	Vis CHC M6 - 20	4
78	Vis CHC M8 - 20	4
79	Vis CHC M8 - 30	10
80	Vis CHC M8 - 30	6
81	Vis CHC M8 - 35	6
82	Vis CHC M8 - 40	6
83	Vis CHC M5 - 10	1
85	Vis FHC M5 - 16	4
87	Vis HC M6 – 6 bout cuvette	2
88	Vis FHC M3 - 10	4
94	Rondelle ondulée M5	4
95	Rondelle ondulée M6	10
96	Rondelle CDJ 5-12-0,8	4
97	Rondelle CS 8-18-1,4	6
98	Rondelle 8-13-0,8	26
99	Ecrou HM M6	1



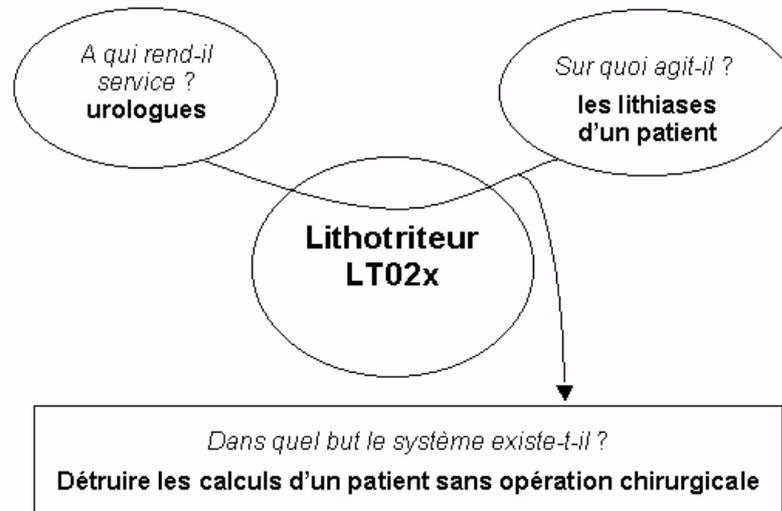
**DOCUMENT TECHNIQUE DT7 :  
MOUVEMENTS DE LA TABLE ÉLECTRIQUE**



# **DOSSIER RESSOURCE**



# DOCUMENT RESSOURCE DR1



L'évolution des techniques médicales cherche à limiter les opérations (anesthésie + chirurgie) sur les patients. Les praticiens cherchent donc des systèmes utilisant des techniques dites "non invasives".

Le lithotriteur allie trois technologies différentes sur une même machine. La radiographie et l'échographie permettent de repérer le calcul et le système de destruction traite des lithiases de petites dimensions.

Il permet une grande flexibilité et une facilité d'emploi grâce à l'isocentricité de l'arceau et du centre de tir.

Son encombrement minimum permet l'utilisation d'une seule salle de traitement.

Il permet d'abaisser la limite de taille des calculs à traiter sans opération.

## Evolutions envisagées du produit :

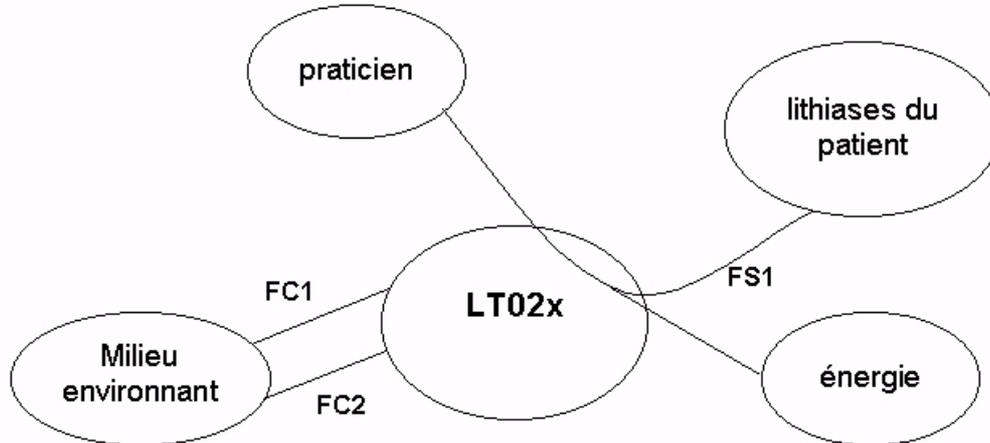
Apparition d'un appareil multifonctions permettant de pratiquer d'autres types de traitement sur une même table (avec l'arceau et la tête de traitement sur roulettes).

Evolution des techniques de destruction utilisant les systèmes électro-conductif ou électromagnétiques.

Optimisation et amélioration du système de tir par céramiques piézo-électrique (réduction importante de la taille du lithotriteur).

# DOCUMENT RESSOURCE DR2

Graphe des interacteurs pour la séquence "utilisation du lithotriteur" :



## **• Fonction de service :**

FS1 Permettre au praticien de détruire les lithiases du patient en utilisant l'énergie.

## **• Fonctions contrainte :**

FC1 Ne pas nuire à l'environnement

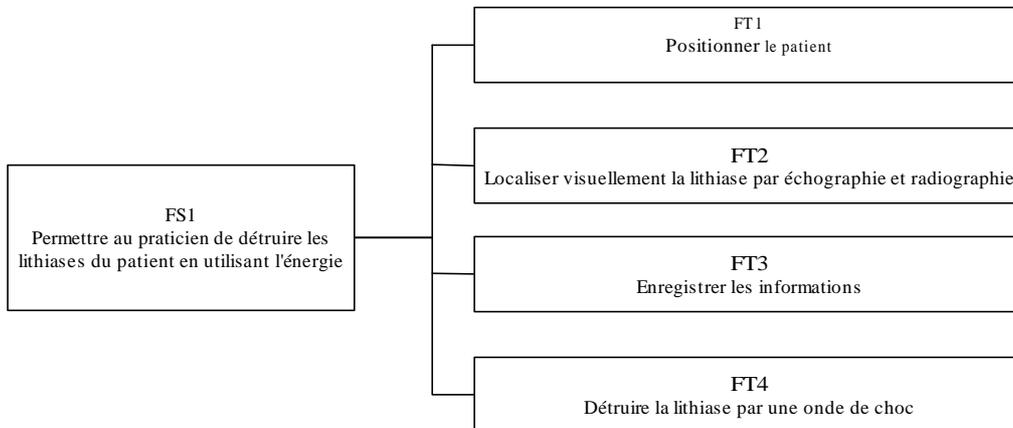
FC2 S'intégrer à l'environnement

## **• Énoncé de quelques critères d'appréciations liées à la fonction de service FS1**

- ergonomie de l'appareil
- sécurité du patient
- confort du patient
- sécurité du praticien
- respect des normes d'hygiène et de sécurité
- précision du positionnement
- caractéristiques des mouvements (natures, courses, débattements angulaires, accélérations, .....)
- maintien en position
- stabilité et robustesse
- caractéristiques de l'onde de choc
- caractéristiques de l'énergie nécessaire
- aspect rassurant de l'appareil pour le patient.....etc...

# DOCUMENT RESSOURCE DR3

## FAST partiel pour la fonction FS1



## Extrait du fonctionnel pour les fonctions techniques FT1 et FT4

### Fonction FT1 :

Pour le positionnement du patient, les niveaux des critères d'appréciation ci-dessous sont exigés :

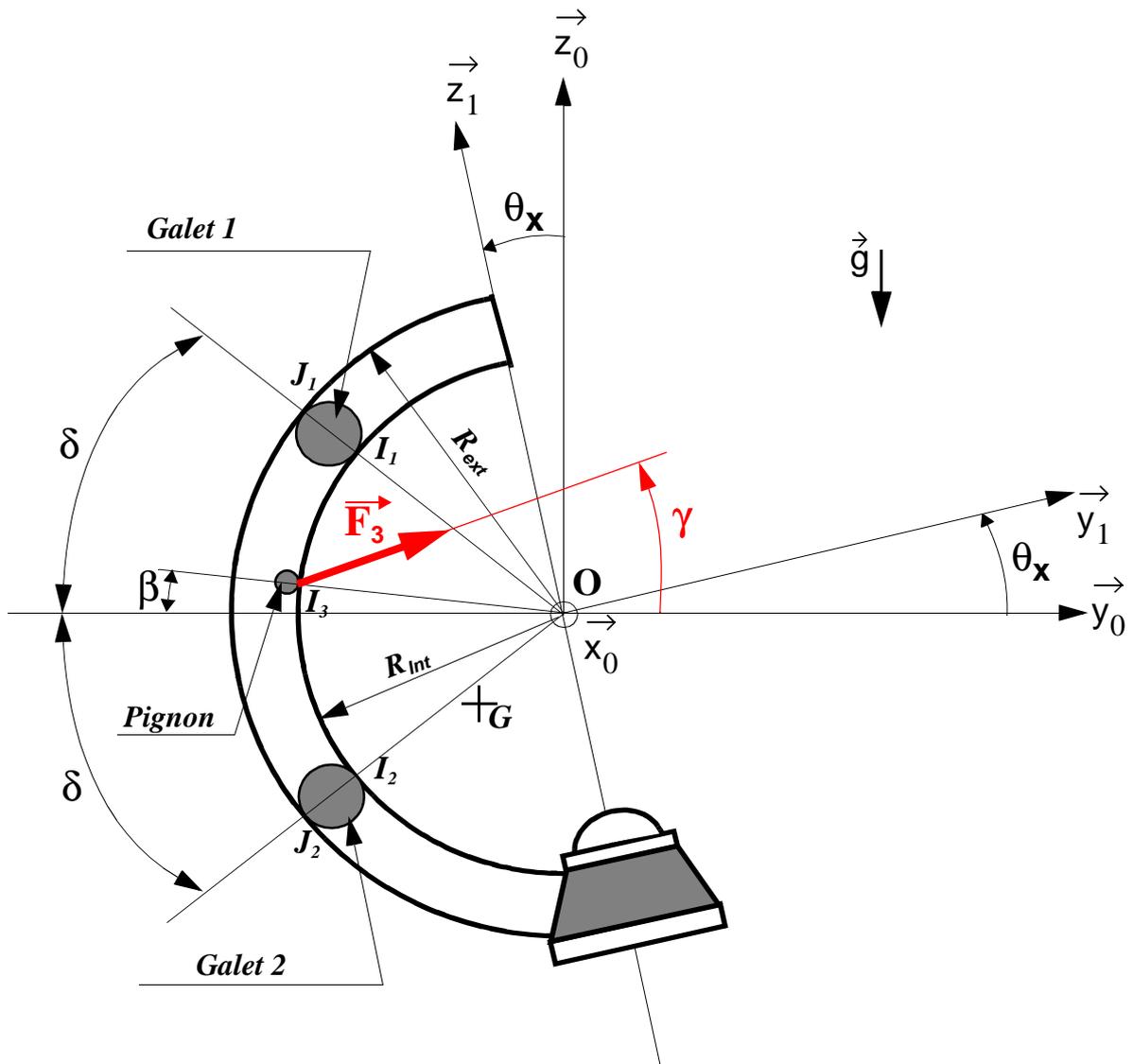
- Précision de la position sur les axes  $X_0, Y_0, Z_0$  :  $\pm 0,5$  mm
- précision angulaire de la position autour des axes X et Y :  $\pm 1^\circ$
- déplacements linéaires :
  - course suivant l'axe  $X_0$  :  $C_{x_0} = 200$  mm ( tolérance  $\pm 0,5$  mm)
  - course suivant l'axe  $Y_0$  :  $C_{y_0} = 565$  mm ( tolérance  $\pm 0,5$  mm)
  - course suivant l'axe  $Z_0$  :  $C_{z_0} = 150$  mm ( tolérance  $\pm 0,5$  mm)
- débattements angulaires autour des axes  $X_0$  et  $Y_0$  de  $\pm 25^\circ$  avec une tolérance  $\pm 1^\circ$
- accélérations ou décélérations linéaires suivant les axes  $X_0, Y_0, Z_0$  :  $\leq 20 \cdot \text{cm/s}$
- accélérations ou décélérations angulaires suivant les axes  $X_0, Y_0, Z_0$  :  $\leq 20 \cdot ^\circ/\text{s}$
- vitesse de déplacement maxi suivant les axes  $X_0, Y_0, Z_0$  :  $4 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$
- fréquence de rotation maxi suivant les axes  $X_0, Y_0, Z_0$  :  $5^\circ \cdot \text{s}^{-1}$

### Fonction FT4 :

Pour détruire les lithiases, le système de tir doit être positionné. Les niveaux des critères d'appréciation ci-dessous sont exigés pour positionner correctement le point focal dans une sphère de diamètre 1 mm :

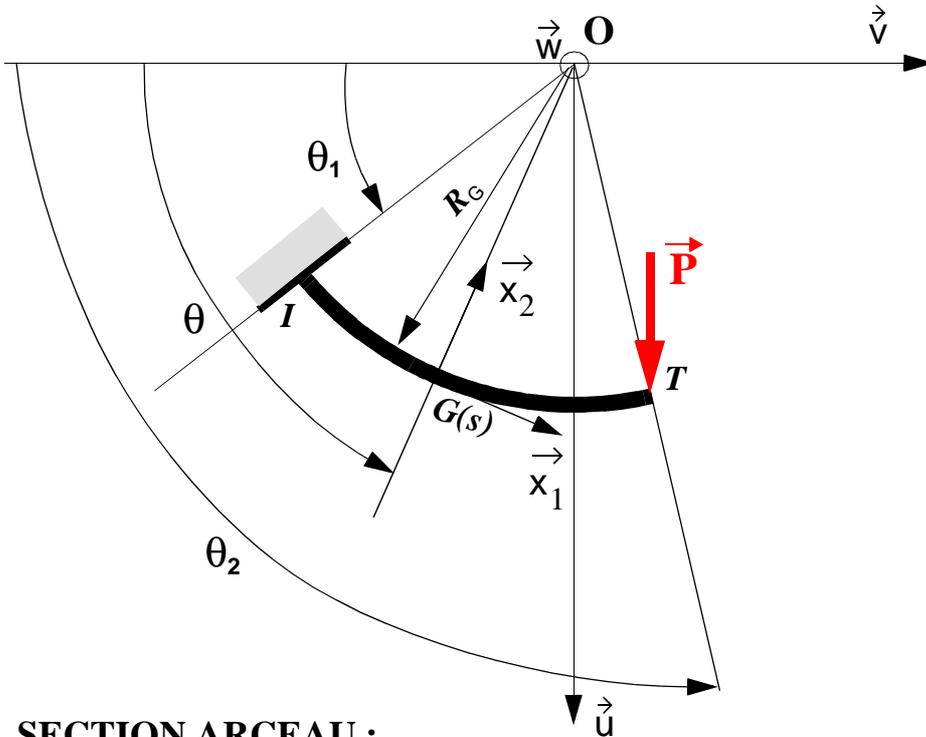
- défaut maxi d'horizontalité suivant l'axe  $Y_0$  :  $\pm 1^\circ$
- rigidité en flexion : flèche  $< 0,5$  mm
- défaut maxi de verticalité suivant l'axe  $Z_0$  ( axe de tir ) :  $\pm 1^\circ$
- positionnement horizontal de l'axe  $Z_0$  :  $\pm 0,1$  mm :
- positionnement vertical du cône de tir :  $\pm 0,1$  mm

# DOCUMENT RESSOURCE DR4

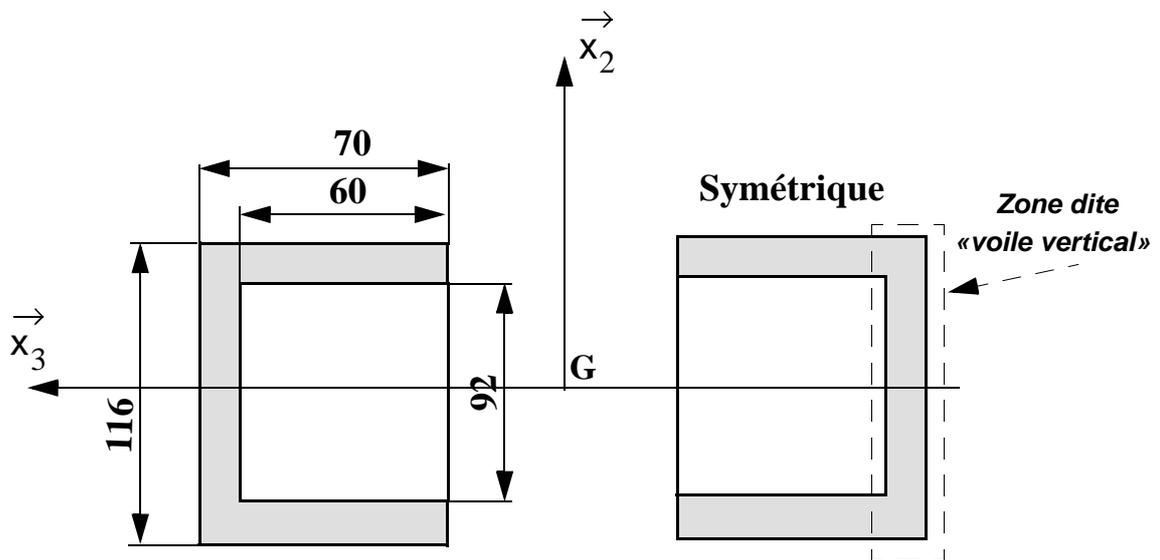


## Modélisation du problème du guidage de l'arceau

# DOCUMENT RESSOURCE DR5

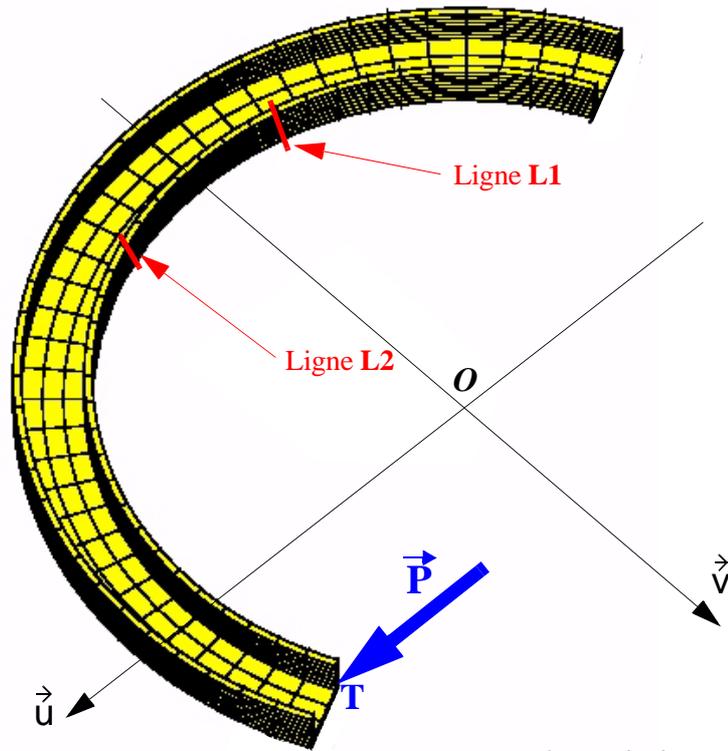


**SECTION ARCEAU :**

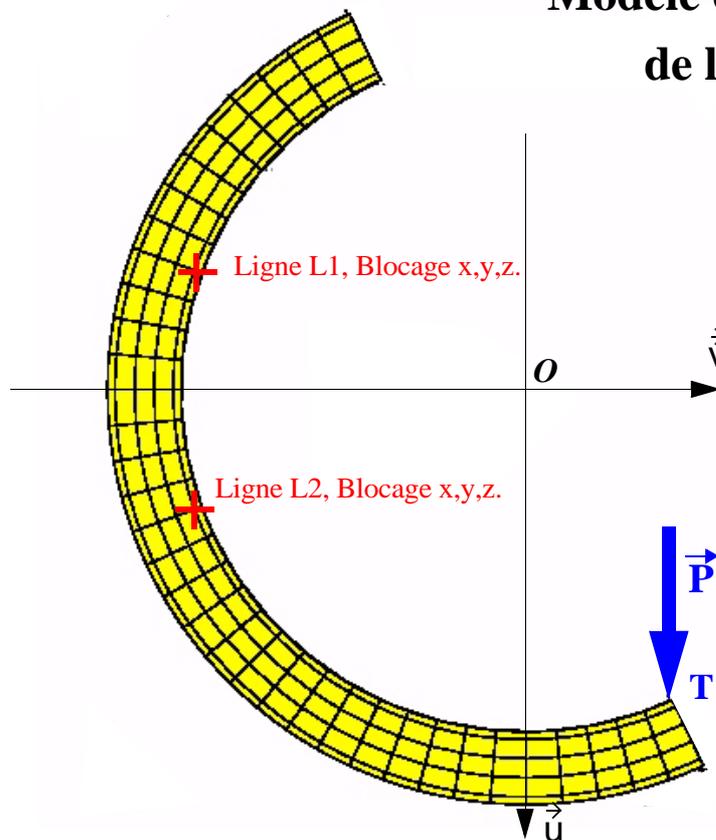


## Modélisation R.D.M. , géométrie et paramétrage de l'arceau

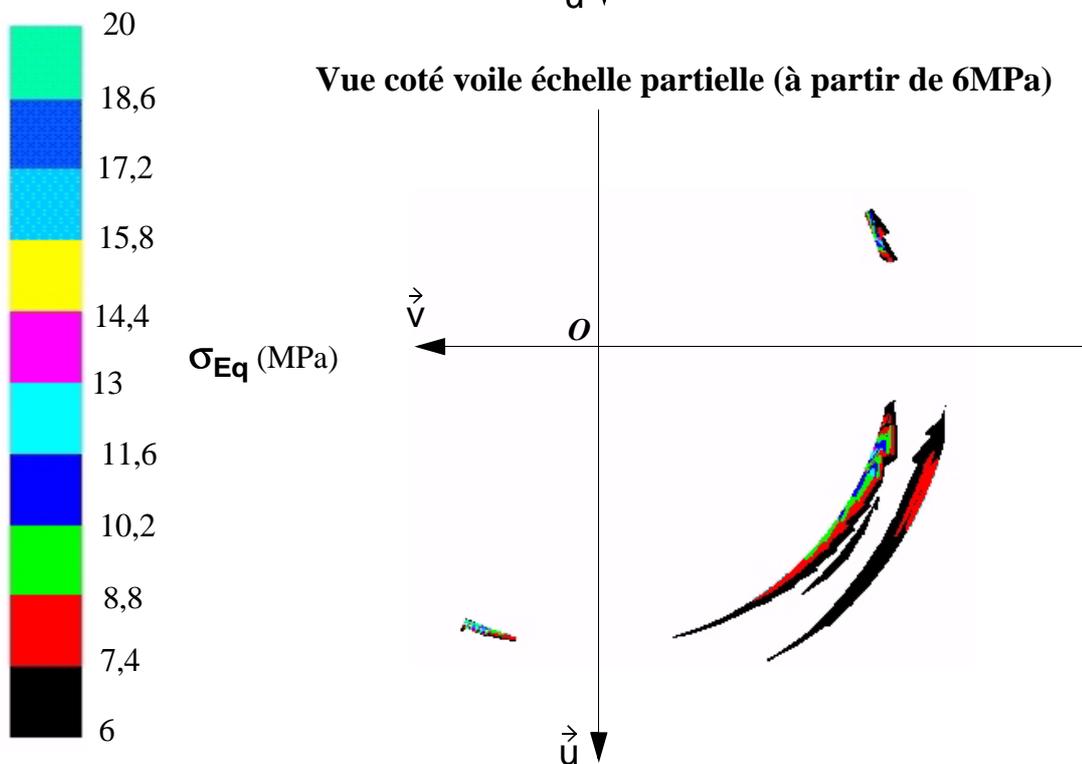
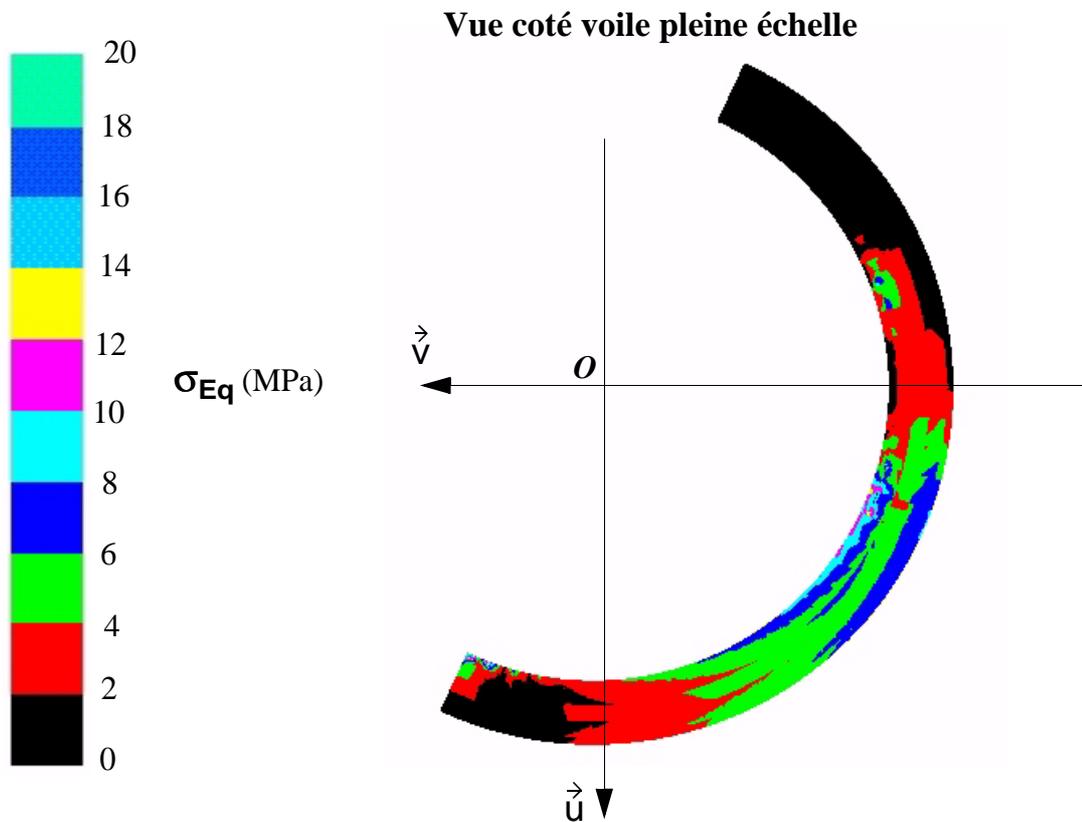
# DOCUMENT RESSOURCE DR6



**Modèle éléments finis  
de l'arceau**

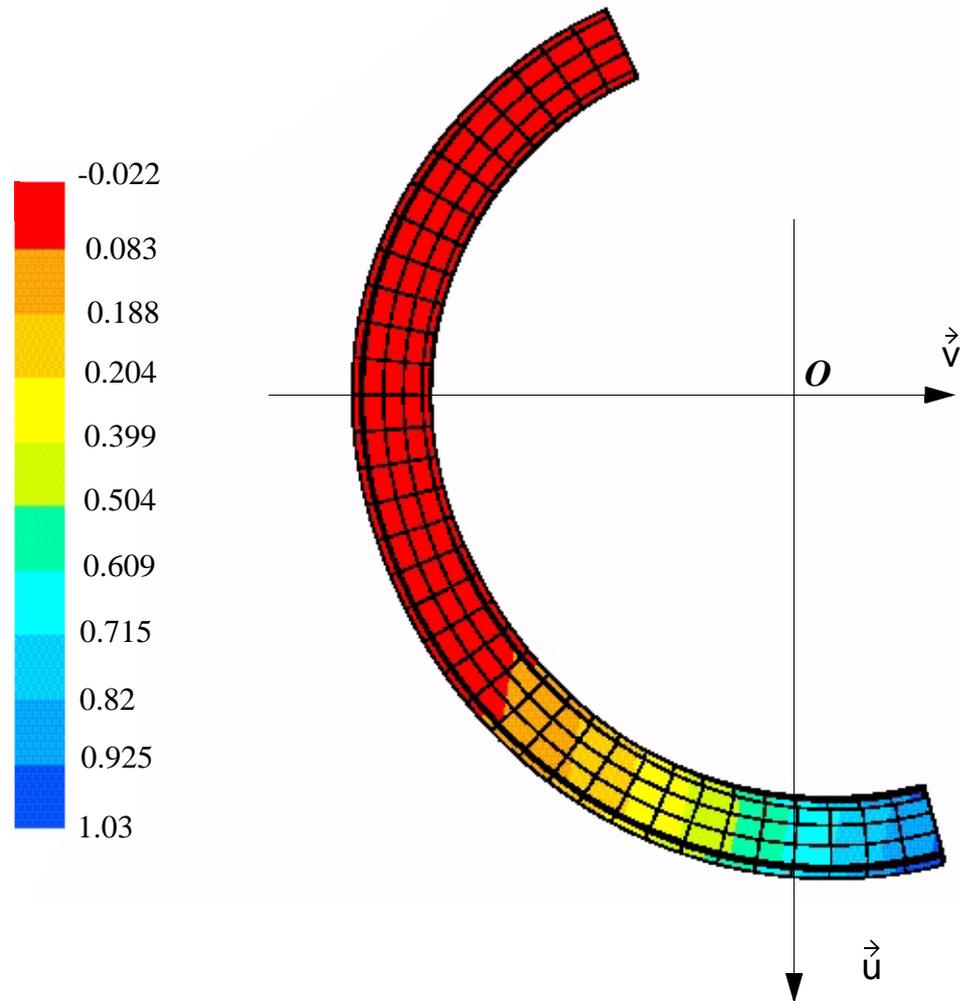


# DOCUMENT RESSOURCE DR7



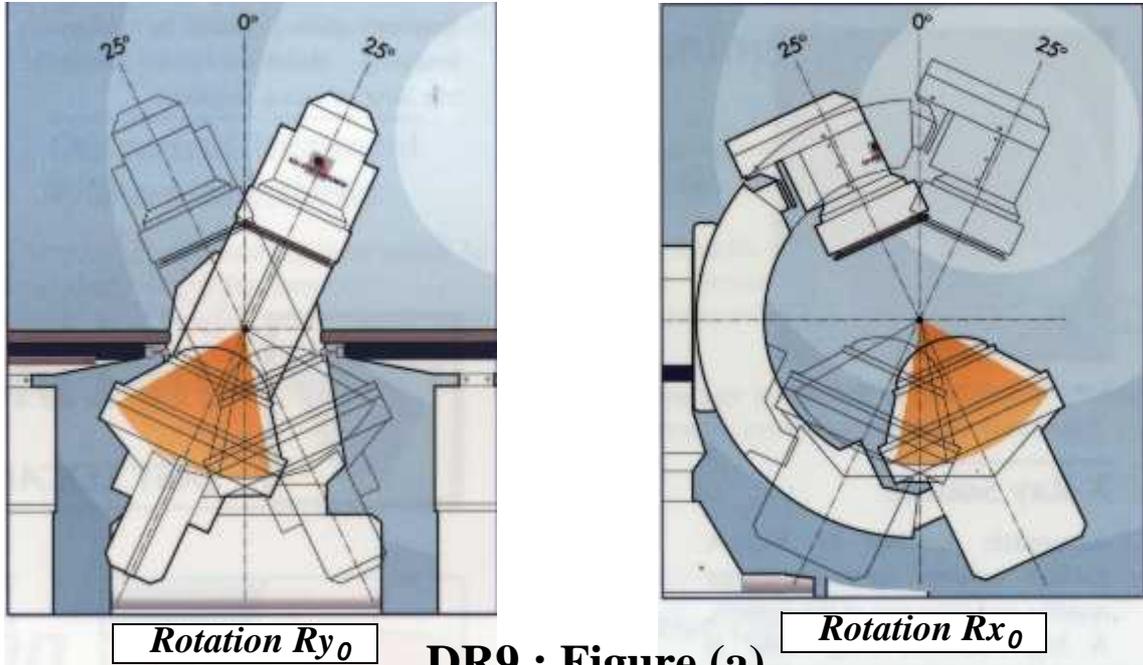
**Champ de la contrainte équivalente de Von Mises**

# DOCUMENT RESSOURCE DR8

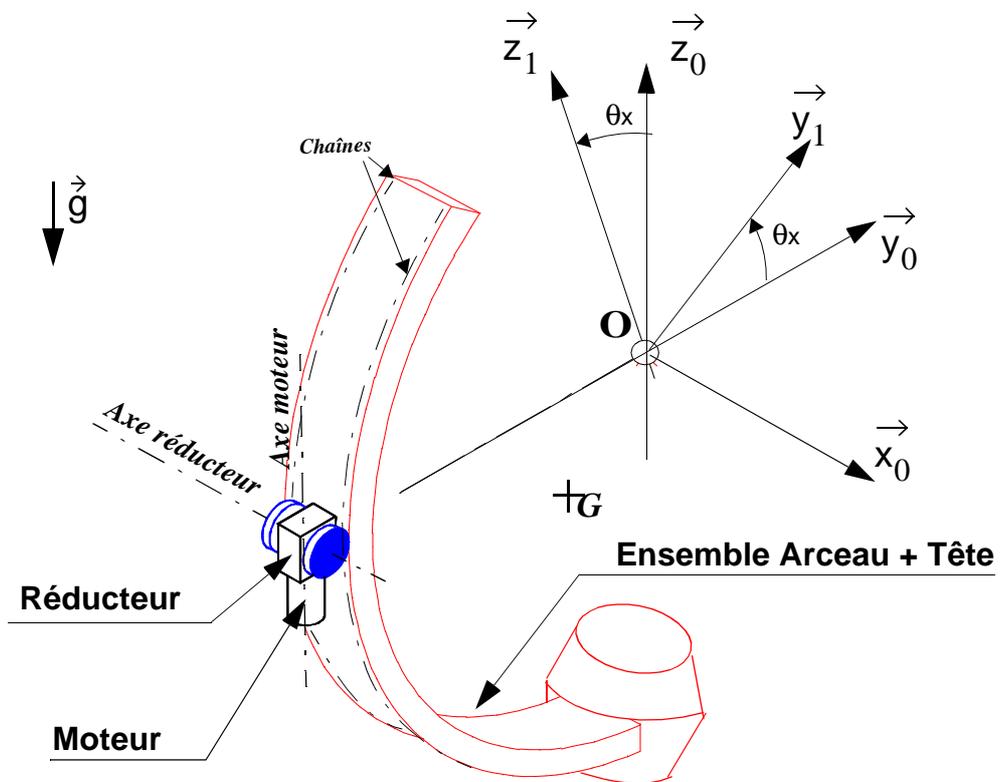


**Champ des déplacements verticaux**

# DOCUMENT RESSOURCE DR9

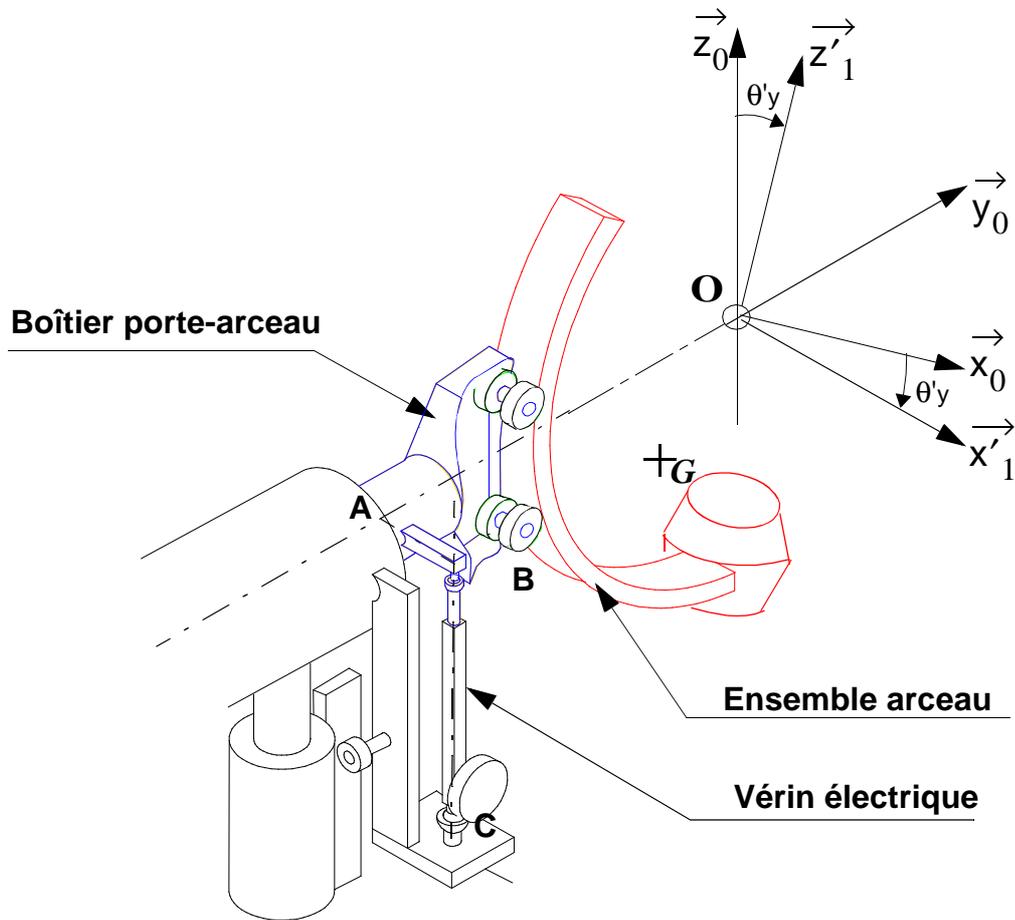


**DR9 : Figure (a)**

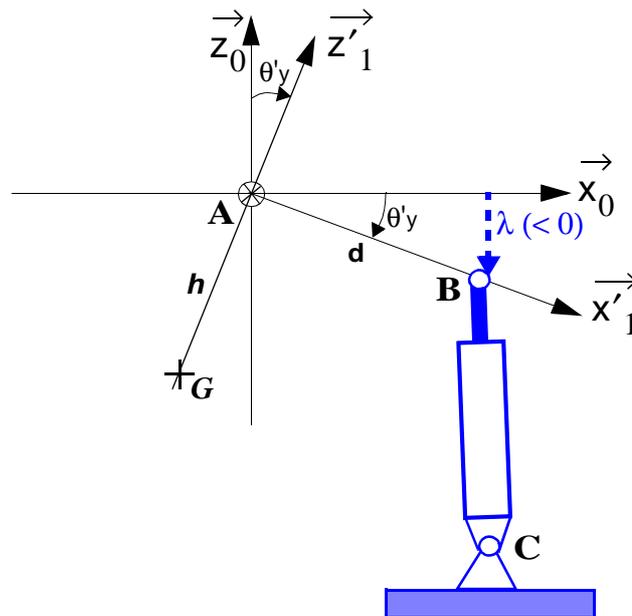


**DR9 : Figure (b) : Paramétrage étude rotation  $R_{x_0}$**

# DOCUMENT RESSOURCE DR10



**DR10 : Figure (a) : Paramétrage étude rotation  $R_{y_0}$**



**DR10 : Figure (b) : Etude du mouvement de la tige du vérin**

## Le vérin CARR

Les vérins CARR sont basés sur la vis à billes SKF, produit bien connu et très utilisé en ingénierie, ainsi que dans les industries aéronautiques et nucléaires. La vis à billes est montée dans deux tubes concentriques - un tube de protection extérieur et un tube intérieur. Le vérin est entraîné par un moteur électrique, la puissance étant transmise à la vis à billes via un réducteur à roue et vis. Le réducteur est monté dans un logement en aluminium anodisé. Réducteur peut être équipé d'un embrayage de sécurité destiné à protéger le mécanisme en cas de surcharge dynamique.

## DOCUMENT RESSOURCE DR11

Chape de montage arrière - simplifie le montage lorsqu'elle est utilisée avec les chapes de fixation SKF.

Vis à billes qui transforme le mouvement rotatif en mouvement linéaire. Elle bénéficie d'un très bon rendement, ce qui confère un haut niveau d'efficacité à l'ensemble du vérin.

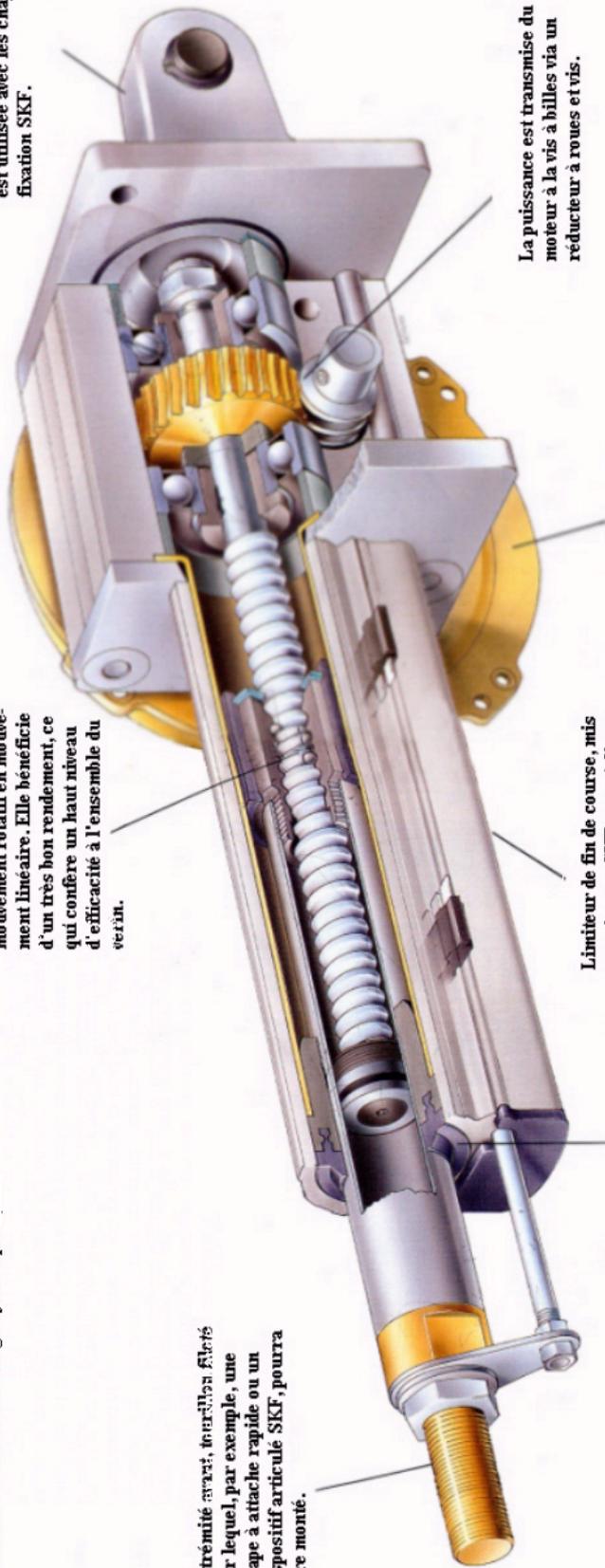
Extrémité avant, terminée après sur lequel, par exemple, une chape à attache rapide ou un dispositif articulé SKF, pourra être monté.

La puissance est transmise du moteur à la vis à billes via un réducteur à roues et vis.

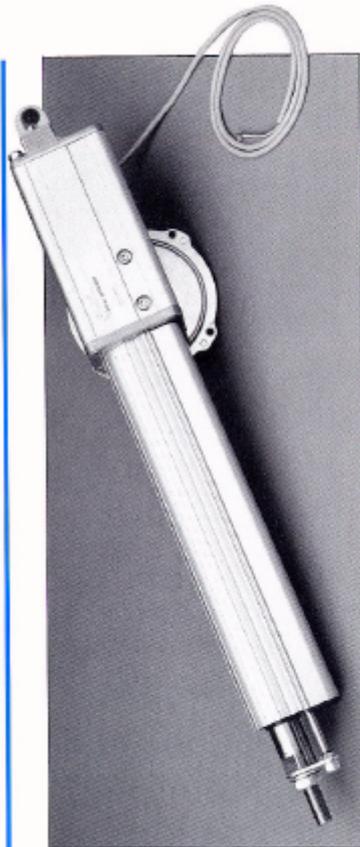
Moteur d'entraînement du vérin. Il existe plusieurs variantes: 24/12 V continu ou 220/110 V alternatif monophasé.

Limiteur de fin de course, mis au point par SKF, monté directement sur le tube de protection.

Joint racleur pour la protection de la vis à billes.



# Servo-vérin CAPR 32 24 V continu



Le servo-vérin CAPR 32 est équipé d'un potentiomètre qui indique la position du vérin. Cette unité convient donc lorsqu'il est nécessaire de connaître la position actuelle du vérin, soit pour la commande manuelle soit pour la servo-commande.

Le vérin est équipé d'une vis à billes SKF qui lui confère un haut rendement. La vis à billes est montée dans deux tubes concentriques en acier, un tube de protection extérieur chromatisé et un tube intérieur en acier inoxydable. La vis à billes est bien protégée par un joint radieux.

Le vérin est entraîné par un moteur plat 24 V protégé contre la poussière et l'humidité, selon un niveau correspondant à la classe IP 44. Si Ton souhaite un niveau de protection plus élevé, on pourra monter un couvercle de protection sur le moteur. Celui-ci est décrit à la page 37. Les variantes de moteurs de 24 V sont décrites à la page 38.

Les vérins sont fabriqués en courses standards, toutefois ils peuvent être fabriqués selon des longueurs spécifiques sur demande.

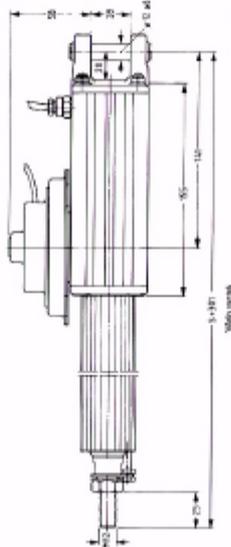
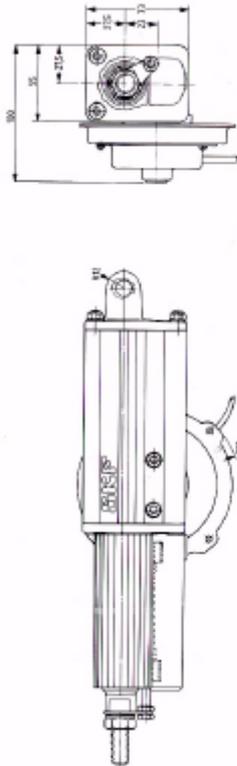
La puissance est transmise du moteur à la vis à billes via un réducteur à roue et vis, monté dans un logement en aluminium anodisé. Comme la vis à billes, il est lubrifié à vie et ne nécessite aucune maintenance.

CAPR 32	Course		Masse
	mm	kg	
	50	2,9	
	100	3,3	
	200	3,7	
	300	4,1	
	400	4,5	
	700	6,0	

Désignation	Charge dynamique max.	Charge statique max.	Vitesse mm/s	Consommation approx. de courant
S-cours en mm	N	N	N	A
CAPR 32-S x 100AC	3500	6400	15-10	8
CAPR 32-S x 200AC	2500	5400	30-20	8
CAPR 32-S x 400AC	1500	5400	60-40	8

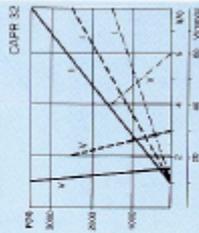
SKF

# CAPR 32 24 V continu



### Diagramme de performance

- I = Consommation de courant
- A = Vitesse linéaire, mm/s
- V = Réducteur 1
- ..... Réducteur 2
- ..... Réducteur 4



Précision moyenne Réducteur	Précision Réducteur
1	±1
2	±2
4	±4

A une charge constante et dans le sens de la charge on pourra arriver à une précision nettement plus élevée. Consulter SKF pour plus de renseignements.

SKF

# DOCUMENT RESSOURCE DR12

# **DOSSIER QUESTIONNAIRE**

# 1. Etude fonctionnelle du lithotriteur

## Objectifs :

Décrire la structure du lithotriteur : son architecture et ses composants.

Identifier les solutions techniques utilisées pour remplir les différentes fonctions.

## Questions :

En utilisant les différentes figures et documents du Dossier Technique et du Dossier Ressource :

- 1- 1 Identifier, en nommant les composants, la chaîne cinématique permettant d'assurer la rotation de l'arceau selon  $Y_0$ , par rapport au bâti **0**.
- 1- 2 Identifier, en les nommant, les composants permettant d'assurer les translations suivant les axes  $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$  de l'arceau par rapport au bâti **0**.
- 1- 3 Réaliser le schéma cinématique (seules les possibilités de mouvements principaux sont décrits) du lithotriteur.
- 1- 4 Réaliser le schéma cinématique (seules les possibilités de mouvements principaux sont décrits) des tables de maintien du patient.
- 1- 5 Réaliser le diagramme FAST de la fonction FT1 décrite dans le dossier ressource par les documents DR 1, DR 2 et DR 3.

## 2. Étude géométrique et statique :

### Objectif :

L'entraînement de l'arceau se fait par un pignon (repère 12, plan DT1) et une chaîne tendue (repère 32, plan DT3) sur le profil de l'arceau. L'arceau composé de deux demi-arceaux (repère 1, plan DT3) de sections en U est guidé par deux paires de galets (repères 5 et 6, plan DT1). On se propose dans cette partie d'étudier l'équilibre statique de l'arceau dans le *seul* mouvement de rotation  $R_{x_0}$  autour de l'axe  $(O, \vec{x}_0)$  (voir Document DR4) pour définir les lieux de contact galet/arceau pendant cette rotation et vérifier la précision de positionnement en prenant en compte les jeux. Le cahier des charges stipule en effet que le centre du faisceau d'ultrasons doit

être compris au maximum dans une sphère de 1 mm de diamètre par rapport au centre théorique.  
*Dans toute cette partie, sauf pour la question 2- 6, on considérera que l'arceau n'est pas incliné autour de  $(\mathbf{O}, \vec{y}_0)$  et que le problème est plan dans  $(\mathbf{O}, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ .*

Données et hypothèses :

On supposera les solides indéformables et les liaisons parfaites.

Le repère lié au bâti fixe et supposé galiléen est  $\mathbf{R}_0 (\mathbf{O}, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ .

O est le centre de tir théorique qui coïncide avec le centre de l'arceau.

L'arceau et la tête de traitement ont pour repère lié  $\mathbf{R}_1 (\mathbf{O}, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$ .

Pour le mouvement  $R_{x_0}$ , (voir documents DR4, DR 9 figures (a) et (b)), on définit  $\theta_x$  :

$$\widehat{(\vec{y}_0, \vec{y}_1)} = \widehat{(\vec{z}_0, \vec{z}_1)} = \theta_x \quad ; \quad \vec{x}_0 = \vec{x}_1.$$

Par construction du lithotriteur,  $\theta_x \in [-25^\circ, 25^\circ]$ .

Le centre de gravité  $\mathbf{G}$  de l'ensemble arceau et tête de traitement a pour vecteur position dans

$$\mathbf{R}_1 : \overrightarrow{\mathbf{OG}} = -L \cdot \vec{y}_1 - L \cdot \vec{z}_1 \quad \text{avec } L = 100 \text{ mm.}$$

La masse totale est  $M_{\text{Arceau} + \text{Tête}} = 240 \text{ kg}$ .

L'accélération de la pesanteur s'écrit :  $\vec{g} = -g \cdot \vec{z}_0$  avec  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ .

On définit les rayons de roulement intérieurs et extérieurs possibles des galets sur l'arceau :

$$R_{\text{Int}} = 558 \text{ mm} \quad \text{et} \quad R_{\text{Ext}} = 650 \text{ mm} \quad (\text{Document DR4}).$$

On donne : Angle de repérage du pignon d'entraînement :  $\beta = 13^\circ$ ,

Angle de repérage des galets :  $\delta = 21^\circ$ .

Questions :

**2- 1** Dans cette question, on s'intéresse à l'équilibre statique de l'arceau. Le problème est considéré plan dans  $(\vec{y}_0, \vec{z}_0)$ . On suppose dans un premier temps que le contact galet/arceau s'effectue bilatéralement aux points  $I_1$  et  $I_2$ . L'action du pignon d'entraînement sur l'arceau  $\vec{F}_3$  sera supposée ponctuelle au point  $I_3$  situé sur le rayon intérieur  $R_{\text{Int}}$  et repéré par l'angle  $\beta$ .

$$\vec{F}_3 \text{ est repérée par l'angle de contact } \gamma : \quad \gamma = \widehat{(\vec{y}_0, \vec{F}_3)} \quad (\text{Document DR4}).$$

Déterminer les actions de contact Galet/arceau  $F_1$ ,  $F_2$  et pignon/arceau  $F_3$  aux points  $I_1, I_2, I_3$  de manière littérale en fonction des données du problème.

- 2- 2** On suppose que l'action de contact  $\vec{F}_3$  évolue entre deux valeurs limites de  $\gamma$  :  $\gamma_1$  et  $\gamma_2$  avec  $\gamma_1 = 45^\circ$  et  $\gamma_2 = 77^\circ$ . Tracer les courbes représentant l'évolution des efforts de contact  $F_1$  et  $F_2$  en fonction de  $\theta_x$  ( $\theta_x \in [-25^\circ, 25^\circ]$ ) pour  $\gamma = \gamma_1$  et  $\gamma = \gamma_2$ .
- 2- 3** Dédurre des résultats de la question précédente les points de contact réels durant la rotation  $R_{x_0}$ . Compte-tenu des jeux existants dans le mécanisme, le guidage de l'arceau est-il correct ?
- 2- 4** On suppose que si l'arceau est en appui au niveau des points  $I_1$  et  $I_2$ , le centre de tir coïncide avec  $O$ . Les galets ont un diamètre de 90 mm, ce qui fait que le jeu de fonctionnement galet/arceau est de 2 mm. Suivant les points de contact réels (question 2.3), ce jeu peut générer un basculement initial de l'arceau et produire un décalage du centre de tir qui ne coïncide plus avec le centre théorique  $O$ . La nouvelle position du centre de tir sera notée  $O'$ . À partir des données géométriques du problème, déterminer à partir d'une étude trigonométrique simple les composantes du vecteur  $\vec{OO'} = \Delta_{y_0} \cdot \vec{y}_0 + \Delta_{z_0} \cdot \vec{z}_0$  dans le cas où  $\theta_x = 0$ .

**2- 5** Calculer numériquement  $\Delta_{z_0}$ . La réponse sera donnée en mm.

- 2- 6** On ne considère à présent que le cas dans lequel le système est positionné de telle façon que  $\theta_x = 0$  et que dans cette configuration, une rotation nommée  $R_{y_0}$  est réalisée. Pour ce mouvement particulier  $R_{y_0}$ , on définit  $\theta_y$  :

$$\widehat{(\vec{x}_0, \vec{x}_1)} = \widehat{(\vec{z}_0, \vec{z}_1)} = \theta_y \quad ; \quad \vec{y}_0 = \vec{y}_1$$

Dans ce cas où  $\theta_x = 0$  :  $\vec{x}_1 = \vec{x}'_1, \vec{y}_1 = \vec{y}'_1, \vec{z}_1 = \vec{z}'_1$  et  $\theta_y = \theta'_y$ , (voir documents DR 9 figure (a) et DR10 figure (a)). Par construction du lithotriteur, on a :  $\theta_y \in [-25^\circ, 25^\circ]$ . On supposera que lors de la rotation  $R_{y_0}$  les points de contact trouvés à la question 2.3 ne changent pas. Le centre de tir après basculement initial  $O'$  se déplace. Pour  $\theta_y = +25^\circ$ , déterminer les composantes du vecteur

$$\vec{OO'} = \Delta_x \cdot \vec{x}_0 + \Delta_y \cdot \vec{y}_0 + \Delta_z \cdot \vec{z}_0 .$$

**2- 7** Calculer numériquement  $\Delta_x$ . La réponse sera donnée en mm.

2- 8 Les valeurs obtenues questions 2- 5 et 2- 7 satisfont-elle au cahier des charges en terme de précision de positionnement ? Quelle disposition constructive (plan DT1) a été adoptée par le concepteur pour augmenter la précision de positionnement ?

### 3. Étude de résistance des matériaux.

#### Objectif :

Le centre du faisceau d'ultrasons devant être compris dans une sphère de 1 mm de diamètre par rapport au centre théorique, on cherche dans cette partie du problème à quantifier l'influence des déformations de la structure sur la précision du tir. Le premier problème se rapporte à l'étude de la flexion de l'arbre permettant la rotation  $R_{y_0}$ . Le second problème concerne l'étude de la déformation de l'arceau. *Dans les deux problèmes de résistance des matériaux, des notations et repères spécifiques indépendants des autres parties du sujet sont utilisés.*

#### Premier Problème :

##### Données et hypothèses pour l'étude de la déformation de flexion de l'axe $R_{y_0}$ :

L'arbre repère 7 document DT5 qui permet la rotation  $R_{y_0}$  est en acier ( $E = 220$  GPa). Il est guidé par deux roulements rigides à bille montés sans précontrainte. Cet arbre est modélisé par une poutre droite de section circulaire constante de diamètre 60 mm reposant sur deux appuis appelés ici F et G (figure 1). La section H correspond à la section d'encastrement du boîtier porte-arceau. Dans ce premier problème, l'objectif est de quantifier l'influence de la déformation de l'arbre de guidage sur la précision de positionnement du centre de tir, aussi, *seule la flexion de l'arbre est considérée et la modélisation figure 1 est retenue.*

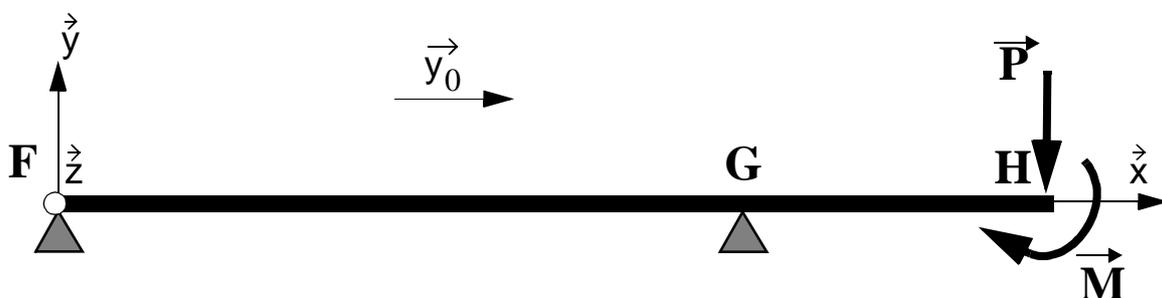


Figure N° 1 : Modélisation poutre de l'arbre 7.

Dans cette modélisation, la poutre est considérée rotulée en F et en simple appui en G. Le repère local défini figure n°1,  $(F, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$  est utilisé. Les coordonnées des différents points sont :

F(0,0,0), G(300, 0,0), H (430, 0, 0) en mm.

Le torseur des efforts exercés par l'ensemble boîtier + arceau + tête sur l'arbre, exprimés en N

et N.mm au point de réduction H s'écrit : 
$$\begin{pmatrix} \vec{P} \\ \vec{M} \end{pmatrix}_H = \begin{pmatrix} -2400 \cdot \vec{y} \\ -1700 \times 10^3 \cdot \vec{z} \end{pmatrix}_H.$$

Questions :

- 3- 1 Tracer le diagramme du moment fléchissant et de l'effort tranchant le long de la poutre.
- 3- 2 Déterminer l'équation de la déformée. On négligera la déformée due à l'effort tranchant.
- 3- 3 Calculer en minutes d'arc le déplacement angulaire au niveau des roulements en F et G. Les valeurs obtenues sont-elles compatibles avec le rotulage admissible de roulements rigides à billes ?
- 3- 4 Calculer la flèche et le déplacement angulaire de la section H. Sachant que les coordonnées du centre de tir O théorique dans le repère spécifique  $(F, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$  utilisé dans ce premier problème est O (1150,0,0) en mm, en supposant que seul l'axe est déformable, exprimer le déplacement du centre de tir. Les valeurs obtenues sont-elles compatibles avec le cahier des charges en terme de précision de positionnement ?

Deuxième Problème :

Données et hypothèses pour l'étude de la déformation de l'arceau :

Dans cette modélisation très simplifiée, l'arceau est représenté par une poutre circulaire encastrée au niveau du galet inférieur et soumis au point T au poids de la tête de traitement seule de masse  $M_T$  (voir Document DR5). Le poids de l'arceau lui-même est négligé.

Le repère global de l'arceau utilisé dans ce deuxième problème est noté  $(O, \vec{u}, \vec{v}, \vec{w})$ .

Le repère local de la section courante est noté  $(G, \vec{x}_1, \vec{x}_2, \vec{x}_3)$ .

Le centre de la section courante repérée par l'angle  $\theta$  avec  $\theta = \widehat{(-\vec{v}, -\vec{x}_2)}$  est noté G(s) où s est l'abscisse curviligne de la ligne moyenne de la poutre.

Le rayon moyen  $R_G$  vaut 604 mm. La masse de la tête de traitement notée  $M_T$  est de 160 kg.

L'accélération de la pesanteur est  $\vec{g} = 9,81 \cdot \vec{u}$ .

La matière dont est constitué l'arceau a pour Modules d'Young  $E = 72 \text{ GPa}$  et coefficient de Poisson  $\nu = 0,3$ . Sa limite élastique est  $R_{p0,2} = 150 \text{ MPa}$ .

L'aire de la section droite de l'arceau sera noté  $S$  et son coefficient de section réduite  $k$  vaut  $k = 1,1$ . Le moment quadratique de la section par rapport à l'axe  $(G, \vec{x}_3)$  sera noté  $I_3$ . Les dimensions et la forme géométrique sont fournis document DR5.

Du fait des symétries, le problème pourra être étudié comme un problème plan dans le plan  $(G, \vec{x}_1, \vec{x}_2)$  (voir document DR5). On donne :  $\theta_1 = 21^\circ$ ,  $\theta_2$  varie de  $65^\circ$  à  $115^\circ$ .

Questions :

- 3-5** Exprimer le torseur des efforts de cohésion dans le repère local  $(G, \vec{x}_1, \vec{x}_2, \vec{x}_3)$ . Compte-tenu des symétries, seuls l'effort normal, l'effort tranchant et le moment de flexion seront considérés.
- 3-6** Pour vérifier le dimensionnement de l'arceau, on considérera le cas où l'angle  $\theta_2$  donne le moment de flexion maximal. Pour ce cas :
- Déterminer les contraintes normales dans une section courante.
  - Déterminer les contraintes de cisaillement (on supposera celles-ci constantes et reprises uniquement par le voile vertical de l'arceau (voir Document DR5)).
  - Pour vérifier le dimensionnement, on utilisera la contrainte équivalente au sens de Von Mises qui s'écrit en R.D.M. de façon simple :  $\sigma_{Eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$ . Déterminer la section et le ou les points de la section où cette contrainte équivalente est maximale.
  - Calculer la valeur de cette contrainte équivalente maximale. Le résultat sera exprimé en MPa.
- 3-7** Déterminer la rotation de la section au point T,  $\omega(T)$ , en fonction des données du problème.
- 3-8** Déterminer le déplacement vertical du point T,  $u(T)$ , en fonction des données du problème.
- 3-9** Faire les applications numériques pour  $\theta_2 = 65^\circ$  et  $115^\circ$ . Vous donnerez votre réponse en mm.

- 3- 10** Déduire des résultats précédents le déplacement du centre de tir, en supposant la tête encastree en T, pour les deux valeurs de  $\theta_2$ . Quelles conclusions technologiques pouvez-vous en déduire ?
- 3- 11** Une modélisation éléments finis du problème à l'aide d'éléments volumiques a été réalisée (document DR6). Les conditions aux limites imposées à l'arceau sont un blocage des trois composantes en déplacement sur les lignes de noeuds  $L_1$  et  $L_2$  correspondant aux appuis des galets. Le poids de la tête est représenté par une force nodale verticale en T. Le champ des contraintes équivalentes de Von Mises est fourni document DR7.
- a) Justifier la localisation du point de contrainte maximale. Vu la modélisation effectuée, la valeur de la contrainte obtenue en ce point est-elle valide ?
- b) Pour la zone où le calcul R.D.M. a été effectué (question 3.6 d), comparer les résultats obtenus par ces deux modélisations et justifier leurs correspondances ou différences.
- 3- 12** Les résultats en déplacement suivant la verticale descendante du modèle éléments finis déjà présenté document DR6 sont fournis document DR8. Sachant que le déplacement vertical du point T calculé par le modèle R.D.M. est d'environ 0,5 mm, expliquer les origines des écarts entre les deux modélisations du problème réel.
- 3- 13** Au bilan des résultats des deux problèmes traités, quelles conclusions en déduisez vous relativement au respect du cahier des charges en terme de précision de positionnement ? Proposer des solutions technologiques.

## 4. Etude Dynamique.

### Objectif :

On cherche dans cette étude à vérifier le dimensionnement des actionneurs des mouvements  $R_{x_0}$  (Premier problème) et  $R_{y_0}$  (Deuxième problème).

### Données et hypothèses générales (documents DR9 et DR10) :

On supposera les solides indéformables et les liaisons parfaites.

Le repère lié au bâti fixe et supposé galiléen est  $\mathbf{R}_0$  ( $O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0$ ).

La masse totale est  $M_{\text{Arceau+tête}} = 240 \text{ Kg}$ . L'accélération de la pesanteur s'écrit :  $\vec{g} = -9,81 \cdot \vec{z}_0$

## Premier Problème :

Données et hypothèses particulières pour l'étude de la rotation  $R_{x_0}$ :

L'arceau et la tête de traitement ont pour repère lié  $R_1 (O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$ .

Le centre de gravité  $G$  de l'ensemble arceau et tête de traitement a pour vecteur position dans

$$R_1 : \vec{OG} = -L \cdot \vec{y}_1 - L \cdot \vec{z}_1 \text{ avec } L = 100 \text{ mm.}$$

Pour le mouvement  $R_{x_0}$ , (voir document DR 9 figures (a) et (b)), on définit  $\theta_x$  :

$$\widehat{(\vec{y}_0, \vec{y}_1)} = \widehat{(\vec{z}_0, \vec{z}_1)} = \theta_x \quad ; \quad \vec{x}_0 = \vec{x}_1.$$

Par construction du lithotriteur,  $\theta_x \in [-25^\circ, 25^\circ]$ .

La motorisation du mouvement  $R_{x_0}$  de l'arceau se fait par un motoréducteur à vis sans fin de rendement mécanique  $\eta = 0,55$ , de rapport de réduction  $r_1 = + 1/171$  et par un entraînement pignon/chaîne de rapport  $r_2 = - 10/174$  supposé de rendement 1.

Les rotations des axes des trois sous-ensembles seront notées respectivement  $\theta_{\text{Moteur}}$ ,  $\theta_{\text{Réducteur}}$  et  $\theta_x$ .

Les moments d'inertie des trois sous-ensembles sur leurs axes de rotation respectifs (visibles Document DR9, figure (b)) sont :

- $J_{\text{Moteur}} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ kg.m}^2$ .
- $J_{\text{Réducteur}} = 4,8 \cdot 10^{-5} \text{ kg.m}^2$ .
- $J_{\text{X Sous-ensemble Arceau}} = 87,6 \text{ kg.m}^2$ .

Dans ce premier problème, on considère le seul mouvement  $R_{x_0}$  dans le plan  $(O, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ .

### Questions :

- 4- 1** Déterminer l'inertie équivalente du système ramené sur l'axe moteur  $J_{\text{X Equivalente}}$ .  
Faire l'application numérique.
- 4- 2** En utilisant le théorème de l'énergie cinétique, déterminer le couple moteur en fonction des données du problème.
- 4- 3** Le cahier des charges impose une accélération de l'arceau  $\ddot{\theta}_x = 20^\circ \cdot \text{s}^{-2}$ . En se plaçant dans la configuration de fonctionnement la plus défavorable, déterminer le couple moteur nécessaire pour obtenir cette accélération.

4- 4 Le moteur SNT P5 XS 20 choisi pour ce mouvement possède une puissance de 100 W supposée constante. Permet-il d'obtenir cette accélération ?

### Deuxième Problème :

#### Mise en place préliminaire de l'arceau :

Dans la réalité, le praticien effectue d'abord une rotation  $R_{x_0}$  autour de l'axe  $(O, \vec{x}_0)$  définie dans le premier problème. Pour effectuer le dimensionnement de la motorisation de l'axe  $R_{y_0}$ , on considérera que l'angle  $\theta_x = + 25^\circ$ .

4- 5 Justifier le fait que la configuration géométrique la plus défavorable pour le dimensionnement de la motorisation  $R_{y_0}$  soit la position sortie  $\theta_x = + 25^\circ$ . Déterminer les nouvelles coordonnées de G dans le repère  $(\vec{y}_0, \vec{z}_0)$ . On pose  $\vec{OG} = -a \cdot \vec{y}_0 - h \cdot \vec{z}_0$ . Faire l'application numérique, le résultat sera exprimé en mm.

#### Données et hypothèses particulières pour l'étude de la rotation $R_{y_0}$ :

L'arceau et la tête de traitement ont pour repère lié  $R'_1 (O, \vec{x}'_1, \vec{y}'_1, \vec{z}'_1)$ .

Le centre de gravité G de l'ensemble arceau et tête de traitement dans la position définie question 4- 5 a pour vecteur position dans  $R'_1$  :  $\vec{OG} = -a \cdot \vec{y}'_1 - h \cdot \vec{z}'_1$  avec a et h déterminés question 4- 5.

Pour le mouvement  $R_{y_0}$  (voir documents DR 9 figure (a) et DR10 figure (a)), on définit  $\theta'_y$  :

$$\widehat{(\vec{x}_0, \vec{x}'_1)} = \widehat{(\vec{z}_0, \vec{z}'_1)} = \theta'_y \quad ; \quad \vec{y}_0 = \vec{y}'_1.$$

Par construction du lithotriteur,  $\theta'_y \in [-25^\circ, 25^\circ]$ .

Dans le cadre d'un projet de reconception, on suppose que la motorisation du mouvement  $R_{y_0}$  de l'arceau est assurée par un vérin électrique bi-rotulé en B et C et le bras de levier AB tel que

$$\vec{AB} = d \cdot \vec{x}'_1 \text{ avec } d = 150 \text{ mm (voir document DR10 figure (b)).}$$

Le déplacement de la tige du vérin est noté  $\lambda$ , compté positivement lorsque sa projection sur  $(O, \vec{z}_0)$  est positive. Pour  $\theta'_y = 0$ ,  $\lambda = 0$ .

Le moment d'inertie de l'ensemble boîtier porte-arceau + arceau + tête en position  $\theta_x = + 25^\circ$  sur l'axe de rotation  $(O, \vec{y}_0)$  est noté :  $J_{Y_{\text{Ensemble boîtier, arceau, tête}}} = 36,3 \text{ kg.m}^2$ . L'inertie du vérin est négligée devant celle de l'ensemble boîtier-arceau-tête.

- 4- 6** À l'aide de la figure (b) du document DR10, déterminer en remarquant que  $BC \gg AB$  et en précisant les hypothèses, une relation géométrique approchée simple entre  $\lambda$ ,  $d$  et  $\theta'_y$ .
- 4- 7** En utilisant le théorème de l'énergie cinétique, déterminer l'effort du vérin noté  $F_v$ , compté positivement quand la tige sort, en fonction des données du problème.
- 4- 8** Le cahier des charges impose une accélération de l'arceau:  $\ddot{\theta}'_y = 20^\circ \cdot \text{s}^{-2}$ . En se plaçant dans la configuration de fonctionnement la plus défavorable, déterminer l'effort que doit fournir le vérin pour obtenir cette accélération.
- 4- 9** Le vérin électrique choisi développe un effort de 4000 N. Ce choix permet-il d'obtenir cette accélération ? Quelle conséquence peut avoir le dimensionnement choisi pour l'utilisateur ?

## 5. Etude de reconception :

### Objectif :

Après une analyse de la valeur du lithotriteur, on souhaite réduire le nombre de types de composants qui motorisent les différents mouvements et augmenter le service rendu aux médecins. On va donc remplacer le moto-réducteur assurant la rotation selon  $Y_0$  de l'arceau, par un vérin électrique semblable à ceux utilisés pour les translations.

### Nouvelles fonctions techniques à assurer :

- Avoir la possibilité de régler la position angulaire de l'arceau par rapport au bâti avec la précision requise.
- Réaliser les mouvements tels qu'ils sont décrits dans le dossier technique.

Question :

- 5- 1** Proposer sous forme d'un schéma d'architecture et de dessins de prédimensionnement, à main levée, des solutions constructives des liaisons permettant de remplacer le moto-réducteur noté 40 sur le document DT5, par un vérin électrique à choisir dans l'extrait de catalogue donné dans le Dossier Ressources (documents DR11 et DR12).

## 6. Exercice pédagogique

Finalités :

On se propose lors de l'étude de différents systèmes techniques (dont celles du LITHOTRITEUR) d'analyser les dispositions constructives existantes, pour la réalisation de guidage en rotation par éléments roulants.

Niveau d'enseignement concerné :

BTS Conception de Produits Industriels.

Capacités concernées par le travail demandé en BTS CPI :

- **Capacité (analyser) C2-3 :** analyser une solution technique ;

On demande d'analyser le comportement mécanique d'un système, c'est-à-dire, en autonomie de :

- représenter un schéma de la solution,
- justifier les solutions constructives,
- analyser la valeur du produit,
- évaluer les performances.

- **Capacité (imaginer) C3-1 :** Imaginer des solutions techniques.

- **Capacité (représenter) C3-2 :** Représenter des principes, des architectures, des solutions constructives.

- **Capacité (choisir) C3-3 :** Choisir une solution technique.

- **Capacité (calculer, vérifier, évaluer) C4-1 :** Dimensionner et spécifier les composants du produit.

Documents de référence :

Plan du sous-ensemble assurant la rotation de l'arceau selon  $Y_0$ , sur le document DT5.

**Remarque :**

Le candidat devra imaginer d'autres documents que ceux présents dans le sujet. Il en précisera la nature et le contenu.

Travail demandé :

Le travail demandé est relatif à une activité pédagogique de travail dirigé dont l'objectif général est de permettre à l'étudiant d'être capable de schématiser et d'analyser les systèmes techniques utilisant des guidages en rotation par éléments roulants et de préciser leur architecture.

La démarche retenue est celle qui, à partir de différents mécanismes que vous présenterez, permet de dégager des principes généraux de fonctionnement. Le travail dirigé proposé s'appuie sur l'un de ces cas.

On demande :

**6- 1** D'analyser le contenu à enseigner et donc de définir précisément :

- les caractéristiques à choisir lorsque l'on conçoit un guidage en rotation par éléments roulants, en les nommant. Par exemple, le contact ponctuel ou le contact linéique entre les éléments roulants et les bagues est une de ces caractéristiques ;
- les choix possibles de solutions existantes relativement à chacune des caractéristiques précédentes, par des schémas ou des croquis ;
- les outils d'évaluation des conséquences de ce choix sur les caractéristiques du guidage.

**6- 2** De dégager et de décrire, pour le travail dirigé proposé, le ou les objectifs opérationnels s'inscrivant dans l'objectif général précisé ci-dessus.

**6- 3** De décrire la situation initiale (les capacités initiales).

**6- 4** De définir les connaissances nouvelles et la méthode à acquérir lors de la séquence, et d'identifier les difficultés prévisibles des étudiants.

**6- 5** De décrire les supports techniques utilisés, les outils et les moyens pédagogiques (matériels et/ou logiciels).

**6- 6** De décrire le déroulement de la séquence en précisant le mode d'évaluation des connaissances acquises.

## CONCOURS INTERNE DE RECRUTEMENT DE PROFESSEURS AGREGES

SESSION 2003

### ELEMENTS DE CORRIGE DE LA PREMIERE EPREUVE DE MECANIQUE

#### 1. Etude fonctionnelle du lithotriteur

##### 1- 1 Chaîne cinématique de la rotation de l'arceau selon Yo.

*L'arbre de sortie du moteur 40 est lié le pignon 37 qui entraîne la courroie crantée 46 qui entraîne la poulie réceptrice 38. L'arbre de cette poulie donne son mouvement de rotation au frein 41 qui entre ce mouvement sur le réducteur à roue déformable (Harmonic drive) 47. Le mouvement sort sur le plateau 9 qui entraîne l'arbre 7 par une clavette 66. L'arbre 7 est lié à l'arceau.*

*Remarque : chaîne cinématique pour la rotation de l'arceau autour de Xo.*

*Sur les documents DT1 et DT2, on peut observer que les composants qui assurent la rotation de l'arceau autour de Yo sont :*

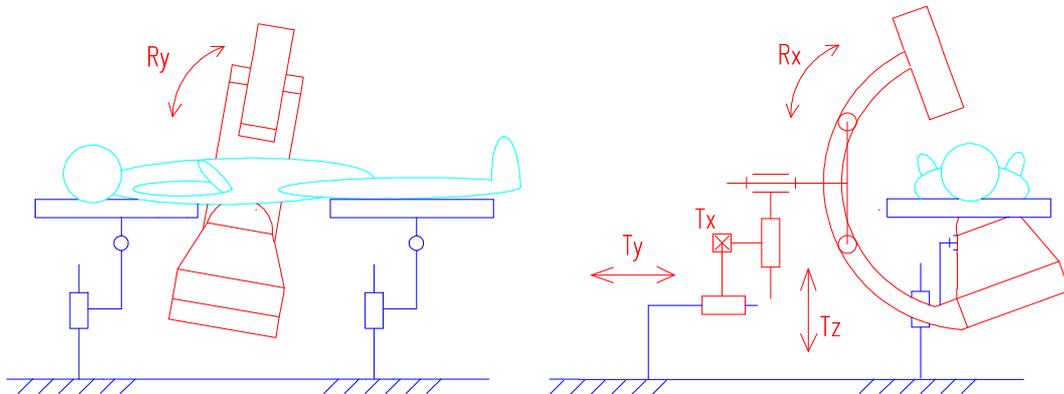
*Pour l'entraînement : le motoréducteur 30 qui entraîne le pignon 12 et son symétrique. Ces pignons engrènent sur deux chaînes, fixées sur l'arceau (voir DT3) et assurent ainsi le mouvement de l'arceau par rapport au boîtier 2.*

*Pour le guidage : les galets plats 5 et coniques 6 (quatre de chaque type) qui guide l'arceau par rapport au boîtier 2, support des galets.*

##### 1- 2 Chaîne cinématique des translations.

*Sur les figures 6 et 7 du dossier technique, on constate que les translations sont animées par des vérins électriques du type de ceux donnés dans les DR11 et DR12. Les guidages des translations sont assurés par des douilles à billes comme celles figurées sur le DT4.*

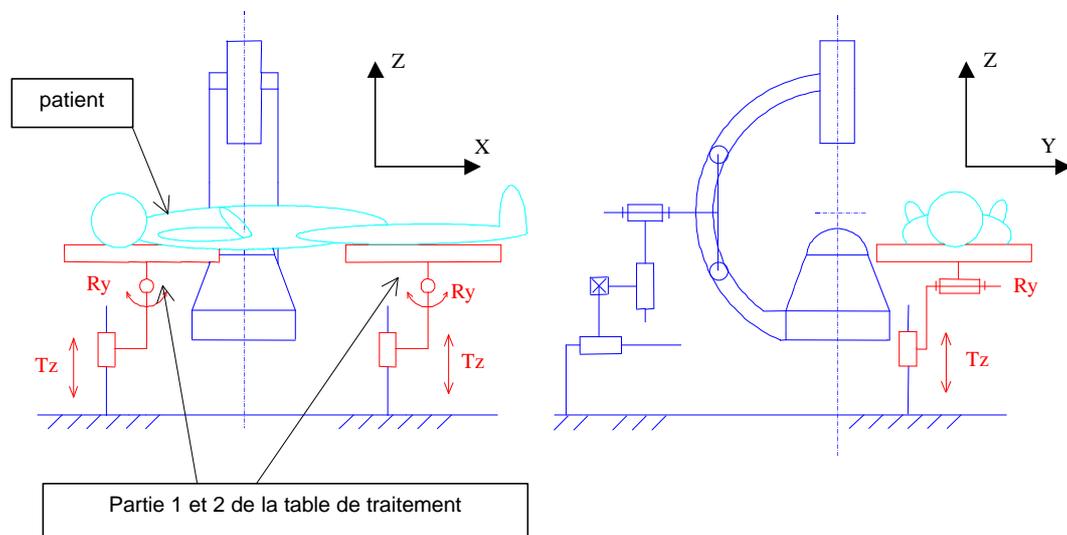
### 1- 3 Schéma cinématique minimal du lithotriteur.

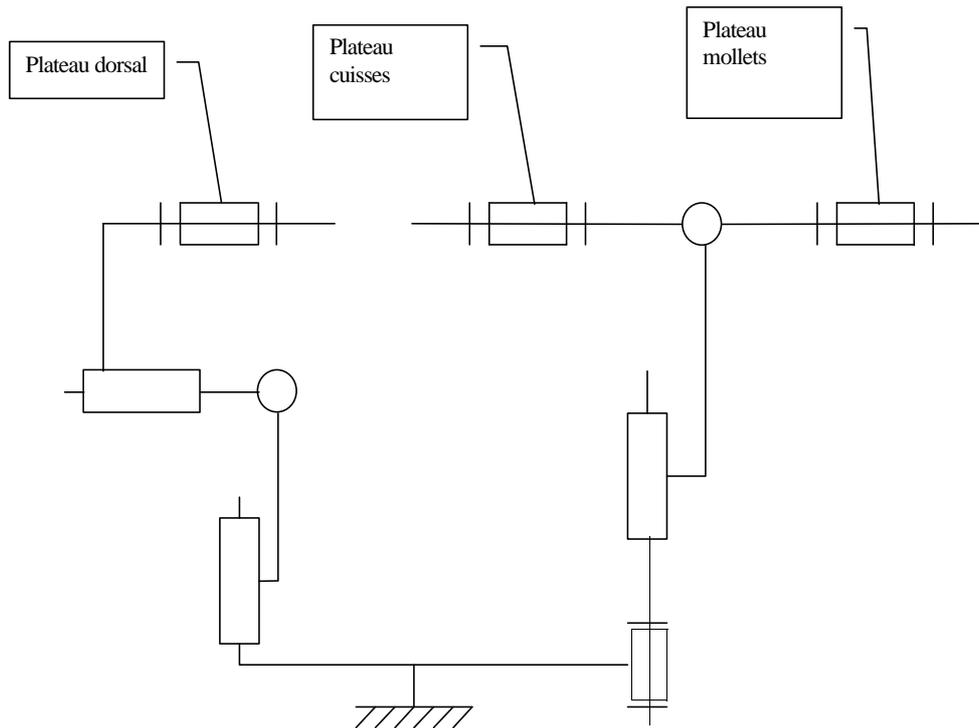


Les contacts au niveau des galets de guidages et des pignons d'entraînement de l'arceau sont simplifiés.  
On peut remplacer ces contacts par une pivot équivalente.

### 1- 4 Schéma cinématique minimal des tables de maintien.

Les translations horizontales sont guidées par des roues entre les supports des tables et le sol

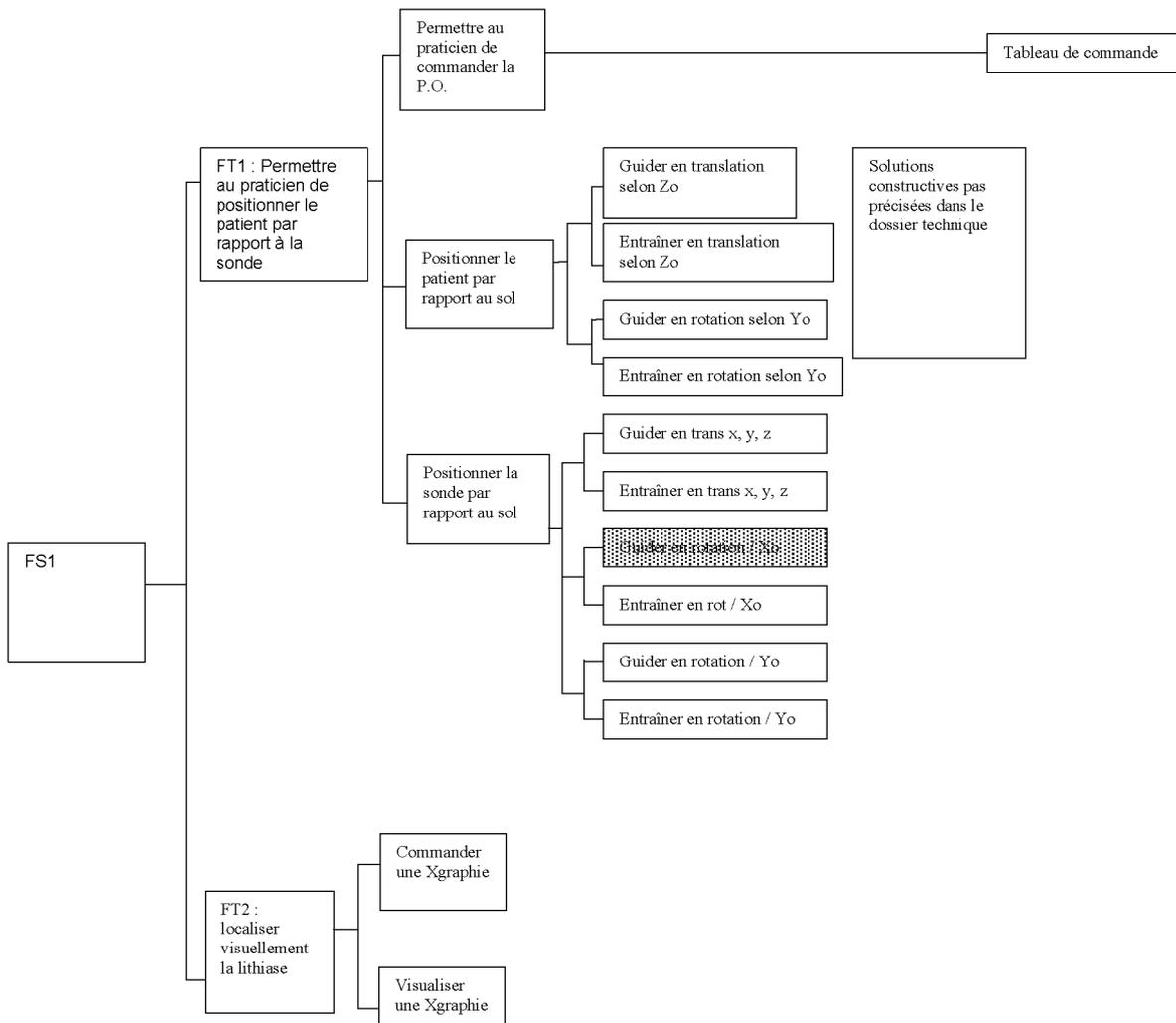


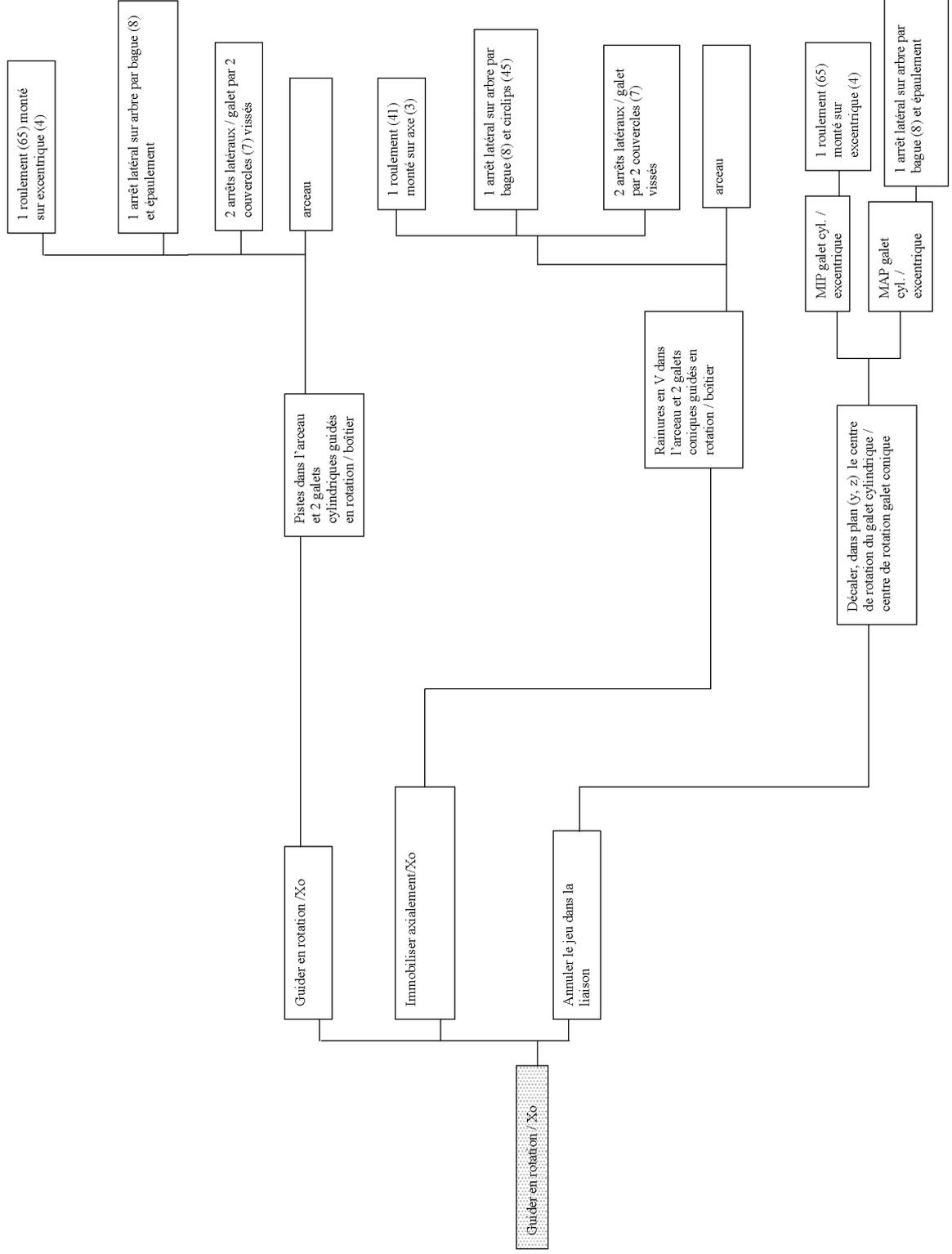


*Remarque : les plateaux cuisses et mollets sont chacun en liaison pivot d'axe perpendiculaire à la feuille mais on ne peut pas le représenter en projection orthogonale.*

### 1- 5 Diagramme FAST de la fonction FT2

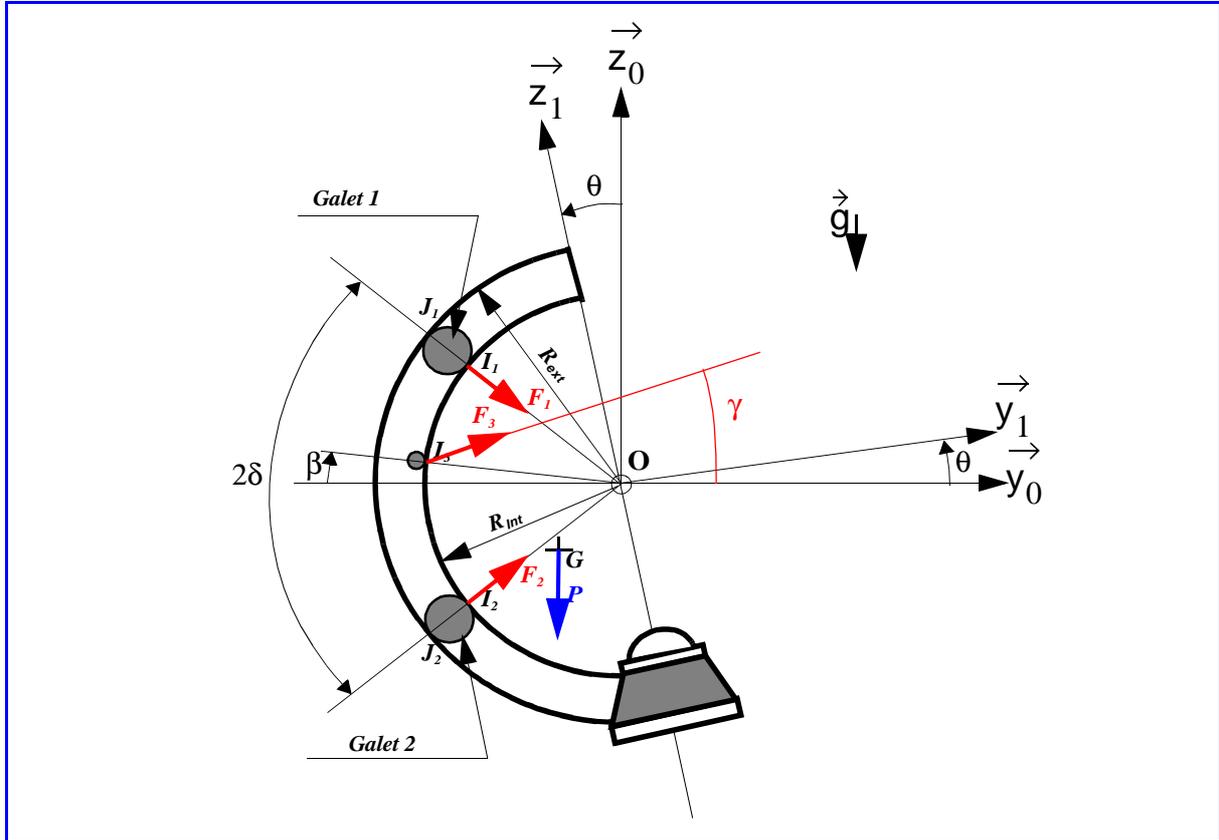
*Cette question, comme celles de cette partie, vise à évaluer la maîtrise des outils de description des systèmes industriels. Le but est de détruire les lithiases. La fonction FT1 est « positionner le patient ». Cela signifie, étant donné les structures matérielles « permettre au praticien de positionner la sonde par rapport au patient ». Le détail des réalisations matérielles n'est pas entièrement fourni, volontairement. La fonction FT2 est « localiser visuellement la lithiase ». Elle se décompose en une sous-fonction de positionnement de la sonde par rapport à la lithiase, donc au patient et au sol ; et une sous-fonction de visualisation. Le diagramme suivant n'est pas complet. La réalisation matérielle de certaine sous-fonction est détaillée complètement, d'autres pas.*





## 2. Étude géométrique et statique :

### 2-1 Équilibre statique de l'arceau.



On isole l'ensemble arceau : il s'exerce les efforts des galets  $F_1$  et  $F_2$  portés par la normale au contact et dirigés vers  $O$ , le poids  $P$  en  $G$  et l'action du pignon en  $I_3$ ,  $F_3$ .  $F_1$ ,  $F_2$  et  $F_3$  sont inconnues. L'équilibre statique s'écrit :

$$\text{Sur } y_0 : (F_1 + F_2) \cdot \cos \delta + F_3 \cdot \cos \gamma = 0 \quad [1]$$

$$\text{Sur } z_0 : (-F_1 + F_2) \cdot \sin \delta + F_3 \cdot \sin \gamma - mg = 0 \quad [2]$$

L'équation de moment autour de  $O$  fournit la troisième équation :

$$Lmg \cdot (\cos \theta - \sin \theta) - R_i \cdot F_3 \cdot \sin(\beta + \gamma) = 0 \quad [3]$$

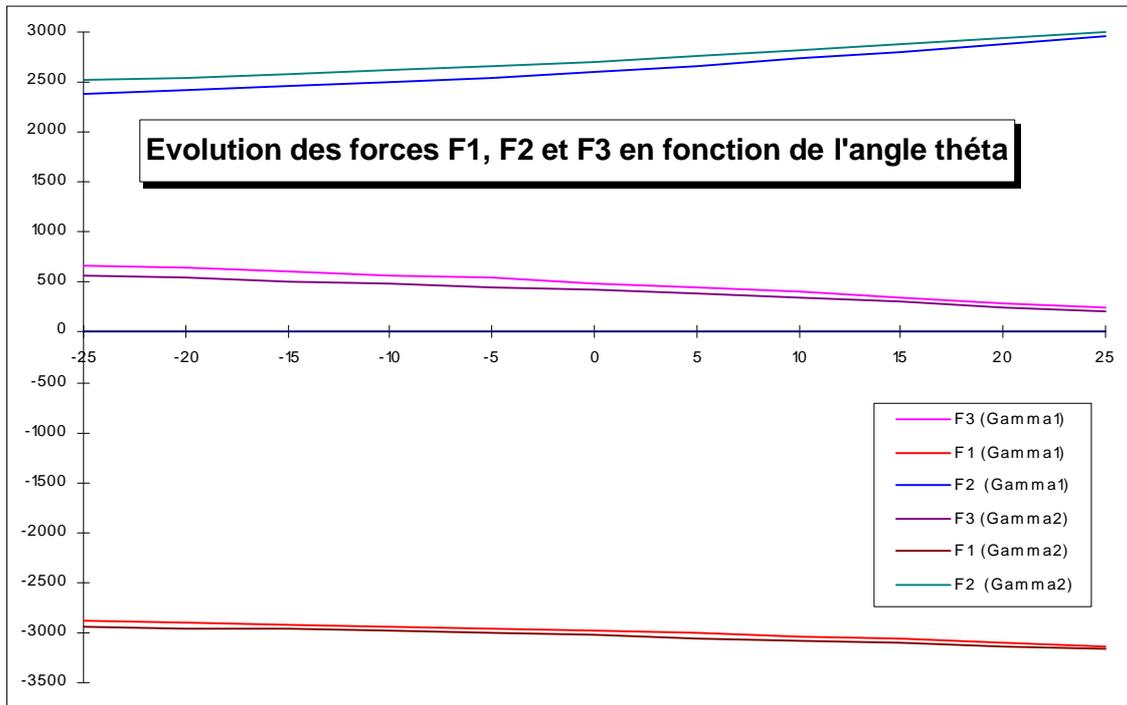
La résolution donne :

$$[3] \implies F_3 = \frac{Lmg \cdot (\cos \theta - \sin \theta)}{R_i \cdot \sin(\beta + \gamma)}$$

$$[1]/\cos \delta + [2]/\sin \delta \implies F_2 = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{m \cdot g}{\sin \delta} - F_3 \cdot \left( \frac{\cos \gamma}{\cos \delta} + \frac{\sin \gamma}{\sin \delta} \right) \right)$$

$$[1]/\cos \delta - [2]/\sin \delta \implies F_1 = \frac{1}{2} \cdot \left( -\frac{m \cdot g}{\sin \delta} - F_3 \cdot \left( \frac{\cos \gamma}{\cos \delta} - \frac{\sin \gamma}{\sin \delta} \right) \right)$$

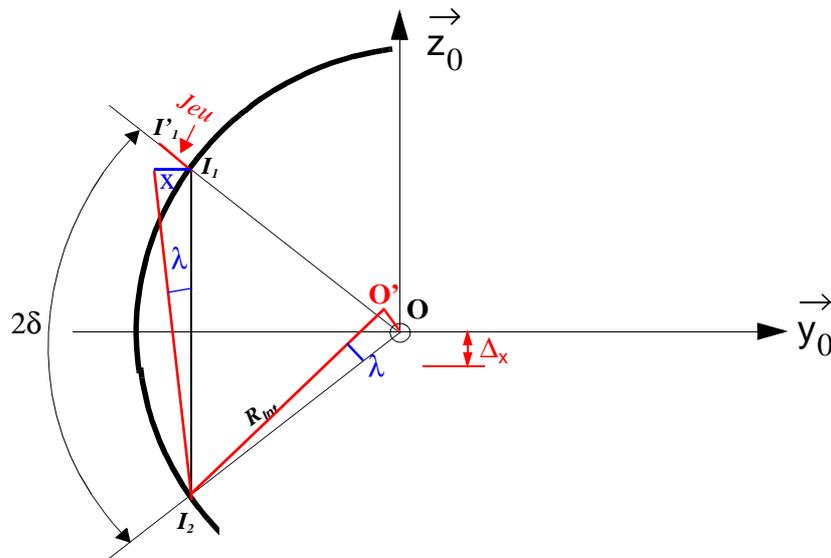
**2- 2** Tracé des courbes représentant l'évolution des efforts de contact  $F_1$  et  $F_2$  en fonction de  $\theta_x$  ( $\theta_x \in [-25^\circ, 25^\circ]$ ) pour  $\gamma = \gamma_1$  et  $\gamma = \gamma_2$ .



**2- 3** Points de contact réels.

Le contact galet/arceau s'effectue pour les galets 1 sur la piste extérieure ( $F1 < 0$ ) en  $J_1$  et pour les galets 2 en  $I_2$  ( $F2 > 0$ ). Il n'y pas de changement de signe pendant la rotation de  $-25^\circ$  à  $+25^\circ$  donc pas de basculement intempestif dans le jeu et le fonctionnement est correct.

**2- 4** Décalage du centre de tir.



On suppose que le déplacement du point de contact  $I_1$  se fait suivant la direction  $OI_1$ .  
 $X/\text{Jeu} = \cos\delta = \cos 21^\circ$ , si on appelle  $\lambda$  la rotation de solide de l'arceau autour de  $I_2$ , il vient :  
 $\tan\lambda = X/2 \cdot R_{\text{int}} \cdot \sin\delta = \text{Jeu} \cdot \cos\delta / 2 \cdot R_{\text{int}} \cdot \sin\delta$ , d'où :

$$\tan\lambda = \frac{\text{Jeu}}{2 \cdot \tan\delta \cdot R_{\text{int}}} = \frac{2}{2 \cdot \tan 21 \cdot 558} = 4,668 \times 10^{-3} \approx \lambda$$

Pour le déplacement de  $O$ , il vient :

$$\overrightarrow{OO'} = \lambda \cdot \vec{x}_0 \wedge \vec{l}_2 \vec{O} = \lambda \cdot \vec{x}_0 \wedge (R_{\text{int}} \cdot \cos\delta \cdot \vec{y}_0 + R_{\text{int}} \cdot \sin\delta \cdot \vec{z}_0)$$

Soit :

$$\overrightarrow{OO'} = \Delta_{y_0} \cdot \vec{y}_0 + \Delta_{z_0} \cdot \vec{z}_0 = -\lambda \cdot R_{\text{int}} \cdot \sin\delta \cdot \vec{y}_0 + \lambda \cdot R_{\text{int}} \cdot \cos\delta \cdot \vec{z}_0$$

**2- 5** Calcul numérique de  $\Delta_{z_0}$  :  $\Delta_{z_0} = 2,43\text{mm}$

**2- 6** Cas de la rotation  $R_{y_0}$ .

On une rotation simple autour de  $y_0$ , il vient :

$$\overrightarrow{OO'} = \Delta_x \cdot \vec{x}_0 + \Delta_y \cdot \vec{y}_0 + \Delta_z \cdot \vec{z}_0 = \Delta_{z_0} \cdot \sin 25^\circ \cdot \vec{x}_0 + \Delta_{y_0} \cdot \vec{y}_0 + \Delta_{z_0} \cdot \cos 25^\circ \cdot \vec{z}_0$$

**2- 7** Calcul numérique de  $\Delta_x$  :  $\Delta_x = 2.43 * \sin 25^\circ = 1,027 \text{ mm}$

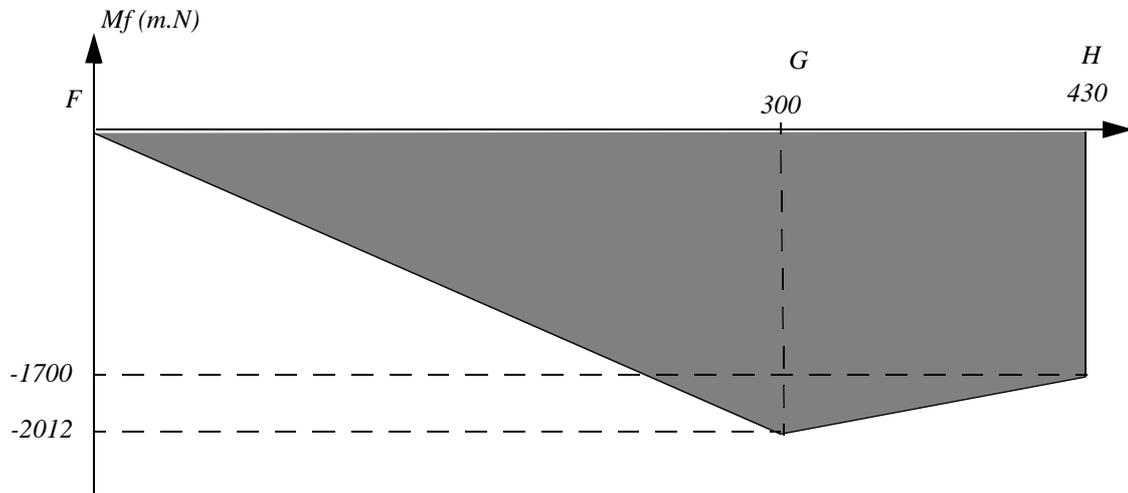
**2- 8** Discussion sur les valeurs obtenues.

Les valeurs de décalage obtenues ne satisfont pas au cahier des charges. Le réglage du jeu de fonctionnement se fait par 2 excentriques.

### 3. Étude de résistance des matériaux.

#### Premier Problème :

#### 3- 1 Tracer du diagramme du moment fléchissant .



Le calcul des réactions en F et G fournit :  $R_G = 9107 \text{ N}$  et  $R_F = -6707 \text{ N}$ . Le tracé du diagramme du moment tranchant est immédiat. Les expressions des moments fléchissants sont :

De F à G :  $M_f = + \text{à droite ou } - \text{ à gauche} = -(+x \cdot 6707) = -6707 \cdot x$

De G à H :  $M_f = M - P \cdot (430 - x) = -1700 \cdot 10^3 - 2400 \cdot 430 - 2400 \cdot -x = -2732000 + 2400 \cdot x$

#### 3- 2 Equation de la déformée (unités : mm et N).

On utilise la relation  $E.I.y'' = + M_f$

De F à G, il vient :  $E.I.y = -6707 \cdot x^3/6 + A \cdot x + B$

Les conditions aux limites imposent :

$$y(A) = y(0) = 0 \Rightarrow B = 0$$

$$y(B) = y(300) = 0 \Rightarrow A = + 6707 \cdot 300^2/6 = 100,6 \cdot 10^6.$$

De G à H, il vient :  $E.I.y = 2400 \cdot x^3/6 - 2732000 \cdot x^2/2 + C \cdot x + D.$

Les conditions aux limites imposent :

$$y(B) = y(300) = 0 ; y'(B) \text{ à gauche} = y'(B) \text{ à droite d'où} : C = + 510,385 \cdot 10^6 \text{ et } D = - 4,097 \cdot 10^{10}$$

On a  $E = 220 \text{ Gpa} = 220 \text{ 000 MPa}$  et  $I = \pi \cdot d^4/64 = \pi \cdot 60^4/64 = 636172 \text{ mm}^4.$

L'équation de la déformée s'écrit finalement :

$$\text{de A à B : } y = -7,9869 \cdot 10^{-9} \cdot x^3 + 7,187 \cdot 10^{-4} \cdot x$$

$$\text{de B à C : } y = 2,858 \cdot 10^{-9} \cdot x^3 - 9,76 \cdot 10^{-6} \cdot x^2 + 3,646 \cdot 10^{-3} \cdot x - 0,2927$$

#### 3- 3 Rotulage des roulements à billes :

A partir des pentes, il vient :  $y'(A) = y'(0) = 7,187 \cdot 10^{-4} \text{ rd} = 0,041^\circ = 2,47'$

$$y'(B) = y'(300) = -1,437 \cdot 10^{-3} \text{ rd} = -0,082^\circ = -4,94'$$

Les angles de rotulage classiques se situent entre 2 et 10', donc le choix effectué convient.

#### 3- 4 Calcul de la flèche et du déplacement angulaire de la section H puis calcul du déplacement du centre de tir.

Flèche en H :  $y(430) = -0.3 \text{ mm}$ . Rotation section de la section H :  $y'(430) = -3.16 \cdot 10^{-3} \text{ rd} = 0.181^\circ$

Le déplacement du centre de tir est un déplacement de solide qui s'écrit :  $\vec{U}(\text{O}) = \vec{U}(\text{H}) + \vec{\omega}(\text{H}) \wedge \vec{HO}$

Enfin le déplacement vertical du centre de tir est de 2.57 mm suivant la verticale. Ce déplacement est important et ne satisfait pas au cahier des charges. (En fait, il nécessite une calibration de l'appareil).

## Deuxième Problème :

**3- 5** Calcul du torseur des efforts de cohésion dans le repère local  $(\text{G}, \vec{x}_1, \vec{x}_2, \vec{x}_3)$ .

Le calcul des projections des efforts et du moment dans le repère local fournit :

$$\begin{bmatrix} N = M_T \cdot g \cdot \cos \theta & 0 \\ T_2 = -M_T \cdot g \cdot \sin \theta & 0 \\ T_3 = 0 & M_{f3} = R \cdot (\cos \theta_2 - \cos \theta) \cdot M_T \cdot g \end{bmatrix}$$

**3- 6** Vérification du dimensionnement de l'arceau.

a) Contraintes normales dans une section courante.

L'effort normal génère une contrainte  $\sigma_N = \frac{P \cdot \cos \theta}{S_{\text{Arceau}}}$  et le moment de flexion génère la contrainte

$$\sigma_F = \frac{(R \cdot (\cos \theta_2 - \cos \theta) \cdot M_T \cdot g) \cdot z}{I}$$

b) Contraintes de cisaillement uniformes reprises uniquement par le voile vertical de l'arceau.

La contrainte de cisaillement uniforme est :  $\tau_{\text{Cis}} = \frac{P \cdot \sin \theta}{S_{\text{Voile}}}$

c) Détermination de la section du ou des points où la contrainte équivalente de Von Misès est maximale.

Le maximum des contraintes se situe à l'encastrement pour  $\theta = 21^\circ$ , arceau sorti au maximum  $\theta_2 = 25^\circ$  et en un point de la face supérieure ou inférieure du voile, point de contrainte de flexion maximale.

d) Calculer la valeur de cette contrainte équivalente maximale. Le résultat sera exprimé en MPa.

On peut choisir de travailler sur un demi-arceau et on a :  $P = 9.81 \cdot 160 / 2 = 784.8 \text{ N}$ .

La contrainte de traction est :  $\sigma_T = 732.6 / 2600 = 0.28 \text{ MPa}$ ,  $\tau_{\text{Cis}} = T / S = 281 / 116.10 = 0.24 \text{ MPa}$

Le moment de flexion vaut  $M_{f3} = 604 \cdot (\cos 115 - \cos 21) \cdot 784.8 = -642,86 \cdot 10^3 \text{ mm} \cdot \text{N}$

Le moment d'inertie d'un demi-arceau est  $I = 70 \cdot 116^3 / 12 - 60 \cdot 92^3 / 12 = 5,21 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

La contrainte de flexion maximale est  $\sigma_F = M_{f3} / I \cdot z_{\text{Max}} = 642,86 \cdot 10^3 \cdot 58 / 5,21 \cdot 10^6 = 7.15 \text{ MPa}$

On remarque que le moment de flexion est prépondérant. Sur une des deux faces les contraintes de traction et de flexion s'ajoutent, donc :  $\sigma_{\text{Eq}} = ((7.15 + 0.28)^2 + 3 \cdot 0.24^2)^{1/2} = 7.44 \text{ MPa}$

**3- 7** Détermination de la rotation de la section au point T,  $\omega(\text{T})$  :

Cette rotation peut se calculer par la première formule de Bresse :

$$\omega(\text{T}) = \omega(\text{l}) + \int_{\theta_1}^{\theta_2} \gamma(\text{s}) \text{ds} = 0 + \int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{M_{f3}}{EI_3} \text{ds} = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{R \cdot (\cos \theta_2 - \cos \theta) \cdot M_T \cdot g}{EI_3} R \cdot \text{d}\theta,$$

Soit finalement :

$$\omega(T) = \frac{M_T \cdot g \cdot R^2}{EI_3} \cdot \cos\theta_2 \cdot (\theta_2 - \theta_1) + \frac{M_T \cdot g \cdot R^2}{EI_3} \cdot (\sin\theta_1 - \sin\theta_2)$$

### 3- 8 Détermination du déplacement vertical du point T, u(T) :

Ce déplacement peut se calculer par la deuxième formule de Bresse :

$$\begin{aligned} \vec{u}(T) &= \vec{u}(l) + \vec{\omega}(l) \wedge \vec{lT} + \int_{\theta_1}^{\theta_2} \vec{\varepsilon}(s) ds + \int_{\theta_1}^{\theta_2} (\vec{\gamma}(s) \wedge \vec{GT}) ds \\ &= \vec{0} + \vec{0} + \int_{\theta_1}^{\theta_2} \left( \frac{P \cdot \cos\vartheta}{ES} \cdot \vec{x}_1 + \frac{-P \cdot \sin\vartheta}{kGS} \cdot \vec{x}_2 \right) ds + \int_{\theta_1}^{\theta_2} \left( \frac{RP(\cos\theta_2 - \cos\theta)}{EI} \cdot \vec{x}_3 \wedge \vec{GT} \right) ds \end{aligned}$$

On a :  $\vec{x}_3 \wedge \vec{GT} = R \cdot (\cos\theta_2 - \cos\theta) \cdot \vec{u} + R \cdot (\sin\theta_2 - \sin\theta) \cdot \vec{v}$

En projection sur l'axe vertical, il vient seulement :

$$u(T) = \frac{PR}{ES} \cdot \int_{\theta_1}^{\theta_2} (\cos\theta)^2 d\theta + \frac{PR}{kGS} \cdot \int_{\theta_1}^{\theta_2} (\sin\theta)^2 d\theta + \frac{P \cdot R^3}{EI} \cdot \int_{\theta_1}^{\theta_2} (\cos\theta_2 - \cos\theta) \cdot (\sin\theta - \sin\theta_2) d\theta$$

Après intégration, on obtient finalement :

$$\begin{aligned} u(T) &= \frac{PR}{ES} \cdot \left( \frac{\theta_2 - \theta_1}{2} + \frac{\sin 2\theta_2 - \sin 2\theta_1}{4} \right) + \frac{PR}{kGS} \cdot \left( \frac{\theta_2 - \theta_1}{2} - \frac{\sin 2\theta_2 - \sin 2\theta_1}{4} \right) \\ &+ \frac{P \cdot R^3}{EI} \cdot \left( (\cos\theta_2)^2 \cdot (\theta_2 - \theta_1) - 2 \cdot \cos\theta_2 \cdot (\sin\theta_2 - \sin\theta_1) + \frac{\theta_2 - \theta_1}{2} + \frac{\sin 2\theta_2 - \sin 2\theta_1}{4} \right) \end{aligned}$$

### 3- 9 Applications numériques pour $\theta_2 = 65^\circ$ et $115^\circ$ .

Rotations :

Cas  $\theta_2 = 65^\circ$  :  $\omega(T) = -0,17 \times 10^{-3}$  ( $0,0095^\circ$ ) ; Cas  $\theta_2 = 115^\circ$  :  $\omega(T) = -0,94 \times 10^{-3}$  ( $0,054^\circ$ )

Déplacements :

Cas  $\theta_2 = 65^\circ$  :  $u_x(T) = 0,042\text{mm}$  ; Cas  $\theta_2 = 115^\circ$  :  $u_x(T) = 0,566\text{mm}$

### 3- 10 Déduction des résultats précédents du déplacement du centre de tir, en supposant la tête encastree en T, pour les deux valeurs de $\theta_2$ et conclusions technologiques.

Le déplacement du centre de tir, en supposant la tête encastree au point B est un déplacement de solide

qui s'écrit :  $\vec{U}(O) = \vec{U}(T) + \vec{\omega}(T) \wedge \vec{TO}$

Donc  $\vec{U}(O) = u_x(T) \cdot \vec{x} + \omega(T) \cdot \vec{z} \wedge R \cdot (\sin\theta_2 \cdot \vec{x} - \cos\theta_2 \cdot \vec{y}) = (u_x(T) + R \cdot \omega(T) \cdot \cos\theta_2) \cdot \vec{x} + R \cdot \omega(T) \cdot \sin\theta_2 \cdot \vec{y}$

Numériquement, Cas  $\theta_2 = 65^\circ$  :  $\vec{U}(O) = -0,001\text{mm} \cdot \vec{x} - 0,093\text{mm} \cdot \vec{y}$  Norme : 0.093 mm

Numériquement, Cas  $\theta_2 = 115^\circ$  :  $\vec{U}(O) = 0,566\text{mm} \cdot \vec{x} - 0,51\text{mm} \cdot \vec{y}$  Norme : 0.76 mm

Dans le deuxième cas, la flèche est trop importante et par conséquent un réglage doit être prévu.

**3- 11** Etude d'une modélisation éléments finis du problème réalisée à l'aide d'éléments volumiques (document DR6). Les conditions aux limites imposées à l'arceau sont un blocage des trois composantes en déplacement sur les lignes de noeuds  $L_1$  et  $L_2$  correspondant aux appuis des galets. Le poids de la tête est représenté par une force nodale verticale en T. Le champ des contraintes équivalentes de Von Mises est fourni document DR7.

a) Justifier la localisation du point de contrainte maximale. Vu la modélisation effectuée, la valeur de la contrainte obtenue en ce point est-elle valide ?

*Ce point se situe au contact galet/arceau qui génère une concentration des contraintes. Vue la modélisation et les forts gradients dans les éléments dans cette zone, la valeur de 20MPa obtenue n'est pas valide. Il faudrait faire un maillage local plus raffiné.*

b) Pour la zone où le calcul R.D.M. a été effectué (question 3.6 d), comparer les résultats obtenus par ces deux modélisations et justifier leurs correspondances ou différences.

*L'échelle partielle donne une contrainte entre 7.4 et 8.8 MPa pour 7.44 MPa calculé par la RDM. Le modèle RDM est donc pertinent en contraintes.*

**3- 12** Les résultats en déplacement suivant la verticale descendante du modèle éléments finis déjà présenté document DR6 sont fournis document DR8. Sachant que le déplacement vertical du point T calculé par le modèle R.D.M. est d'environ 0,5 mm, expliquer les origines des écarts entre les deux modélisations du problème réel.

*Il y a un rapport 2 en déplacement ! Cet écart est vraisemblablement dû à la rotation de la section d'encastrement, qui même faible, compte tenu des bras de levier génère des déplacements de solide très importants qui se superposent aux déformations pures. Le modèle est donc pertinent pour les contraintes et inexact en conditions aux limites pour les déplacements.*

**3- 13** Au bilan des résultats des deux problèmes traités, quelles conclusions en déduisez vous relativement au respect du cahier des charges en terme de précision de positionnement ? Proposer des solutions technologiques.

*Il est clair que des corrections dans les lois de tir (déplacements en X, Y, Z) doivent être faites ainsi qu'un réglage initial du zéro effectué si l'on veut satisfaire au cahier des charges.*

## 4. Etude Dynamique.

### Premier Problème :

**4- 1** Détermination de l'inertie équivalente du système ramenée sur l'axe moteur  $J_{X_{\text{Equivalente}}}$  et application numérique.

$$J_{X_{\text{Equivalente}}} = J_{\text{mot}} + r_1^2 \cdot J_{\text{red}} + r_1^2 \cdot r_2^2 J_{\text{arc}} = 3,1 \cdot 10^{-4} \text{ Kg.m}^2.$$

**4- 2** En utilisant le théorème de l'énergie cinétique, détermination du couple moteur :

Le théorème de l'énergie cinétique s'écrit :  $\frac{d}{dt} T(\Sigma/R_0) = P_{\text{ext}} + P_{\text{int}}$  et l'énergie cinétique s'exprime :

$$T(\Sigma/R_0) = 1/2 \cdot J_{X_{\text{Equivalente}}} \cdot \dot{\theta}_{\text{Moteur}}^2$$

La puissance du moteur s'exprime avec le rendement de la transmission qui par hypothèse se réduit au rendement du motoréducteur :  $P_{\text{mot}} = \eta \cdot C_{\text{Moteur}} \cdot \dot{\theta}_{\text{Moteur}}$ .

La puissance du poids de l'arceau est :  $P_{\text{PoidsArceau}} = \left( \begin{matrix} -mg \cdot \vec{z}_0 \\ \vec{OG} \wedge -mg \cdot \vec{z}_0 \end{matrix} \right) \otimes \begin{pmatrix} \dot{\theta}_x \cdot \vec{x}_0 \\ \dot{\theta}_x \cdot \vec{x}_0 \\ \dot{\theta}_x \cdot \vec{x}_0 \\ 0 \end{pmatrix} = L \cdot m \cdot g \cdot (\cos \theta_x - \sin \theta_x) \cdot \dot{\theta}_x$

ou en fonction de la rotation du moteur :  $P_{\text{PoidsArceau}} = L \cdot m \cdot g \cdot (\cos \theta_x - \sin \theta_x) \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot \dot{\theta}_{\text{Moteur}}$

L'application du théorème de l'énergie cinétique donne :

$$C_{\text{Mot}} = \frac{J_{X_{\text{Equivalente}}} \cdot \ddot{\theta}_{\text{Moteur}} - L \cdot m \cdot g \cdot (\cos \theta_x - \sin \theta_x) \cdot r_1 \cdot r_2}{\eta}$$

**4- 3** Le cahier des charges impose une accélération de l'arceau  $\ddot{\theta}_x = 20^\circ \cdot \text{s}^{-2}$ . En se plaçant dans la configuration de fonctionnement la plus défavorable, déterminer le couple moteur nécessaire pour obtenir cette accélération.

La configuration de fonctionnement la plus défavorable correspond au maximum d'amplitude vers le haut quand la gravité n'est pas motrice, c.a.d pour  $\mathbf{q}_x = -25^\circ$  et pour le maximum d'accélération dans ce sens vers la butée et en ce point (cas purement théorique le plus défavorable où l'on cumule dynamique et statique, en couvrant toutes les configurations) :

$$C_{\text{Mot}} = \frac{3,1 \cdot 10^{-4} \cdot -0,35 \cdot 171 \cdot -174/10 - 0,1 \cdot 240 \cdot 9,81 \cdot (\cos(-25^\circ) - \sin(-25^\circ)) \cdot 1/171 \cdot -10/174}{0,55} = 0,934 + 0,191$$

$$\text{Donc } C_{\text{mot}} = 1,125 \text{ N.m}$$

**4- 4** Le moteur SNT P5 XS 20 permet-il d'obtenir cette accélération ?

$P = C \cdot \omega$  d'où :  $C = P/\omega = 100/2000 \cdot 2 \cdot \pi/60 = 0,47 \text{ N.m}$ . La marge est de 0,41 donc le dimensionnement est incorrect, même avec les hypothèses faites. Il faudra donc choisir un moteur plus puissant.

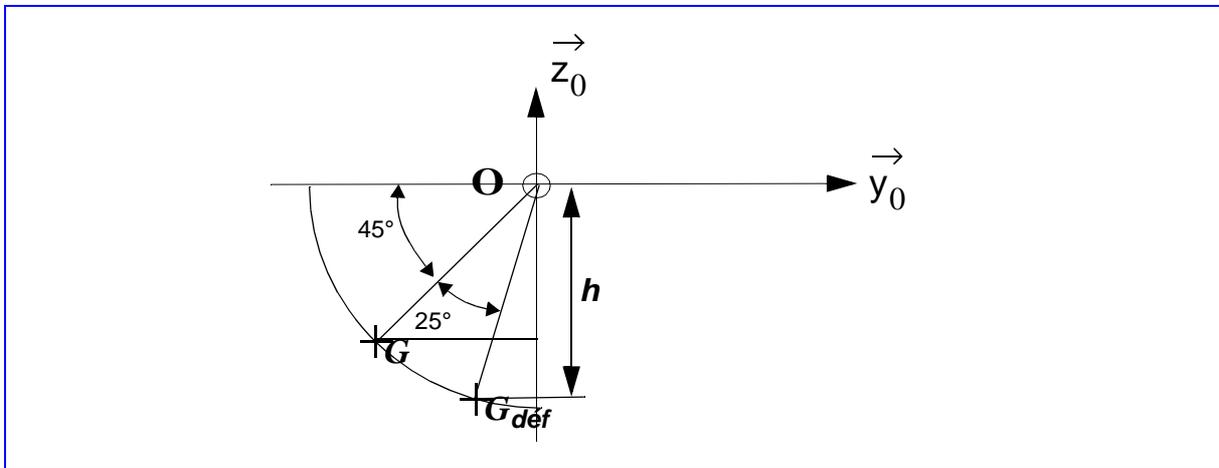
**Deuxième Problème :**

- 4- 5** Justifier le fait que la configuration géométrique la plus défavorable pour le dimensionnement de la motorisation  $R_{y_0}$  soit la position sortie  $\theta_x = + 25^\circ$ . Déterminer les nouvelles coordonnées de G dans le repère  $(\vec{y}_0, \vec{z}_0)$ . On pose  $\vec{OG} = -a \cdot \vec{y}_0 - h \cdot \vec{z}_0$ . Faire l'application numérique, le résultat sera exprimé en mm.

Pour cet angle, le bras de levier du poids de l'ensemble arceau est maximal, vis à vis de l'axe  $(O, \vec{x}_0)$ .

$$h = R \cdot \sin(45^\circ + 25^\circ) = \sqrt{2} \cdot L \cdot \sin(45 + \theta_{x, \text{def}}) = 132.89 \text{ mm}$$

$$a = R \cdot \cos(45^\circ + 25^\circ) = \sqrt{2} \cdot L \cdot \cos(45 + \theta_{x, \text{def}}) = 48.37 \text{ mm}$$



- 4- 6** À l'aide de la figure (b) du document DR10, déterminer en remarquant que  $BC \gg AB$  et en précisant les hypothèses, une relation géométrique approchée simple entre  $\lambda$ , d et  $\theta'_y$ .

En supposant que l'angle d'inclinaison du vérin sur son axe est très faible, on a immédiatement :

$$\lambda = -d \cdot \sin \theta'_y$$

- 4- 7** En utilisant le théorème de l'énergie cinétique, déterminer l'effort du vérin noté  $F_v$ , compté positivement quand la tige sort, en fonction des données du problème.

Le théorème de l'énergie cinétique s'écrit :  $\frac{d}{dt} T(\Sigma/R_0) = P_{\text{ext}} + P_{\text{Int}}$ . L'énergie cinétique s'exprime ici :

$$T(\Sigma/R_0) = 1/2 \cdot J_{\text{Ensemble Arceau}} \cdot \theta'^2_y$$

La puissance du vérin est :  $P_{\text{vérin}} = F_v \cdot \lambda$  avec  $\lambda = -d \cdot \theta'_y \cdot \cos \theta'_y$

La puissance du poids de l'arceau s'exprime :  $P_{\text{Poids Arceau}} = \left( \vec{OG} \wedge -mg \cdot \vec{z}_0 \right) \otimes \left( \begin{matrix} \theta'_y \cdot \vec{y}_0 \\ \dot{\theta}'_y \cdot \vec{z}_0 \end{matrix} \right) = -h \cdot \sin \theta'_y \cdot mg \cdot \dot{\theta}'_y$

L'application du théorème de l'énergie cinétique donne :

$$J_{\text{Ensemble arceau}} \cdot \ddot{\theta}'_y \cdot \dot{\theta}'_y = -h \cdot \sin \theta'_y \cdot mg \cdot \dot{\theta}'_y - F_v \cdot d \cdot \dot{\theta}'_y \cdot \cos \theta'_y$$

Soit :

$$F_v = \frac{J_{\text{Ensemble arceau}} \cdot \ddot{\theta}'_y + h \cdot \sin \theta'_y \cdot mg}{-d \cdot \cos \theta'_y}$$

**4- 8** Le cahier des charges impose une accélération de l'arceau:  $\ddot{\theta}'_y = 20^\circ \cdot \text{s}^{-2}$ . En se plaçant dans la configuration de fonctionnement la plus défavorable, déterminer l'effort que doit fournir le vérin pour obtenir cette accélération.

*La configuration géométrique la plus défavorable correspond à l'angle maxi à partir de la position la plus haute :  $-25^\circ$ , en accélération maximale dans le même sens que tige sortie (ou idem à  $25^\circ$ ) :*

$$F_v = \frac{36,3 \cdot -0,35 + 0,1328 \cdot 240 \cdot 9,81 \cdot \sin(-25)^\circ}{-0,15 \cdot \cos 25^\circ} = 93,45 + 971,98$$

Finalemment  $F_v = +1065 \text{ N}$  pour ce cas de calcul tige sortant.

**4- 9** Le vérin électrique choisi développe un effort de 4000 N. Ce choix permet-il d'obtenir cette accélération ? Quelle conséquence peut avoir le dimensionnement choisi pour l'utilisateur ?

*La marge est de 4 donc le vérin est largement surdimensionné. La marge de puissance peut générer des accélérations trop importantes et un mouvement trop « nerveux ».*

## Agrégation interne de mécanique

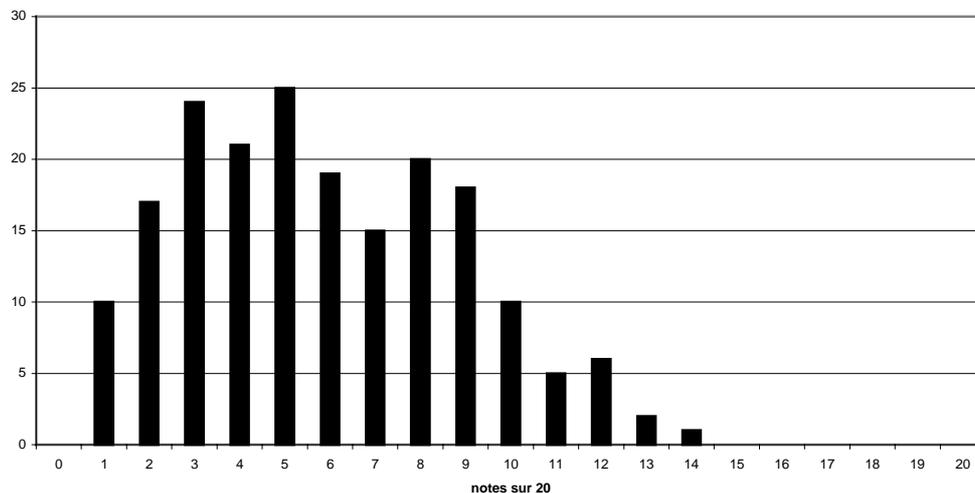
### Commentaires sur la première épreuve de mécanique (prenant appui sur un système industriel)

L'épreuve de mécanique portait sur l'étude d'un LITHOTRITEUR. Le sujet comportait plusieurs parties indépendantes d'inégales longueurs. Même si le sujet était long, il comportait suffisamment de questions classiques et sans réelles difficultés de calcul, pour que tous les candidats puissent s'exprimer complètement dans une ou plusieurs parties. Les méthodes algorithmiques en statique, en résistance des matériaux et en dynamique doivent absolument être maîtrisées.

Cette année, 193 candidats ont composé et 7 copies ont obtenu une note inférieure à 1 sur 20. Mais la moyenne générale de cette épreuve est faible (5,44/20). Les auteurs du sujet font remarquer, à nouveau, qu'il est fortement souhaitable que les candidats suivent une préparation spécifique et analysent les comptes rendus des années précédentes.

Globalement toutes les parties du sujet ont été traitées, mais 72 candidats sur 193 n'ont pas abordé l'exploitation pédagogique. Nous recommandons fortement aux candidats de consacrer suffisamment de temps à traiter cette partie qui correspond à leur métier d'enseignant.

**Histogramme des notes finales**

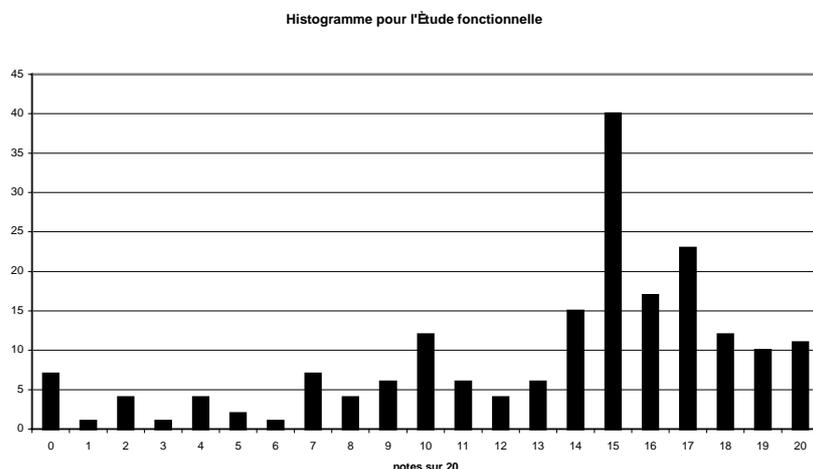


Questions	Moyenne des notes obtenues
Etude fonctionnelle du lithotriteur	13 / 20
Etude géométrique et statique	3,3 / 20
Etude de résistance des matériaux	2 / 20
Etude dynamique	2,7 / 20
Etude de reconception	2 / 20
Exercice pédagogique	2,5 / 20

Ce tableau fait apparaître que les outils théoriques sont généralement mal maîtrisés et que l'exercice pédagogique n'est pas assez bien traité par les candidats. Seules les questions simples de description de la structure du lithotriteur (étude fonctionnelle) sont bien traitées par une majorité de candidats.

## 1- Etude fonctionnelle du lithotriteur :

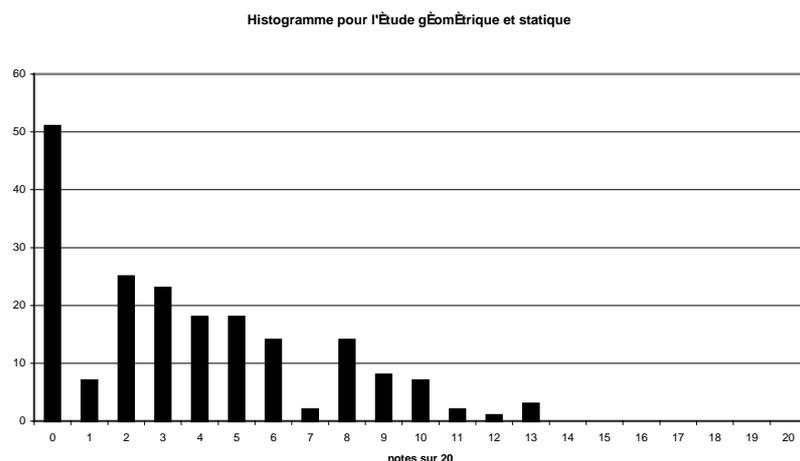
La moyenne des notes obtenues à ces questions est de 13 / 20.



Comme on peut l'observer sur l'histogramme précédent, cette partie a été correctement traitée. Mais le frein a été quasi systématiquement oublié dans la chaîne de transmission de puissance. Et la question sur le FAST a été traitée par seulement 10% des candidats. Cet outil est pourtant intéressant pour relier l'analyse fonctionnelle et l'analyse structurelle.

## 2- Etude géométrique et statique :

La moyenne des notes obtenues à ces questions est de 3,3 / 20.

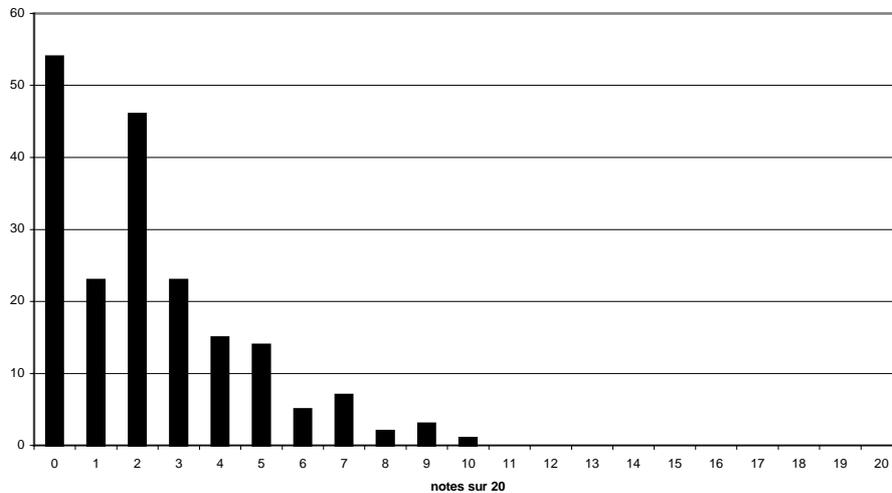


Bien que la statique soit un outil de modélisation très classique nous constatons environ 25% de notes égales à zéro. Lorsque cette partie a été abordée de très nombreuses erreurs de calcul ont été constatées dès la première question, alors qu'il s'agissait simplement de la résolution de l'isolement d'un solide en équilibre sous trois forces. De ce fait, peu de candidats ont pu aborder les questions suivantes.

### 3- Etude de résistance des matériaux :

La moyenne des notes obtenues à ces questions est de 2 / 20.

Histogramme pour l'Étude de RdM

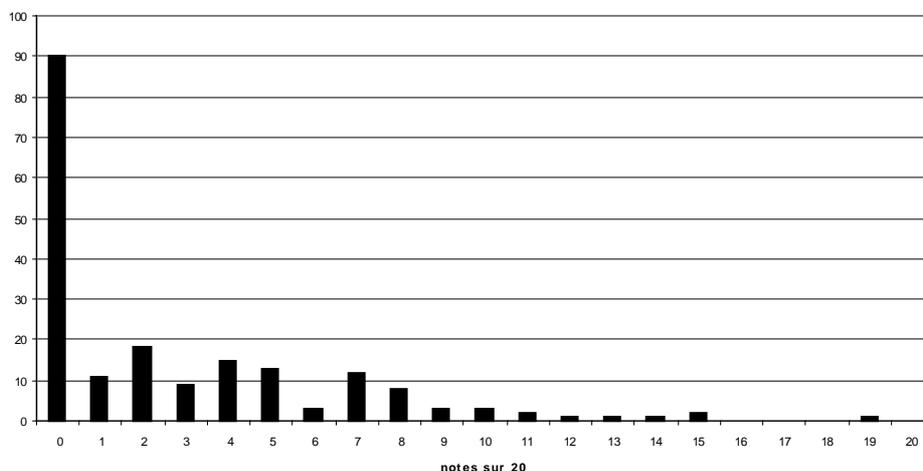


Bien que la première question de cette partie soit très classique et ne nécessite pas des calculs difficiles, là encore, 25% des candidats ont une note nulle. La théorie des poutres est cependant maîtrisée par la majorité des candidats. C'est ce que montre les réponses aux premières questions. Elles ont été bien traitées en général. Néanmoins, le calcul de la déformée en flexion n'est que trop rarement mené correctement à son terme. Le deuxième problème n'a quasiment pas été abordé. La partie sur les éléments finis, pourtant indépendante, n'a pas été suffisamment traitée alors que l'analyse du champ des contraintes locales ne présentait aucune difficulté. Nous encourageons donc fortement les candidats à approfondir leurs connaissances dans ce domaine désormais classique.

### 4- Etude dynamique :

La moyenne des notes obtenues à ces questions est de 2,7 / 20.

Histogramme pour l'Étude dynamique

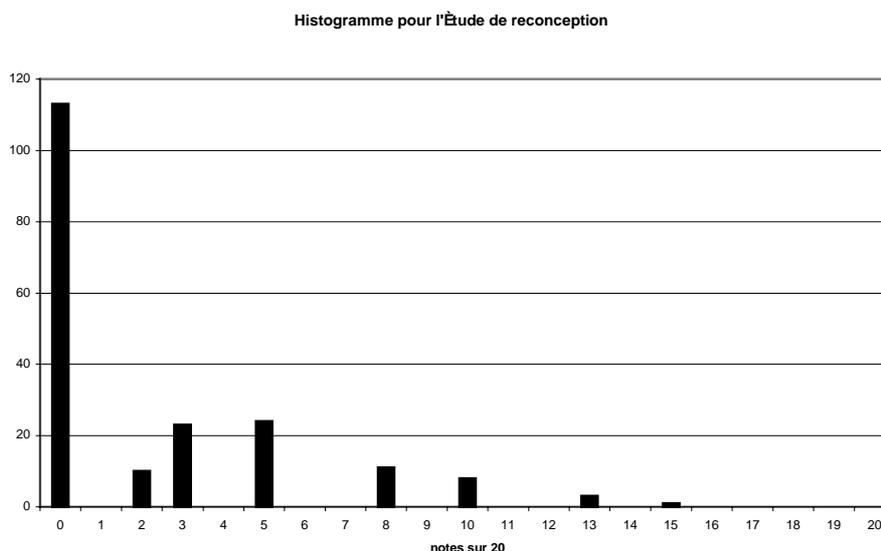


Comme on peut l'observer sur l'histogramme précédent, les résultats à ces questions sont mauvais. Plus de 90 copies, sur 193, ont obtenu zéro sur vingt. Cette partie faisait appel à des connaissances de cinétique et de dynamique.

La première question du calcul de l'inertie équivalente a souvent été bien traitée. Il n'en a pas été de même pour l'utilisation des théorèmes énergétiques. De nombreux candidats ont effectué une linéarisation abusive à la question 3.5

### **5- Etude de reconception :**

La moyenne des notes obtenues à ces questions est de 2 / 20.



113 candidats (sur 193) n'ont pas traité cette partie du sujet. Cela nous semble anormal pour des enseignants de construction mécanique.

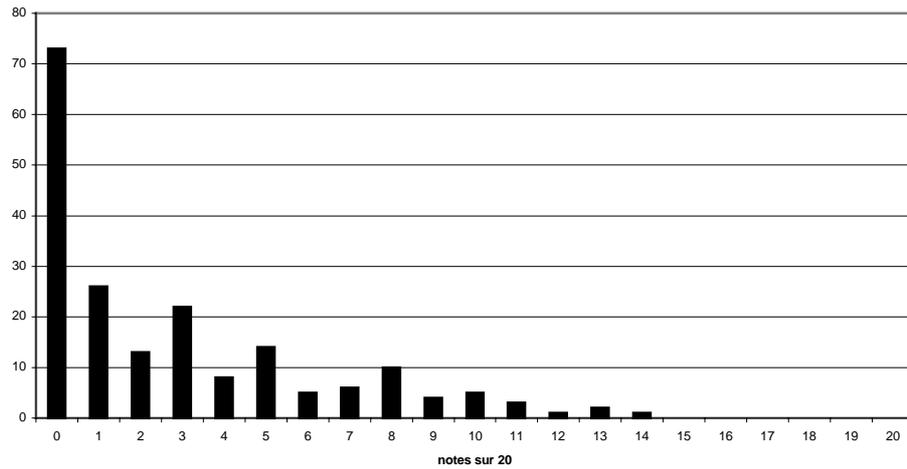
Nous rappelons qu'être capable de proposer des solutions techniques est une spécificité des formations technologiques.

Seulement 41% des candidats ont traité cette question. Et souvent aucune méthode n'est explicitée. La notion de critère de choix d'une solution pour un emploi précis semble très mal maîtrisée.

### **6- Exercice pédagogique :**

La moyenne des notes obtenues à ces questions est de 2,5 / 20.

Histogramme pour l'exercice pédagogique



On constate 72 zéros sur 193 copies (37%). Ceci est vraiment étonnant pour des enseignants en exercice. Mais nous notons un progrès par rapport à l'an dernier (73/169 soit 43%).

On appelle support les moyens (machines ou logiciels) que l'enseignant utilise et pas les supports de communication comme les transparents pour rétroprojecteur. Nous soulignons également que le système étudié dans l'épreuve ne peut pas être le seul support à nommer.

Nous conseillons donc encore plus aux futurs candidats de faire attention à la gestion du temps pendant l'épreuve pour pouvoir aborder ces questions pédagogiques, deux heures devant être réservées à cette partie.

Pour ceux qui ont traité ces questions, les mauvais scores sont dus surtout à une mauvaise analyse du contenu à enseigner (oubli de solutions classiques et manque de structuration en classes d'équivalence des solutions) et à une présentation bâclée du déroulement de la séance d'enseignement.

Les candidats doivent répondre aux questions dans l'ordre. Et les questions ne sont pas indépendantes. L'ensemble constitue un tout. L'analyse du contenu est trop sommaire pour des enseignants en exercice et pour un domaine aussi classique que les guidages en rotation par éléments roulants. Ils confondent souvent performances à atteindre, donc imposées, et choix à réaliser par le concepteur. Les objectifs opérationnels manquent souvent beaucoup trop de précision. Les candidats doivent relier cette question à la 6.2. Par exemple, si le but d'apprentissage est la maîtrise du rotulage, il convient de mettre un logiciel de calcul en 6.5.

Pour cette épreuve, nous recommandons aux candidats de se poser la question simple : « qu'est-ce que je veux apprendre aux élèves ? ». Ensuite, mais seulement ensuite, ils peuvent envisager de définir comment ils atteindront cet objectif.

**SESSION DE 2003**

**concours interne  
de recrutement de professeurs agrégés  
et concours d'accès à l'échelle de rémunération**

**section : mécanique**

deuxième épreuve portant sur l'étude  
d'un problème d'automatisation

**durée : 6 heures**

**Aucun document n'est autorisé**

*Moyen de calcul autorisé :*

*Calculatrice de poche - y compris calculatrice programmable et alphanumérique - à fonctionnement autonome, non-imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-018 du 1<sup>er</sup> février 1999.*

*En aucune façon la calculatrice ne pourra posséder de données scientifiques et techniques propres au génie mécanique et à l'automatique.*

*Ce document comporte :*

- *une présentation du support de l'épreuve (couleur jaune, 2 pages).*
- *un dossier (couleur blanche, 9 pages) constitué du texte du sujet.*
- *un dossier (couleur verte) comprenant 7 documents ressources : 7 pages dont une au format A3 (DR1).*
  - *deux documents réponse repérés DRep1 et DRep2 (fournis en double exemplaire) qui devront être obligatoirement rendus complétés ou non.*

Le candidat traitera, obligatoirement, chacune des parties sur des copies séparées en indiquant sur chacune d'entre elles la partie traitée.

*Les quatre parties A, B, C et D sont indépendantes. Elles peuvent donc être traitées dans un ordre quelconque, en commençant par celles qui sembleront les plus abordables par chacun des candidats.*

*Les candidats sont invités à formuler toutes les hypothèses qu'ils jugeront nécessaires pour répondre aux questions posées.*

**Tournez la page S.V.P.**

# CELLULE FLEXIBLE D'USINAGE

## 1. Introduction :

Une entreprise sous traitante d'usinages en mécanique générale s'est dotée de machines performantes (C. U., machines U. G. V). Afin d'exploiter au mieux ces moyens de production coûteux, une redéfinition des activités du personnel d'atelier est envisagée ainsi qu'une modification des horaires (passage en 3 x 8). Les temps d'usinages étant en moyenne assez longs (une à deux heures), une réduction des équipes d'exécution au profit du personnel de préparation apparaît nécessaire.

## 2. Contexte de l'étude et problématique générale :

Cette réflexion, s'accompagne d'un développement de l'automatisation des approvisionnements machines et de l'informatisation, avec la mise en place d'un pilotage centralisé et d'une supervision. Un premier chantier est ouvert autour de la mise en place d'une cellule flexible chargée et déchargée par un chariot automoteur à un seul sens de marche et guidé par une bande au sol.

Le travail proposé s'intéressera principalement au système de transport de pièces, aux interfaces avec les machines et à l'étude d'un axe numérique d'une machine UGV.

### 2.1 Conditions de fonctionnement :

Fonctionnement : 3 postes / jour (1 poste = 8 h)

5 jours / 7

47 semaines par an.

## 3. Structure de la partie opérative

Le document ressource DR1 montre un schéma général de l'installation projetée. Les machines sont réparties autour de la bande de guidage du chariot (collée sur le sol).

Chaque poste, du point de vue du chargement et du déchargement, dispose également d'un ensemble de convoyage fixe à deux sens de rotation, sauf pour le poste de préparation. Cet équipement interface est nommé une station.

Les palettes sont véhiculées par le chariot : un convoyeur à rouleaux à deux sens de rotation permet le chargement ou le déchargement aux stations.

Station 0 : Déchargement au poste de préparation ;

Station 1 : Chargement au poste de préparation ;

Station 2 : Chargement et déchargement du centre UGV ;

Station 3 : Chargement et déchargement du centre de tournage ;

Station 4 : Chargement et déchargement du centre d'usinage horizontal ;

Station 5 : Chargement et déchargement du centre d'usinage vertical.

Les divers ordres de chargement et de déchargement sont émis à partir d'un poste de pilotage et transmis par l'intermédiaire d'un réseau local aux différentes parties commandes, en fonction des impératifs de la production et de la disponibilité des machines.

Les pièces sont montées sur des palettes équipées d'étiquettes électroniques lues et écrites à partir de plots, et permettant la traçabilité et les validations des travaux.

Un opérateur est affecté à la préparation des pièces à usiner et à la réception des pièces traitées, ainsi qu'à diverses autres tâches.

#### 4. Structure de la partie commande

L'utilisation de machines performantes s'accompagne d'un environnement permettant une parfaite maîtrise des flux de matières et de données et les nombreux échanges avec les opérateurs et les diverses fonctions : production, CFAO, GPAO,..

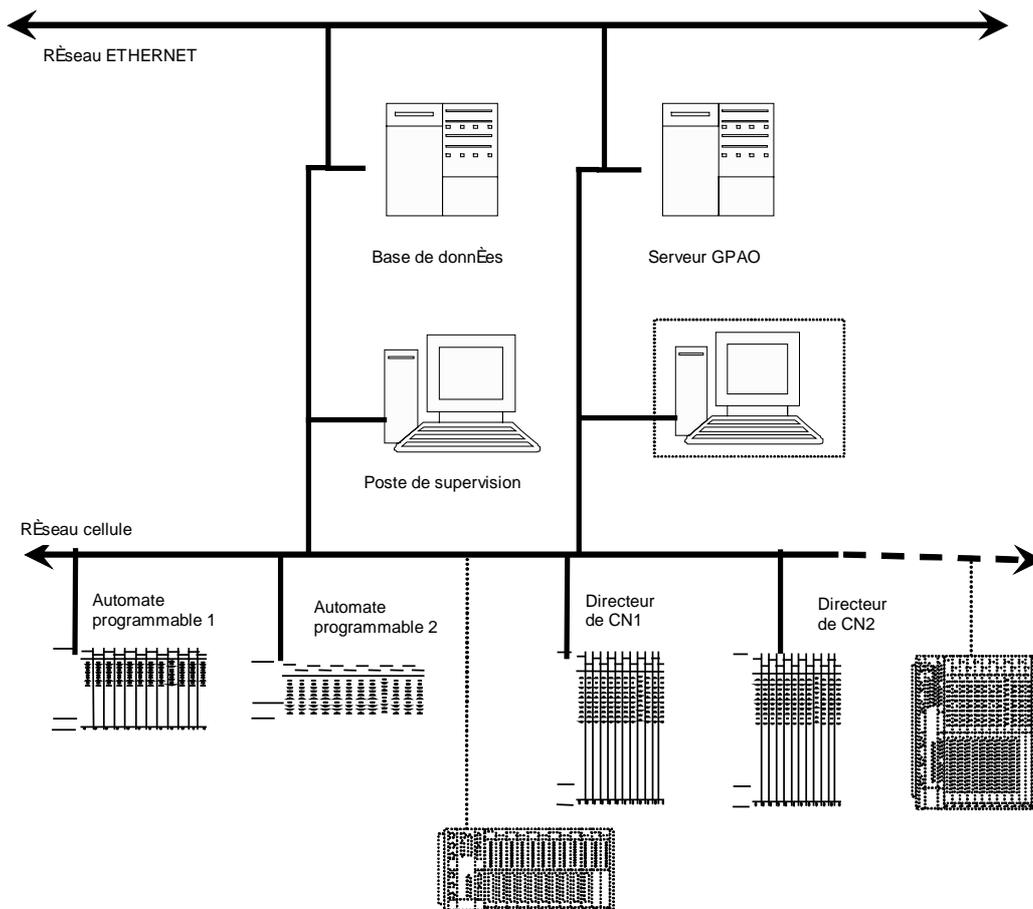


Figure 1 : Organisation partielle de la partie commande

# Partie A : automatisation séquentielle

## A.1 Automatisation (partielle) d'un poste interface entre un centre d'usinage (HURON) : station 05 et le chariot automoteur.

L'installation générale est schématisée sur le document ressource DR1.

L'approvisionnement en palettes et la récupération après exécution du travail sur la machine outil par le chariot filoguidé nécessite un équipement interface, repéré station, et construit autour d'un convoyeur à rouleaux. Ceux-ci sont entraînés par l'intermédiaire d'une chaîne animée par un moto réducteur asynchrone.

Un dispositif de butées formant obstacle permet l'arrêt des palettes et leur libération quand les conditions sont réunies.

La commande est assurée par A.P.I. reliés en réseau.

L'équipement construit autour du centre d'usinage HURON et repéré 5 servira de support à une première étude (document ressource DR2).

**Fonctionnement** : Le changement de palette sur ce centre est réalisé par un bras pivotant qui permet après un mouvement vertical d'engagement (ou de déengagement) des palettes, une rotation de 180° dans un même sens, autour d'un axe vertical entraînant également la vitre.

Le chargement d'une nouvelle palette (et le déchargement) se fait en temps masqué pendant le travail du C. U, à partir de l'équipement interface. Un dispositif à 2 butées, formant sas et un protecteur vitré coulissant permettent les mouvements de rentrée ou de sortie de palette. Un temps de 3 s. est nécessaire à la lecture et à l'écriture de l'étiquette électronique.

**Question A1.1** : *Elaborer un grafcet GT5 de coordination des tâches, en utilisant les entrées/sorties spécifiées sur le document ressource DR3 (boîte fonctionnelle des E / S du C. U.), décrivant le fonctionnement de l'ensemble avec l'objectif d'optimisation du temps de cycle.*

**Question A1.2** : *Elaborer sous forme de grafcet, selon les formes usuelles (expansion de macro étape, séquence,...) en utilisant les entrées/sorties spécifiées sur le document ressource DR3 : boîte fonctionnelle des E / S de la tâche 20, les opérations de déchargement de la palette et son transfert sur le chariot.*

## A.2. Fonctionnement du chariot filoguidé

Les missions du chariot peuvent être établies de deux manières, soit par des commandes manuelles à l'aide d'un clavier embarqué, soit par des ordres émis par la supervision. Ceux-ci sont de deux types :

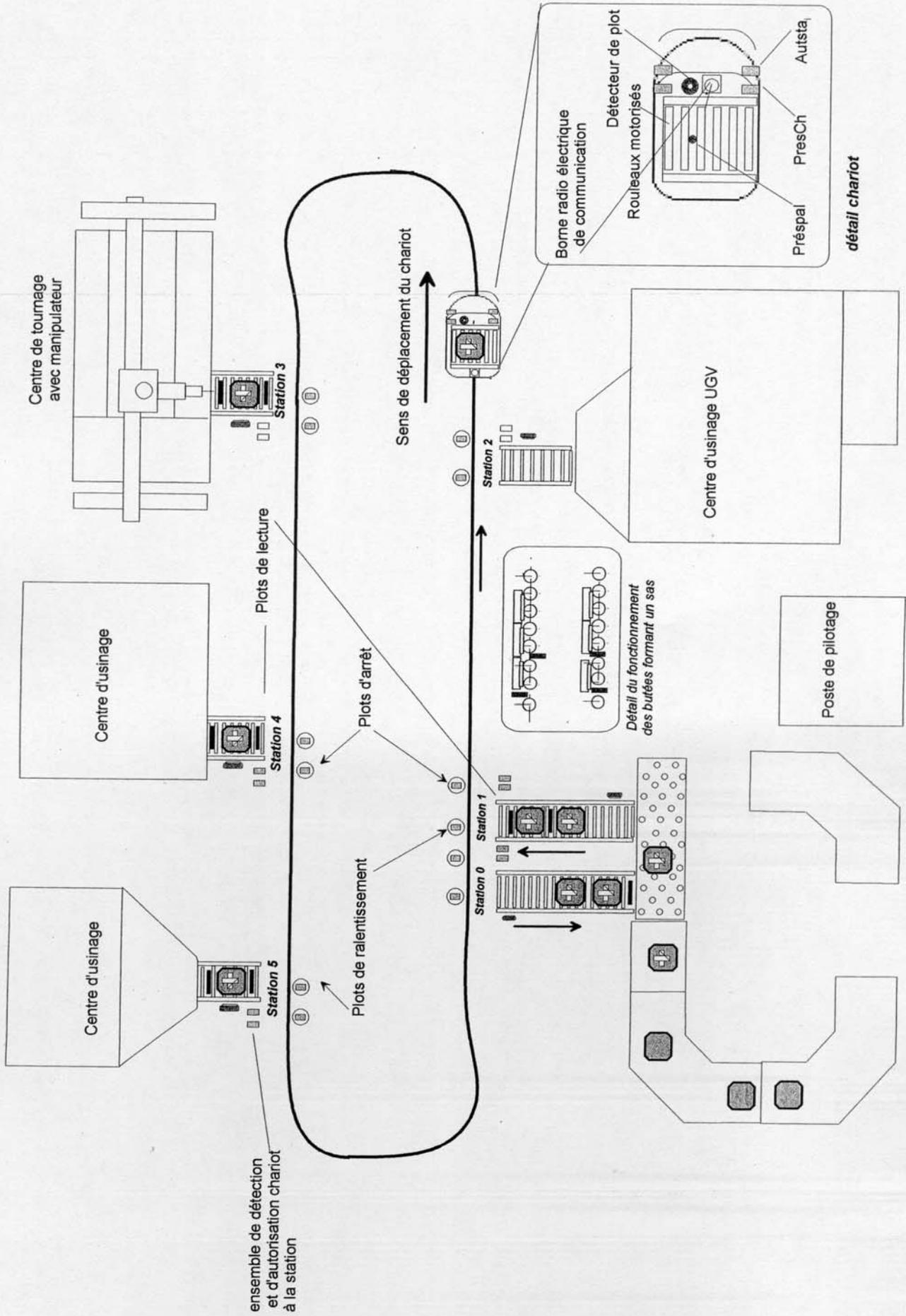
- MissDech<sub>i</sub> pour une prise de palette usinée à la station i et retour à la station 0 (déchargement) ;
- MissChgt<sub>i</sub> : pour une prise d'une palette chargée au poste de préparation (station 1) et dépôt à la station i suivi d'un retour à la station 0.

Le chariot part systématiquement de la station 0 et y retourne en fin de mission.

**Question A2.1 :** *Décrire à l'aide du GRAFCET, les cycles correspondants à une mission de chargement à la station i, en utilisant les entrées sorties spécifiées par la boîte fonctionnelle "Gestion du cycle du chariot" (document ressource DR4).*

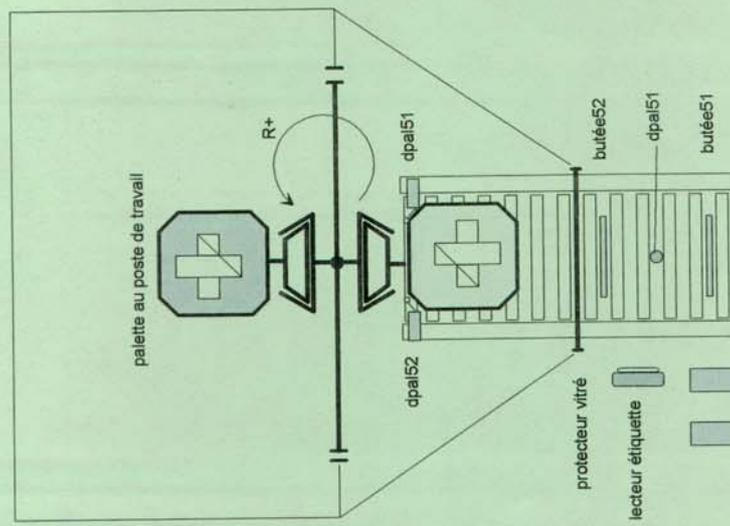
*Même question pour une mission de déchargement.*

**Question A2.2 :** *Indiquer, avec l'outil de votre choix, comment sont obtenues les informations "POSRAL" et "POSARR" pour les cycles correspondants à une mission de chargement et une mission de déchargement à la station i, en utilisant les entrées sorties spécifiées la boîte fonctionnelle "Gestion des informations de ralentissement et d'arrêt du chariot" (document ressource DR4).*

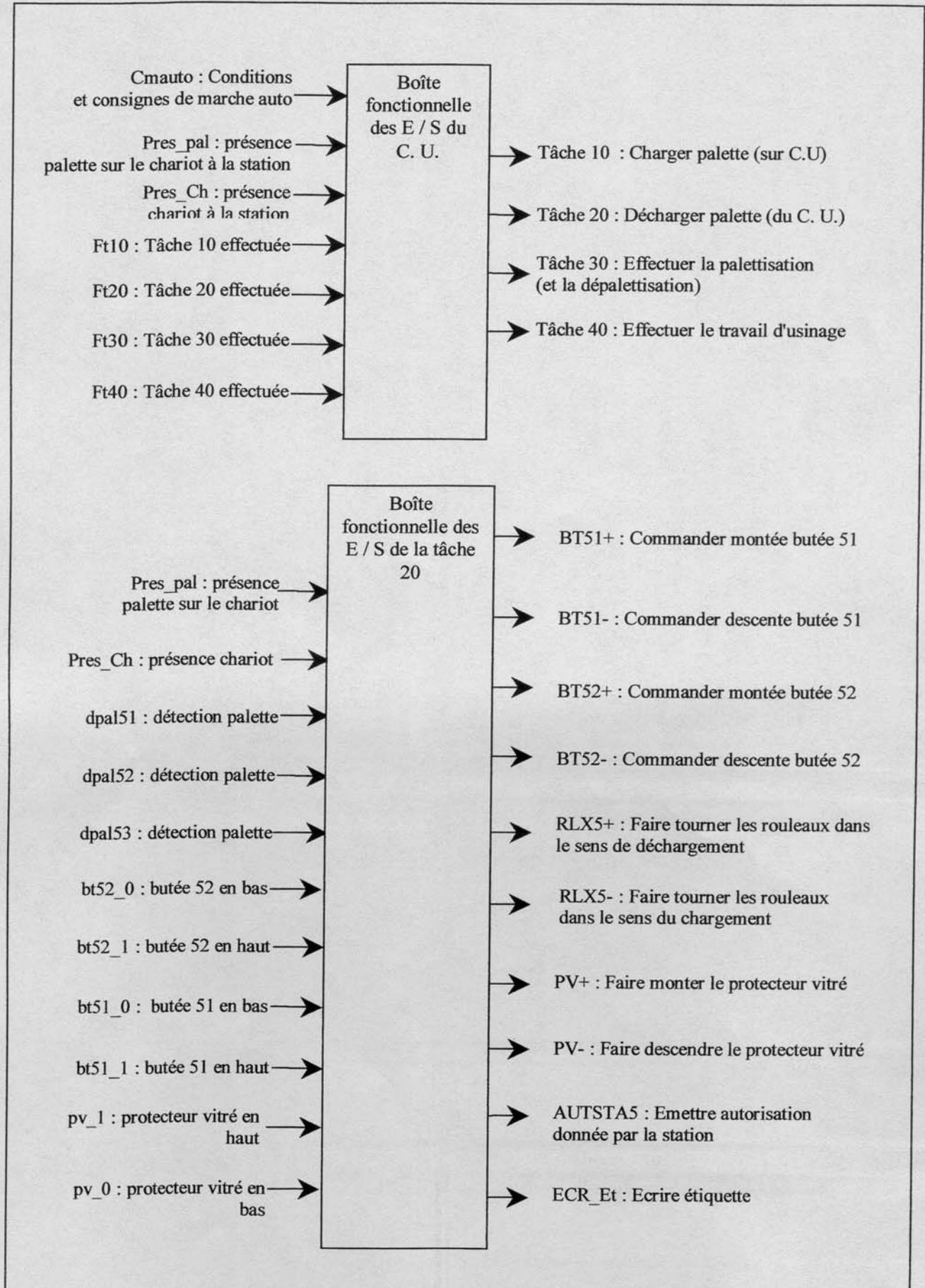


Remarques : pour des questions de lisibilité, les proportions n'ont pas été respectées et seules les indications nécessaires au sujet sont données

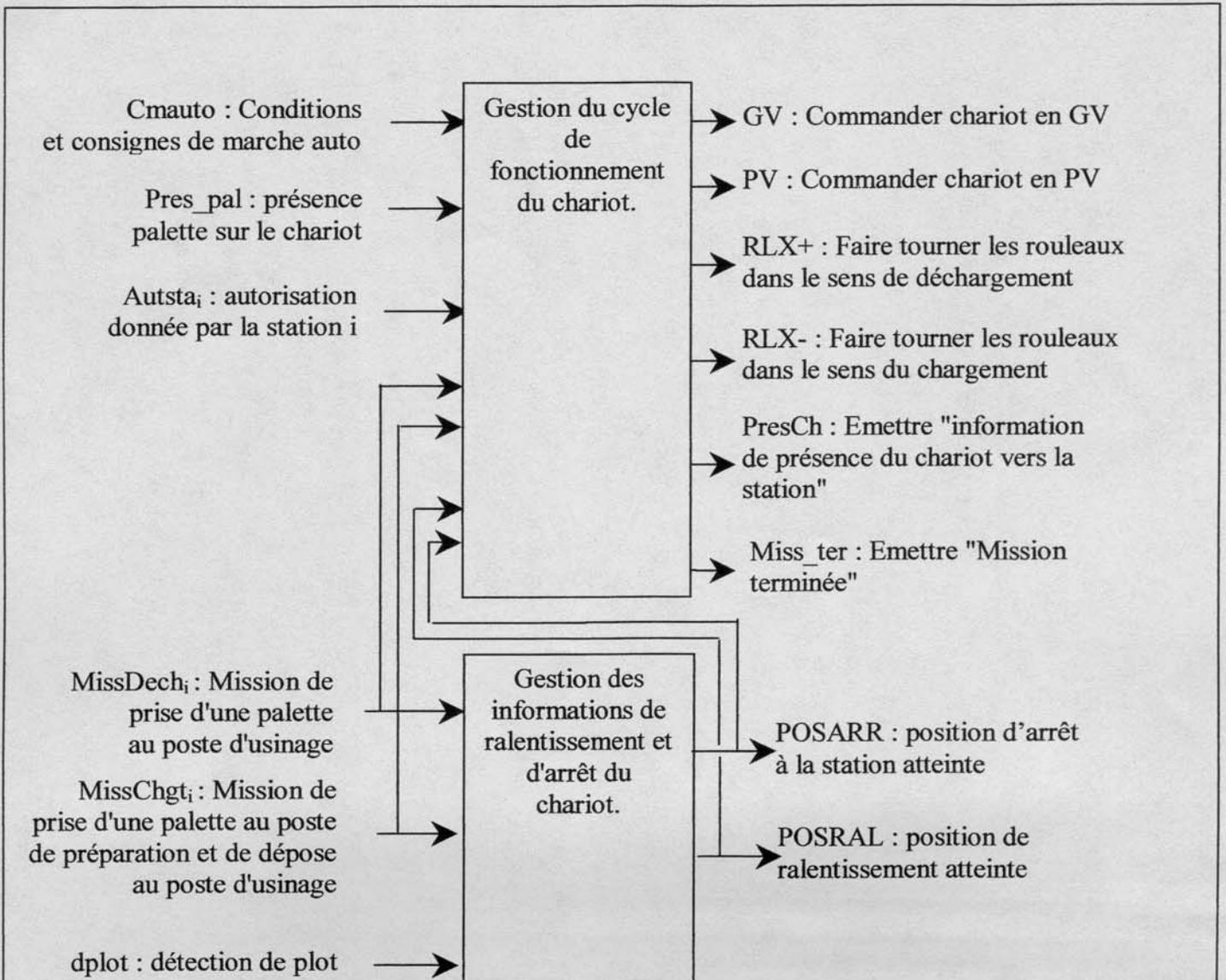
# STATION 05 ET C.U.



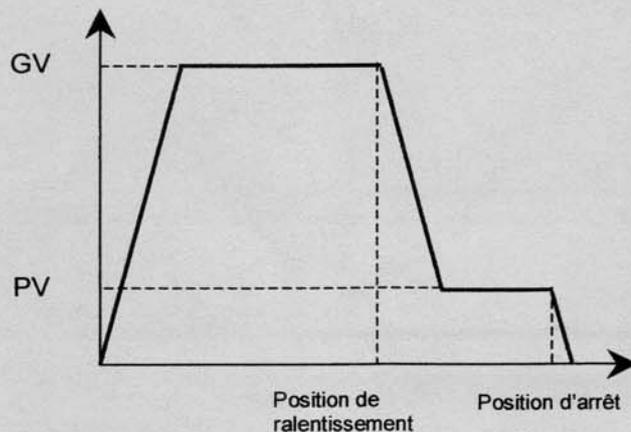
## BOITE FONCTIONNELLE (partielle) DE CARACTERISATION DES E/S DE LA COMMANDE LOGIQUE du C. U. HURON



# BOITE FONCTIONNELLE (partielle) DE CARACTERISATION DES E/S DE LA COMMANDE LOGIQUE du CHARIOT ET PROFIL DE LA COMMANDE EN VITESSE



**Figure 1 : Liste des E / S**



**Figure 2 : profil théorique de la commande en vitesse du chariot**

# POSTE DE PREPARATION

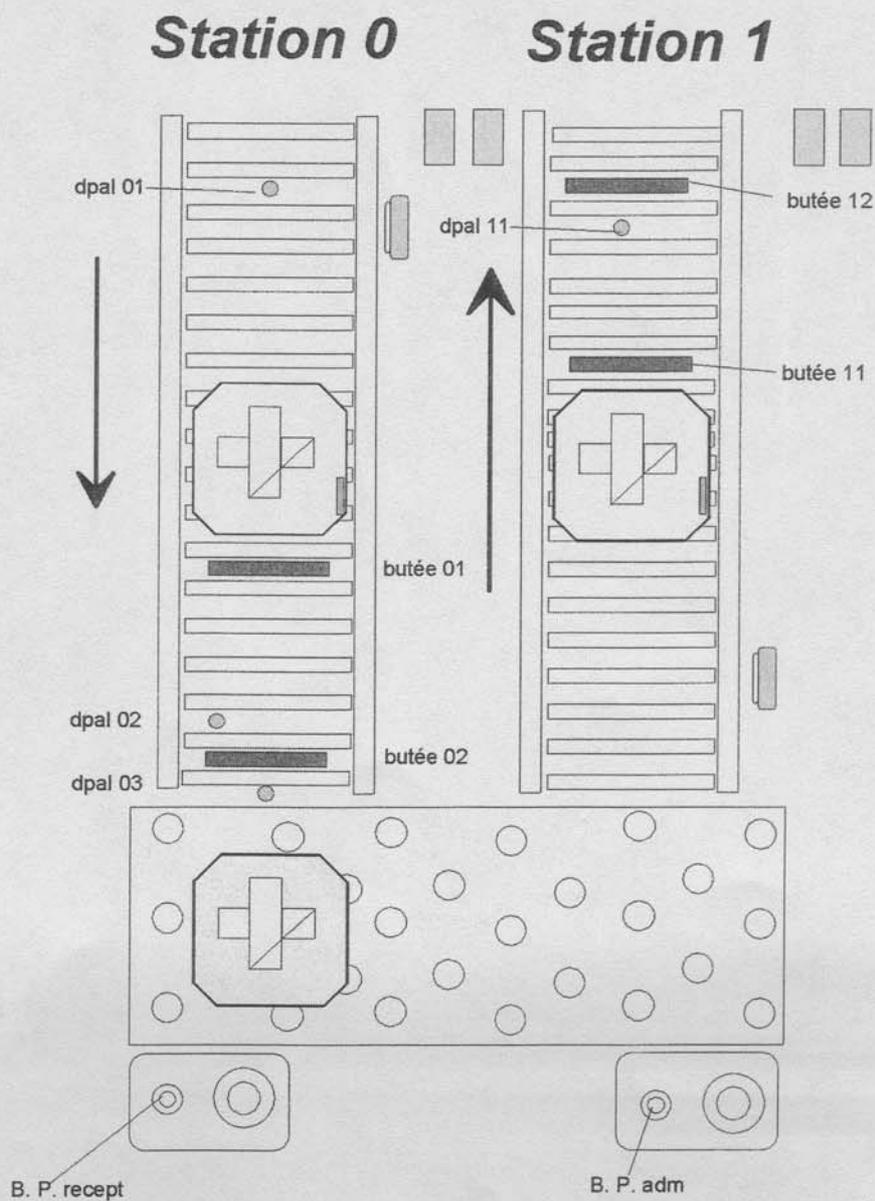


figure 1 : schéma du poste de préparation

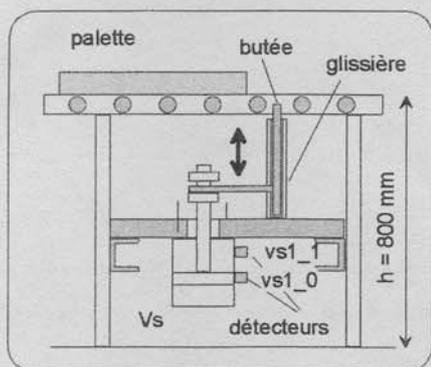


figure 2 : schéma d'une solution proposée pour la conception des butées.  
Pour des questions de lisibilité les proportions n'ont pas été respectées.

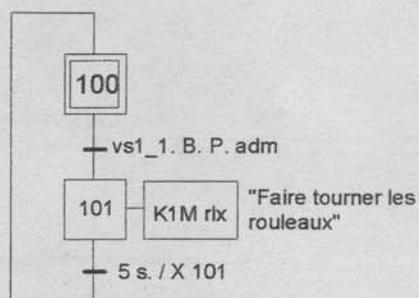


figure 3 : grafcet partiel "entrée des palettes station 1"

# SCHEMAS ELECTRIQUE ET PNEUMATIQUE

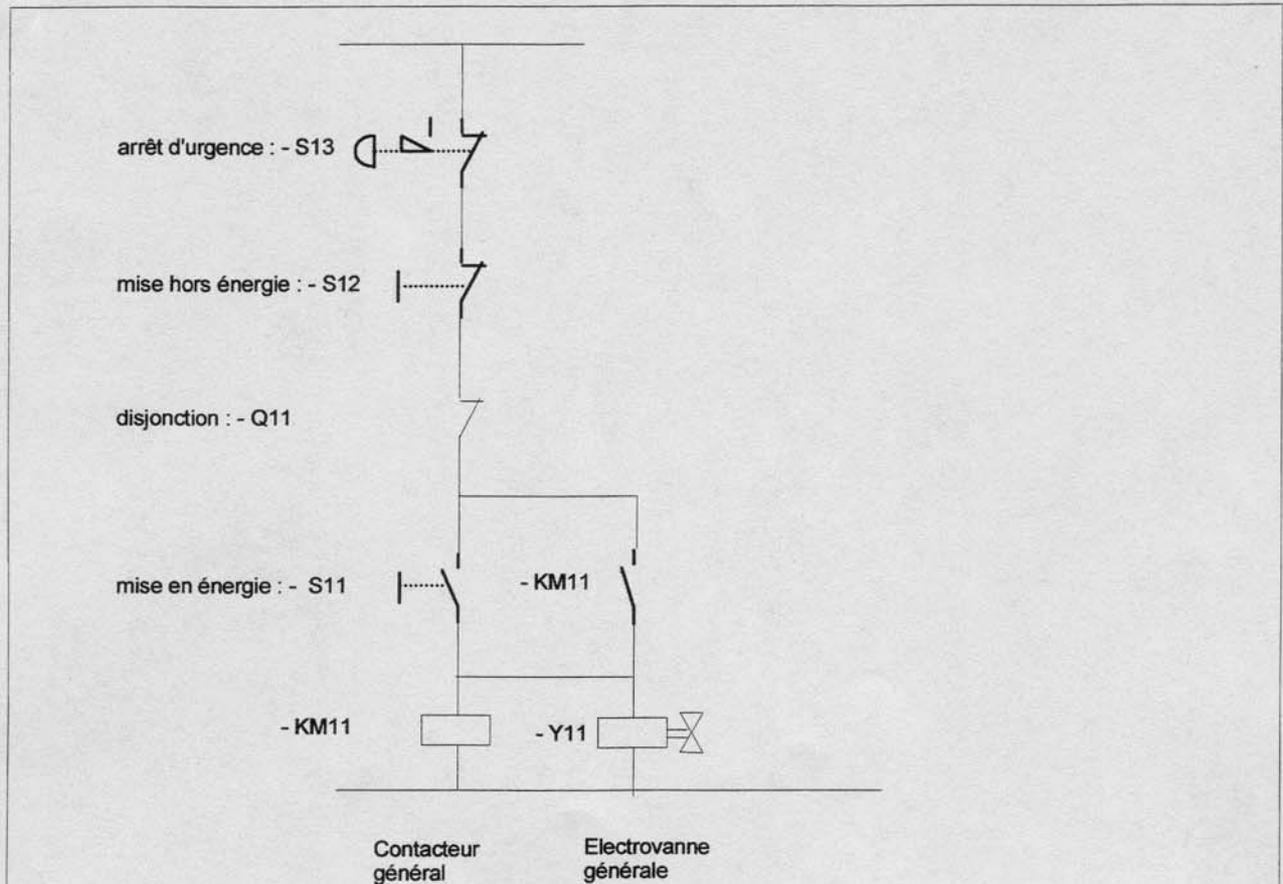


Figure 1 : Extrait du schéma de l'alimentation en énergie

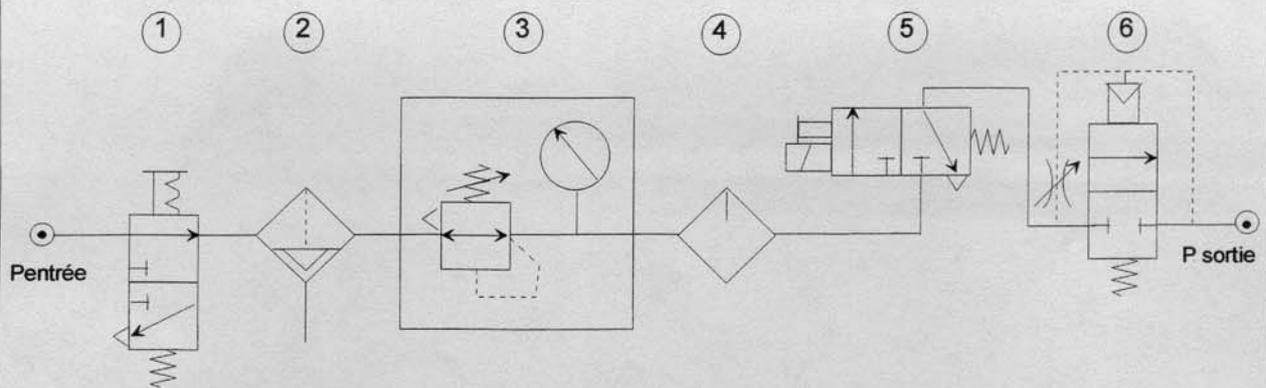


Figure 2 : Extrait du schéma de l'alimentation en air comprimé

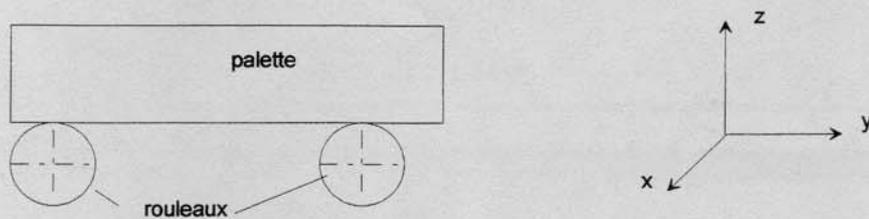


Figure 3 : schématisation de la palette sur deux rouleaux.

## TRANSFORMEES DE LAPLACE USUELLES

$f(t)$	$F(p)$
$k$	$\frac{k}{p}$
$kt$	$\frac{k}{p^2}$
$e^{-at}$	$\frac{1}{p+a}$
$t^n$	$\frac{n!}{p^{n+1}}$
$1 - e^{-\frac{t}{\tau}}$	$\frac{1}{p(1+\tau p)}$
$\sin \omega t$	$\frac{\omega}{p^2 + \omega^2}$
$\cos \omega t$	$\frac{p}{(p^2 + \omega^2)}$
$e^{-at} \sin \omega t$	$\frac{\omega}{(p+a)^2 + \omega^2}$
$e^{-at} \cos \omega t$	$\frac{p+a}{(p+a)^2 + \omega^2}$
$\frac{\omega}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta \omega t} \sin(\omega \sqrt{1-\zeta^2} t)$	$\frac{1}{1 + \frac{2\zeta}{\omega} p + \frac{1}{\omega^2} p^2}$
$1 - e^{-\zeta \omega t} \left( \cos \omega \sqrt{1-\zeta^2} t + \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin \omega \sqrt{1-\zeta^2} t \right)$	$\frac{1}{p \left( 1 + \frac{2\zeta}{\omega} p + \frac{1}{\omega^2} p^2 \right)}$
ou $1 - \frac{1}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta \omega t} \sin(\omega \sqrt{1-\zeta^2} t + \varphi)$	
avec $\sin \varphi = \sqrt{1-\zeta^2}$ et $\cos \varphi = \zeta$	



# Partie B : Choix techniques

## B.1 Poste de préparation et de réception

Ce poste se compose de deux convoyeurs et d'une table à billes. Il est présenté schématiquement document ressource DR5.

**Fonctionnement des postes :** Le premier convoyeur appartenant à la station 0 permet le déchargement du chariot et la réception des palettes usinées. Celles ci lors de la livraison par le chariot sont entraînées par les rouleaux. La butée 02 sert d'arrêt. Pour récupérer une palette, l'opérateur, par appui sur le bouton "B. P. récept.", commande la descente de la butée 02. L'engagement de la palette sur la table s'effectue alors. Dès que le détecteur dpal 02 est activé, la butée 01 remonte, retenant les éventuelles autres palettes.

Le second convoyeur appartenant à la station 1 permet le chargement du chariot et l'envoi des palettes vers les machines. Quand une d'entre elles est préparée, l'opérateur la place à l'entrée de ce convoyeur et appuie sur le bouton poussoir "B. P. adm". La première palette est entraînée par les rouleaux jusqu'à l'arrêt par la butée 12. Les palettes peuvent s'accumuler si aucun chargement de chariot n'est demandé. Le fonctionnement des butées est identique à celui décrit pour l'autre convoyeur.

Les butées, constituées d'une plaque d'acier de dimensions exprimées en mm (largeur x hauteur x épaisseur : 200 x 180 x 15), et leurs chaînes cinématiques seront toutes construites de la même manière. Les figures 2 et 3 du document DR5 illustrent le principe d'une solution constructive d'une butée et sa commande proposée par un fournisseur.

**Alimentation en énergie :** Chaque station interface possède sa propre partie commande et sa propre alimentation en énergie, électrique et pneumatique réalisées sur un même modèle. Le document ressource DR6 donne des extraits des schémas des alimentations électriques et pneumatiques, simplifiés pour les besoins de l'épreuve.

Le schéma de l'alimentation en air comprimé est donné figure 2 du document DR6.

**Question B1.1 :** *Préciser le nom et la fonction des composants ou constituants repérés de 1 à 6.*

### **Chaîne fonctionnelle d'animation de la butée :**

Une attention particulière est portée au comportement en cas d'arrêt d'urgence. La situation, objet de l'étude, concerne plus particulièrement un arrêt d'urgence survenant quand une seule palette est présente et que les rouleaux tournent à vitesse établie (0,8 m/s) sur le convoyeur. Le circuit général de mise en énergie est donné figure 1 du document DR6.

**Question B1.2 :** *En cas d'une demande de mise hors énergie (action des composants S13, S12, Q11), indiquer le comportement des butées.*

La coupure d'énergie électrique a pour effet de provoquer l'arrêt brutal des rouleaux (frein à manque de courant sur le moteur, irréversibilité des mécanismes de transmission).

**Hypothèses et données :**

- rouleaux arrêtés et bloqués en 100 ms (durant cette phase, la vitesse sera considérée constante) ;
- la palette est assimilée à une masse parallélépipédique (masse maximale 50 kg) en contact avec deux rouleaux au comportement identique (figure3 du document DR6) ;
- facteur de frottement de la palette sur les rouleaux (pièces grasses)  $f = 0,05$  ;
- le mouvement de ralentissement sera considéré comme uniformément varié.

**Question B1.3 :** Déterminer la distance d'arrêt d'une palette lancée à vitesse  $v = 0,8$  m / s et les éventuelles conséquences.

La recherche d'une plus grande sûreté de fonctionnement conduit à proposer une évolution de la solution constructive de réalisation des butées imposant que la fonction butée soit assurée au repos et en cas de coupure d'énergie.

**Question B1.4 :** Proposer un mécanisme satisfaisant les exigences énoncées au-dessus. Le représenter sous forme de croquis ou schéma.

**Données complémentaires indicatives :**

- masse butée :  $5,5 \pm 0,1$  kg ;
- course butée : de 30 mm à 50 mm ;
- temps de fonctionnement :  $t < 1$  s ;
- actionneur pneumatique (pression d'utilisation :  $6 \text{ bar} \pm 1 \text{ bar}$ ) ;
- cinématique et motorisation sous convoyeur ;
- disponibilité élevée : réparation en moins de 15 mn.

**Question B1.5 :** Choisir et justifier la commande du distributeur : simple pilotage (monostable) ou double pilotage (bistable). Donner le schéma de câblage de l'équipement pneumatique vérin et distributeur.

## Partie C : asservissement de l'axe Y

L'usinage fait appel à une broche solidaire d'un chariot mobile suivant trois axes perpendiculaires. Une rigidité aussi grande que possible est nécessaire. L'axe Y représenté de façon très schématique sur la figure illustre la commande du déplacement vertical. La vitesse d'échantillonnage du ordinateur est supposée suffisamment grande pour que les variables analysées puissent être considérées comme étant continues.

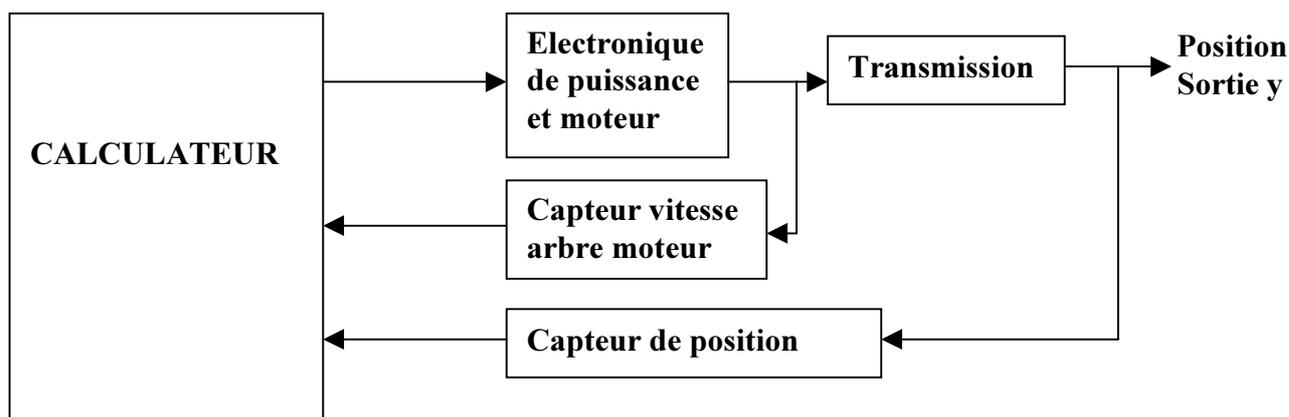


Figure C1 : Schéma bloc simplifié de l'asservissement de l'axe vertical

Le moteur synchrone autopiloté fait tourner l'arbre moteur à la vitesse angulaire  $\Omega$ . Celui-ci entraîne un arbre parallèle par l'intermédiaire d'un ensemble réducteur poulie/courroie crantée de rapport de réduction **0.5** qui permet le déplacement du chariot par une liaison vis écrou. Le pas de la vis est de **40 mm**.

Le fonctionnement de l'ensemble peut être analysé comme résultant du fonctionnement de deux boucles, boucle de vitesse et de position, étudiées successivement.

### C.1 Boucle de vitesse

La consigne  $n_c$  fournie par le ordinateur est comparée à la valeur  $n_v$  donnée par le capteur, constitué d'un codeur rotatif à 1 tour comportant 3600 traits par tour et solidaire de l'arbre moteur. Le schéma de la figure C2 précise les notations.  $K_p$  représente le gain pur d'un correcteur proportionnel.

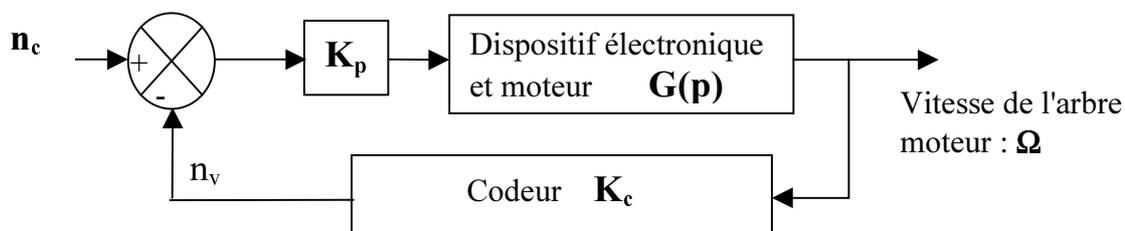


Figure C2 : Schéma bloc de la boucle de vitesse

Avec une valeur de consigne  $n_c$ , la mesure en régime permanent en boucle fermée donne :  $n_v = 60\,000$  Hertz.

**Question C1.1 :** Déterminer la constante  $K_c$  du codeur qui représente la transmittance de la chaîne de retour (unités SI).

Préciser la valeur correspondante de  $\Omega$  et celle de  $n_c$

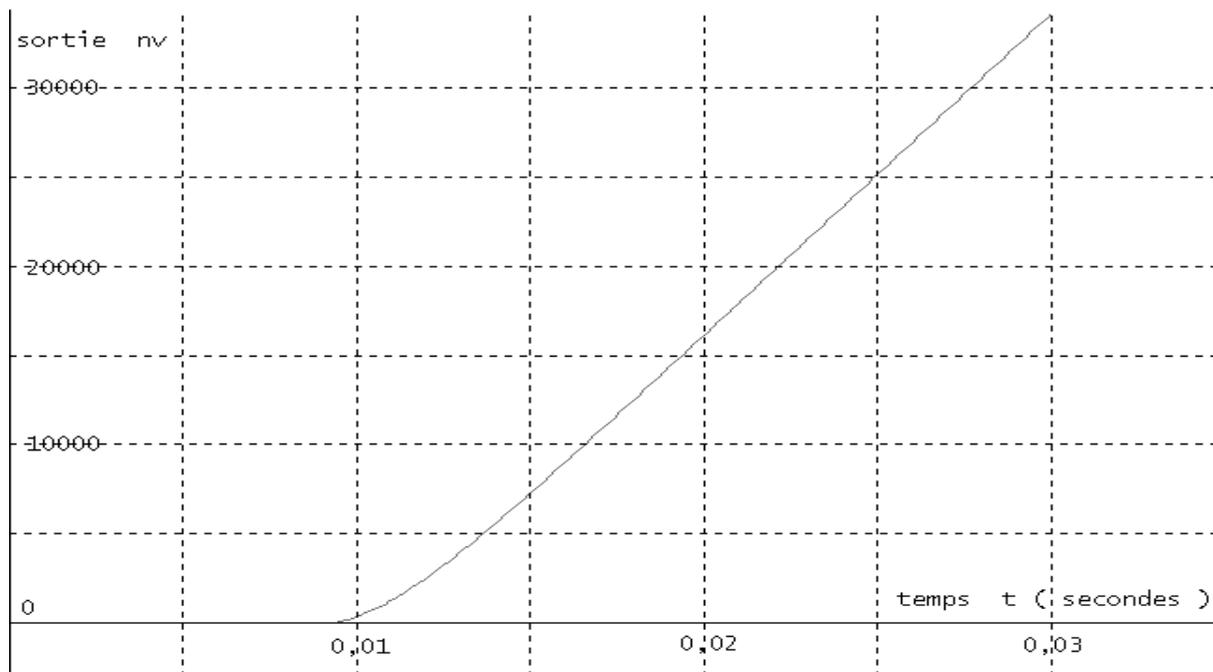
La transmittance  $G_i(p)$  en boucle ouverte de l'ensemble électronique de commande et du moteur en charge peut être représentée très approximativement par un élément intégrateur  $G_i(p) = k/p$  (  $p$  variable de Laplace ).  $K_p$  est fixé à 1.

**Question C1.2 :** Calculer et tracer la réponse **en boucle ouverte**  $n_v(t)$  à un échelon de consigne:  $n_{co} = cte u(t) = 60\,000 \text{ Hz } u(t)$ .

L'utilisation du calculateur et la constitution des différents éléments de l'électronique de commande et de puissance introduisent un retard noté  $T_r$ .

**Question C1.3 :** Tracer sur le même graphique l'allure de la réponse retardée. Quel est dans ce cas la fonction de transfert  $K_c.G(p) = n_v(p) / n_c(p)$  ?

**Identification de la fonction de transfert :** La détermination de la fonction de transfert de la chaîne directe  $G(p)$  est faite expérimentalement. La courbe de la figure C3 montre l'enregistrement obtenu durant 0.03 secondes, à partir du temps  $t=0$ , de la réponse  $n_v(t)$  **en boucle ouverte** (avec  $K_p=1$ ) à un échelon de consigne  $n_c = cte = 60\,000 \text{ Hz}$ .



**Figure C3 :** Relevé expérimental de la sortie  $n_v(t)$

On pose  $T(p) = n_v(p) / n_c(p) = K_p K_c G(p)$ .  $G(p)$  peut être identifié, à partir du modèle simplifié  $G_o(p) = \frac{k_0 e^{-T_0 p}}{p}$  ne tenant compte que des asymptotes de la réponse (intégrateur avec retard).

**Question C1.4 :** Donner la valeur du retard  $T_o$  qui apparaît sur l'enregistrement et calculer  $k_o$

**Question C1.5 :** Tracer, sur le document réponse DRep1, la représentation des diagrammes de Bode de la réponse en fréquence en boucle ouverte  $T(j\omega) = n_v(j\omega) / n_c(j\omega)$ .

Préciser la marge de phase, le gain maximum  $K_p \text{ Max}$  pour que la boucle reste stable, et donner la bande passante approximative en boucle fermée (sans calculer la transmittance en boucle fermée).

Indiquer la valeur à donner à  $K_p$  si on suppose que la marge de phase de la boucle soit approximativement de 45 degrés ?

**Fonction de transfert en boucle fermée :** On suppose pour la suite du problème que compte tenu du fonctionnement particulier et du dispositif interne de correction que :

$$T(p) = K_c K_p G(p) = \frac{60}{p} e^{-0,011 p} \text{ qui peut être approché par } \frac{60}{p \cdot (1 + 0,011 p)}$$

**Question C1.6 :** Calculer la fonction de transfert en boucle fermée  $F_i(p) = \Omega(p) / n_c(p)$

Déterminer la réponse temporelle correspondante et tracer la courbe représentative  $\Omega(t)$  pour une consigne  $n_{co} = 60\,000$  Hz.

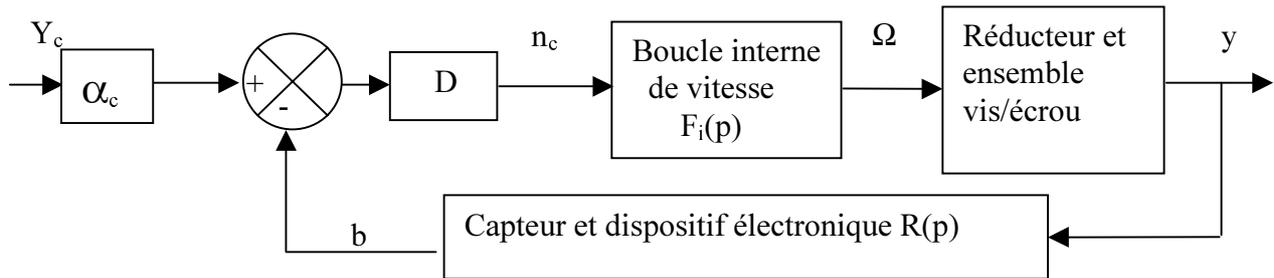
Déterminer l'accélération  $\gamma(t) = d\Omega(t)/dt$  et tracer la courbe représentative. Préciser la valeur du maximum et le temps correspondant.

## C.2 Boucle de position (boucle externe )

La précision nécessaire impose l'utilisation d'un capteur très performant. Une règle interférométrique assure une mesure de la valeur  $y$  avec une incertitude  $\delta m = 0,5$  microns. Ce capteur est associé à un dispositif électronique. Cet ensemble de transmittance  $R(p)$  fournit en sortie une valeur  $b$  proportionnelle à l'abscisse de la sortie  $y$  mesurée à partir de la position médiane sur l'axe. On mesure ainsi pour  $y = + 0.1$  m,  $b = + 100\,000$ . ( $b$  est considéré comme une variable continue).

Le cahier des charges impose que l'outil soit positionné sans dépassement de la cote programmée. Le schéma fonctionnel de l'ensemble commandé par une valeur de consigne  $Y_c$  élaborée par le calculateur est donné figure C4. Un correcteur de transmittance  $D$  est placé en cascade.

La valeur du coefficient  $\alpha_c$  est de  $10^6$ .



**Figure C4 :** Schéma bloc de la boucle de position

**Question C 2.1 :** Pour  $T(p) = K_c K_p G(p) = 60/p(1+\tau p)$  avec  $\tau = 0.011s$ , calculer la fonction de transfert  $E(p) = Y(p)/\Omega(p)$ . En déduire la fonction de transfert de l'ensemble :  $F(p) = Y(p)/Y_c(p)$

Calculer la valeur maximum  $D_M$  pour  $D$  supposé être un correcteur proportionnel pour que le système reste stable ?

Après essais,  $D$  est fixée à 3,5 (gain pur).

**Question C 2.2 :** Représenter la réponse en fréquence avec les diagrammes de Bode, sur le document réponse DRep2, déterminer la marge de phase et estimer approximativement la bande passante de l'ensemble en boucle fermée (sans calculer la transmittance en boucle fermée). En déduire le temps de réponse  $t_r$  à 5% en utilisant la relation : **(B.P.)**.  $t_r = 0,35$  (B.P. : Bande passante en Hz).

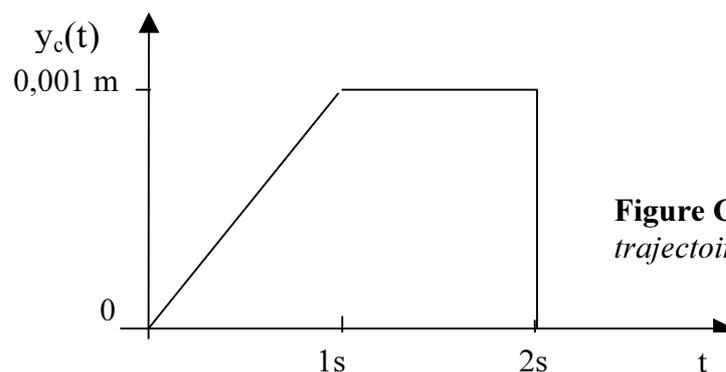
Calculer la réponse à un échelon de consigne  $y_c(t) = 0,01 u(t)$  et tracer, sur feuille de copie, la courbe correspondante  $y(t)$ . Déterminer numériquement le temps de réponse à 5%.

Proposer le type d'une correction  $D(p)$  à mettre en œuvre pour améliorer le temps de réponse ?

Le schéma de la figure C4 peut compte tenu des valeurs de  $\alpha_c$  et  $R(p)$  se ramener à celui d'un système à retour unitaire.  $D$  reste fixé à 3,5.

**Question C 2.3 :** Pour  $y_c(t) = a t u(t)$ , calculer l'erreur permanente de traînage et tracer, sur la feuille de copie, approximativement la réponse  $y(t)$  à cette rampe .

En déduire le profil réel correspondant au profil théorique montré figure C5. Quelles conclusions peut-on énoncer ?



**Figure C5 :** profil d'une trajectoire

## Partie D : Application pédagogique

L'horaire du module " Automatismes et informatique industrielle" en 2<sup>ème</sup> année d'IUT Génie mécanique et productique prévoit 8 H de cours, 18H de TD et 32 H de TP.

Ce module comprend deux chapitres supposés d'égale importance:

- Asservissement des systèmes linéaires
- Robotique

**Finalité :** L'objectif recherché est que *"l'étudiant doit être capable de comprendre des systèmes automatisés continus et par la même d'en assurer une utilisation rationnelle"*.

Les recommandations pédagogiques précisent qu'il est souhaitable de *"s'appuyer sur des exemples concrets"*.

Il est demandé de détailler une séquence pédagogique portant sur le **début** du chapitre **"Asservissement des systèmes linéaires"** dans le but de présenter une introduction au système asservi. (La transformée de Laplace est supposée connue). Les aspects touchant aux concepts de stabilité, d'analyse fréquentielle et de synthèse seront étudiés dans d'autres séquences pédagogiques.

**Travail demandé :** On demande plus particulièrement de

1- détailler la séquence pédagogique **"Introduction au système asservi"** proposée faisant apparaître notamment les points suivants :

- Présentation de différents systèmes de commande .
- Schéma fonctionnel d'un système. Notion de système bouclé, non bouclé.
- Fonction de transfert d'un système asservi.

2 – de préciser les principaux objectifs opérationnels ;

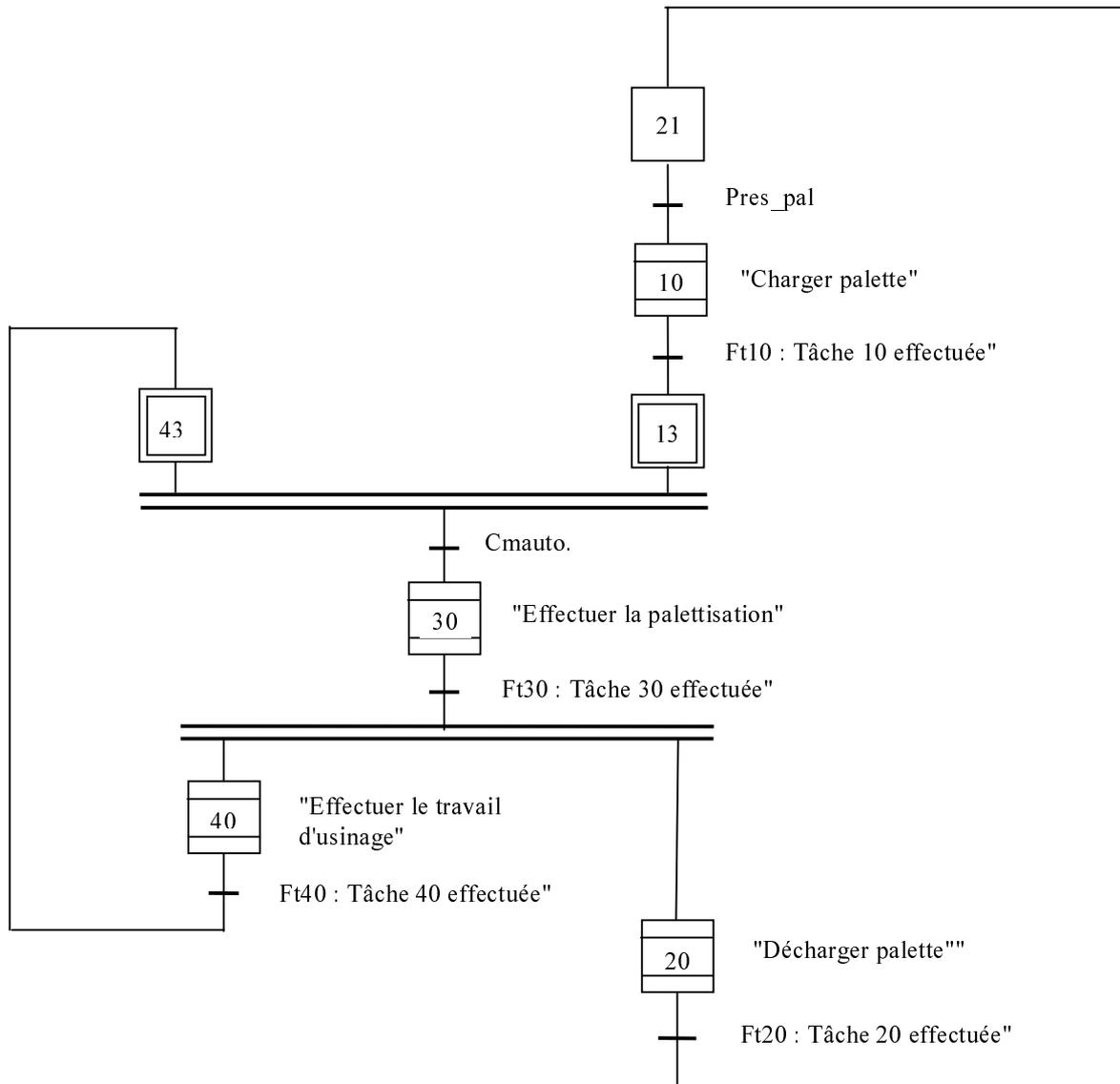
3 – d'identifier les points clés et de faire ressortir les éléments fondamentaux ;

4 – d'indiquer les supports techniques, outils et moyens pédagogiques utilisés.

# ELEMENTS DE CORRIGE

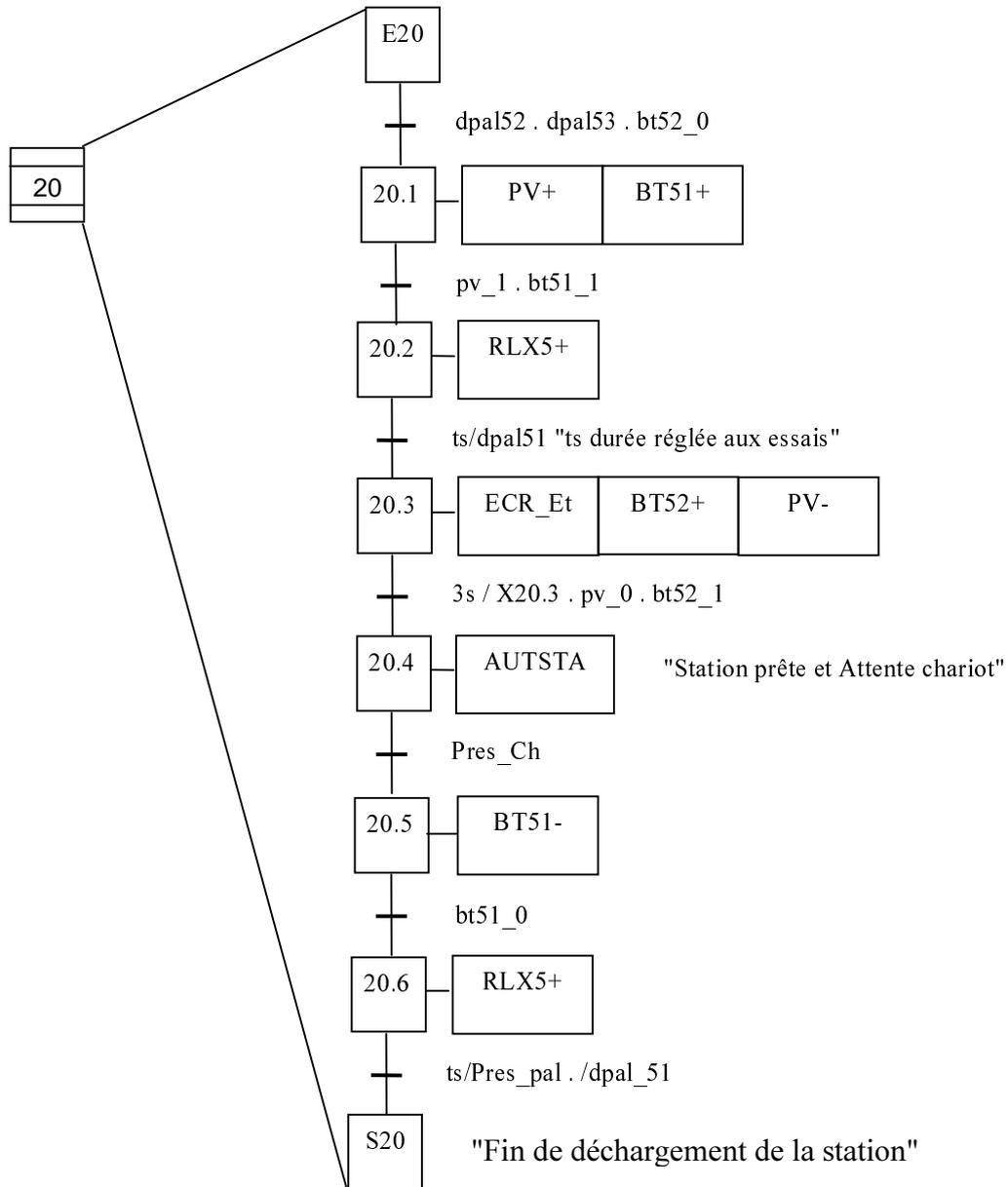
## Deuxième épreuve

Question 1.1 :



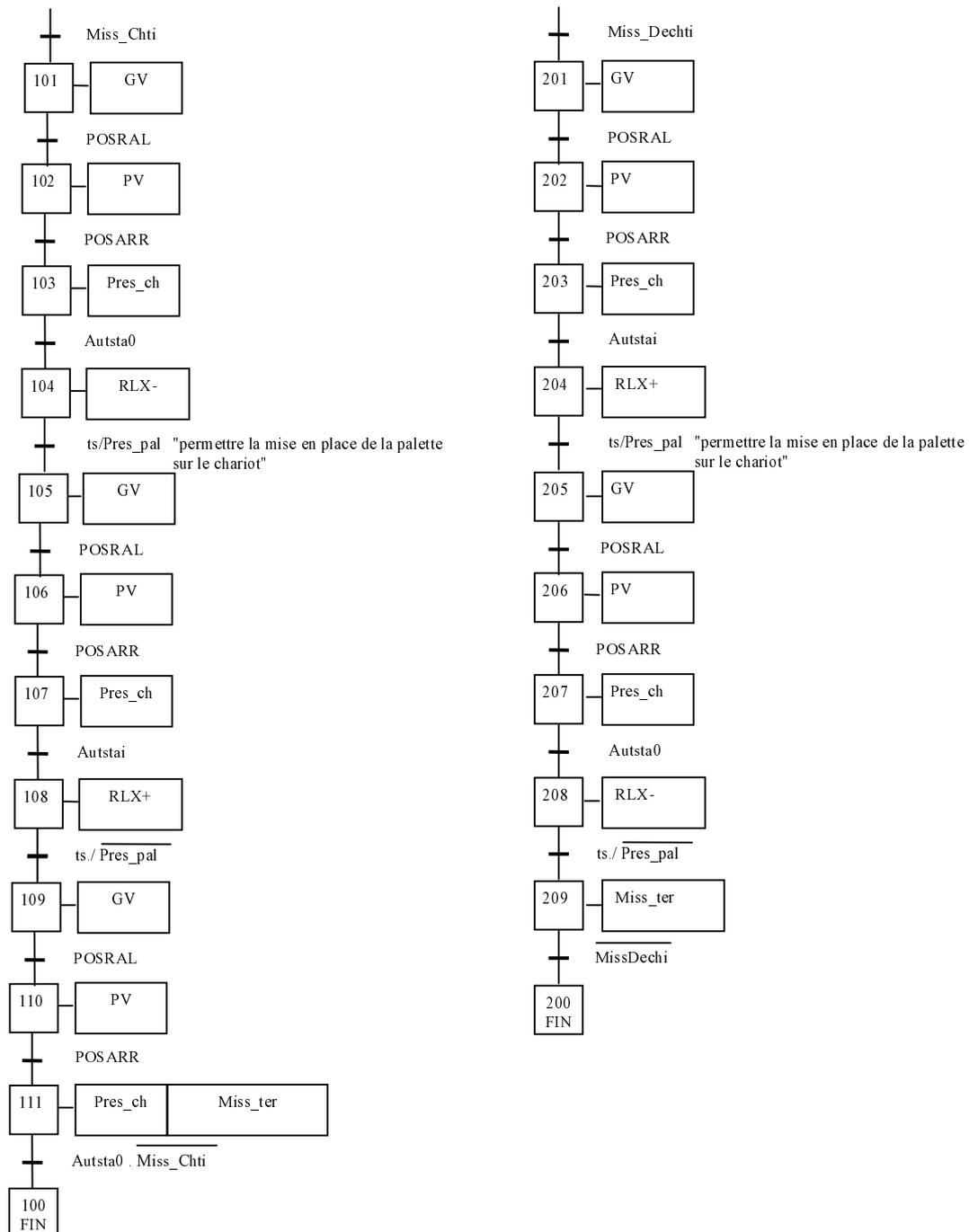
Le choix de la situation initiale n'était pas demandé. Le corrigé propose de choisir une situation permettant le démarrage du centre d'usinage dès l'ordre de marche.

Question 1.2



le choix a été fait de prendre en compte la présence chariot dans la spécification de la tâche pour permettre une préparation à l'évacuation en temps masqué.

## Question A2.1



### Commentaires :

Cette question ne présentait pas de difficulté particulière. Elle visait à gérer l'utilisation d'information de ralentissement et d'arrêt élaborées par ailleurs. Quelques candidats ont proposé de réutiliser la séquence GV, PV.. Le manque de maîtrise des outils de description a nui à cette louable initiative, en particulier l'utilisation du concept de macro étape peu approprié dans ce cas

Un nombre important de candidats n'a pas perçu les différences de cycles.

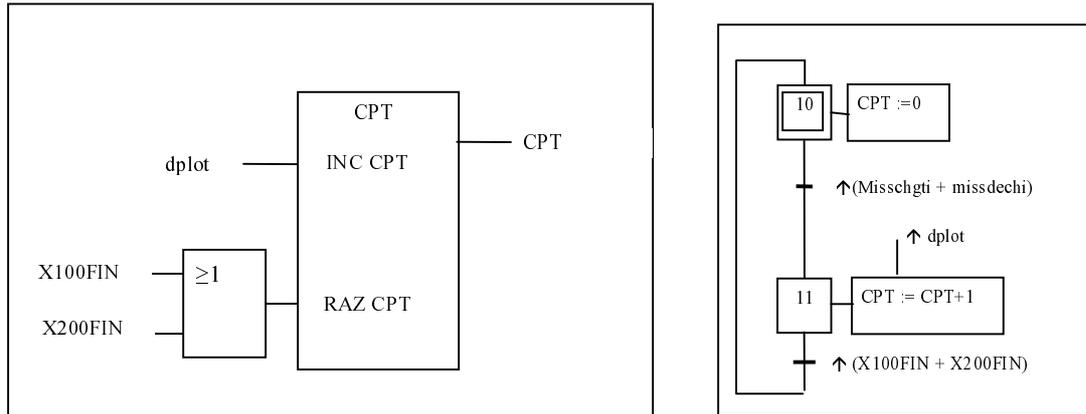
Cycle de chargement :

- aller à la station 1 (prise palette) ;
- aller à la station i (dépose palette) ;
- aller à la station 0 (retour en position d'attente).

Cycle de déchargement :

- Aller à la station i (prise palette usinée) ;
- Aller à la station 0 (déchargement de la palette usinée et attente).

Question A2.2



POSRAL = Misschgt<sub>i</sub>. ([CPT=1] + [CPT=2i-1] + [CPT=11]) + MissDech<sub>i</sub>. ([CPT=2i-1] + [CPT=11])

POSARR = Misschgt<sub>i</sub>. ([CPT=2] + [CPT=2i] + [CPT=12]) + MissDech<sub>i</sub>. ([CPT=2i-1] + [CPT=12])

D'autres formes de description pouvaient être utilisées (algorithme graphique ou littéral,..).

Question B1.1 :

La description schématisée de la figure 2 du document DR6 représente un ensemble standard d'unités de conditionnement combinées, permettant la mise en pression progressive à la mise en marche et la mise à l'échappement rapide à la mise hors tension.

Repère du constituant	Nom du constituant	Fonction
1	Distributeur manuel de mise en circuit (robinet d'isolement)	Mettre en circuit, Sectionner, isoler l'installation et mettre à l'échappement
2	Filtre	Eliminer les principales particules et l'eau
3	Détendeur et manomètre	Régler et afficher la pression en aval du groupe
4	Ensemble lubrificateur	Introduire des gouttes d'huile dans l'air afin de permettre la lubrification des divers composants
5	Distributeur 3/2 avec commande électrique	Commander la mise en circuit à partir de la commande et notamment la mise hors énergie en cas d'arrêt de sécurité
6	Distributeur 2/2	Commander la montée progressive de la pression pendant la mise en marche et une mise à l'échappement rapide en cas de coupure

Question B2.2 :

La coupure de l'énergie électrique doit provoquer la coupure des autres énergies de puissance, pneumatique notamment. La commande doit également agir dans le sens de l'élimination des énergies résiduelles.

Deux cas peuvent se présenter, à la coupure d'énergie :

La butée est en position basse, elle le demeure ;

La butée monte ou est sortie, elle redescend sous l'effet de l'inversion de la commande, de l'élasticité de l'air dans la chambre et sous l'effet des masses.

Ce dernier cas est susceptible de créer une situation dangereuse : la fonction arrêt de la palette peut ne pas être assurée.

Question B3.3 : Distance d'arrêt

Distance parcourue par la palette sur la lancée (mouvement de ralentissement

uniformément varié) de la forme générale :  $d = -\frac{1}{2}.a.(t-t_1)^2 + v_0.(t-t_1) + d_1$

avec  $d_1 = v_0.(t-t_0)$  distance parcourue par la palette durant le temps de réponse des constituants (100 ms) ; application numérique  $d_1 = 0,08 m$

Les forces de frottements par rouleau peuvent être estimées à  $f = 0,05 \times Mg/2$  soit  $f \approx 12,5 N$  avec  $g = 10 m/s^2$ . L'application du principe fondamental de la dynamique appliqué à la palette selon un mouvement selon  $y$  :  $\vec{f}_y = m.\vec{a}_y$ .

$$\|\vec{a}_y\| = \frac{\|\vec{f}_y\|}{m} ; \text{ application numérique : } \|\vec{a}_y\| \approx 0,5 \text{ m/s}^2$$

Détermination de la durée d'arrêt :

$$v = -a_y \cdot (t - t_0) + v_0$$

$$\text{soit pour } v=0 : t - t_0 = \frac{v_0}{a_y} ; \text{ application numérique } t = 1,6 \text{ s}$$

L'expression numérique de la distance d'arrêt vaut :

$$d = -0,25 \cdot (1,6)^2 + 0,8 \cdot (1,6) + 0,08$$

$$d \approx 0,74 \text{ m}$$

Un autre mode de calcul plus rapide pouvait être utilisé celui issu de l'application du théorème de l'énergie cinétique en exprimant la transformation de l'énergie cinétique en énergie dissipée dans le freinage.

$$\Delta E_c = m \cdot g \cdot f \cdot d_2$$

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2 = m \cdot g \cdot f \cdot d_2$$

$$\text{soit } d_2 = \frac{v_0^2}{2 \cdot g \cdot f}$$

$$\text{A.N. avec } g \approx 10 \text{ m.s}^{-2} \quad d_2 \approx 0,64 \text{ m}$$

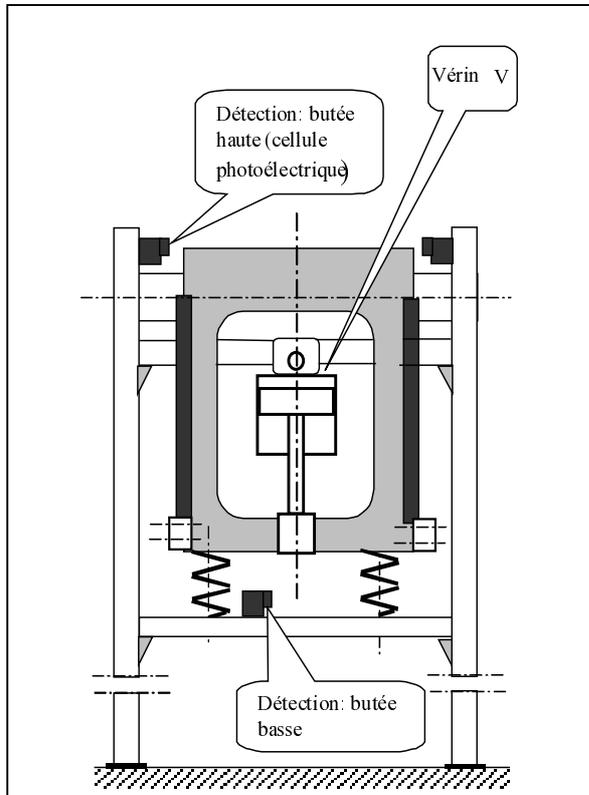
$$\text{Soit } d \approx 0,74 \text{ m}$$

Même si cette valeur est obtenue à partir de calculs basés sur des hypothèses particulièrement simples, elle montre que dans certaines configurations, comme par exemple, une palette sortant d'un C.U., le risque d'une chute de palette sur le sol existe. (le cas s'est effectivement produit lors d'une coupure générale d'E.D.F.).

Question B3.4 :

Eléments pris en compte en réponse à l'amélioration souhaitée

- position de repos (en absence d'énergie) : butée sortie sous l'effet de ressorts ;
- actionneur disposé dans l'axe, pour limiter les effets d'arc-boutement ;
- 



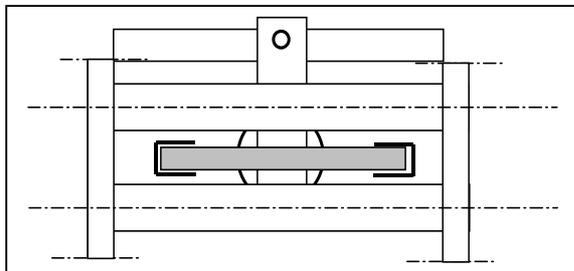
Le mouvement de baisse de la butée est réalisé par la commande du vérin V. La remontée et le maintien en position haute sont réalisés par ressorts.

*Remarques :*

*d'autres solutions sont envisageables. Le critère simplicité doit être pris en compte.*

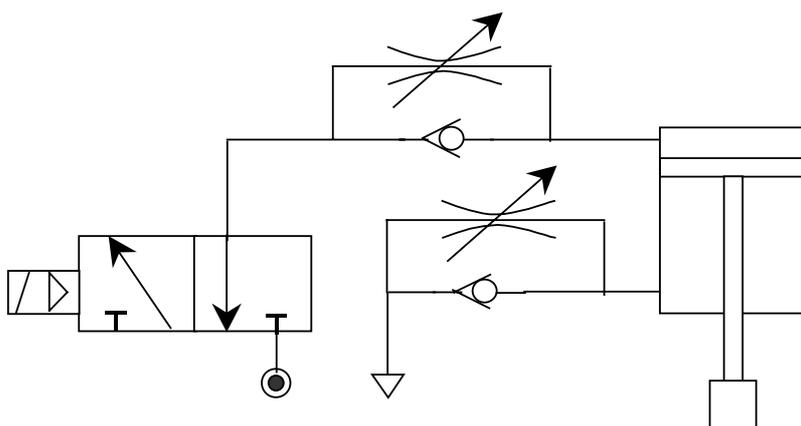
*La détection sur la butée est préférée à celle sur le vérin pour que l'information soit la plus proche possible de l'effet attendu.*

*Actionneur simple effet : discutable du fait des masses à mouvoir ;*



Question B1.5 sur 3 points

Choix du mode de pilotage simple pilotage (monostable) ou double pilotage (bistable)./ 3 points



Le choix est déterminé par le comportement orienté en cas de disparition de l'ordre de commande. La demande ici est que la butée soit en position haute.

Réponse : simple pilotage

Le choix a été fait d'utiliser un vérin double effet, commandé par un distributeur 3/2. ce montage permet de réguler le mouvement de montée de la butée par réducteur de débit.

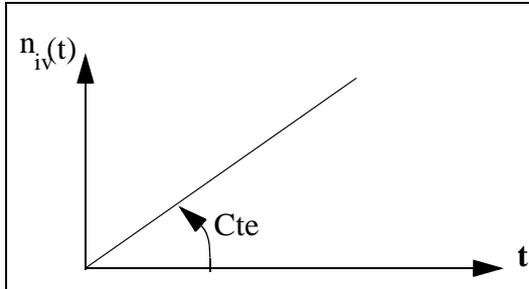
*D'autres solutions sont évidemment possibles.*

*Toutefois, il faut vérifier que dans le mouvement de montée, les ressorts sont l'actionneur et qu'une régulation a été prévue dans les deux sens.*

## C ASSERVISSEMENT DE L'AXE Y

### QUESTION:C.1 BOUCLE DE VITESSE

#### C.1.1

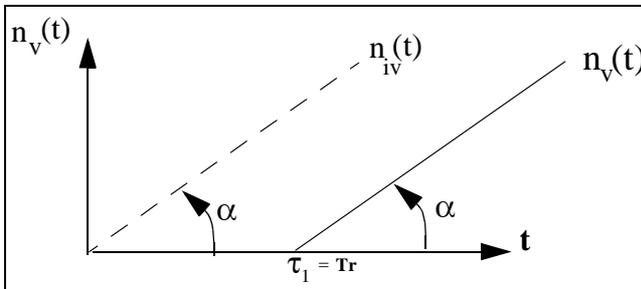


$$K_c = \frac{n_v}{\Omega} = \frac{3600}{2\pi} = 573 \text{ (Hz/rd/s)}$$

$$n_v = 60000 \text{ Hz}$$

$$\Omega = \frac{n_v}{573} = 104,7 \text{ rd/s}$$

#### C.1.2



$$n_{iv}(t) = \int_0^t k K_c n_{co}(t) dt$$

$$= (Cte \cdot t)$$

avec \$Cte = 60000k.K\_c = \alpha\$

#### C.1.3

$$n_v(t) = n_{iv}(t - \tau_1)$$

Donc:

$$K_c G(p) = \frac{k K_c}{p} e^{-\tau_1 p}$$

$$T(p) = K_p K_c G(p) = K_c K_p \frac{k_o \cdot e^{-T_o p}}{p} \quad (K_p = 1)$$

#### C.1.4

\$K\_p=1\$ et la pente \$= K\_c\$ \$k\_o=(34,86 \cdot 10^6)\$ \$k\_o \approx 1,786 \cdot 10^6\$ mesuré sur la figure C3 de l'énoncé

Il vient \$k\_o=0.052\$ Hz/s et \$T\_o=0.011\$ s (intersection de l'asymptote avec l'axe des temps sur la figure C3)

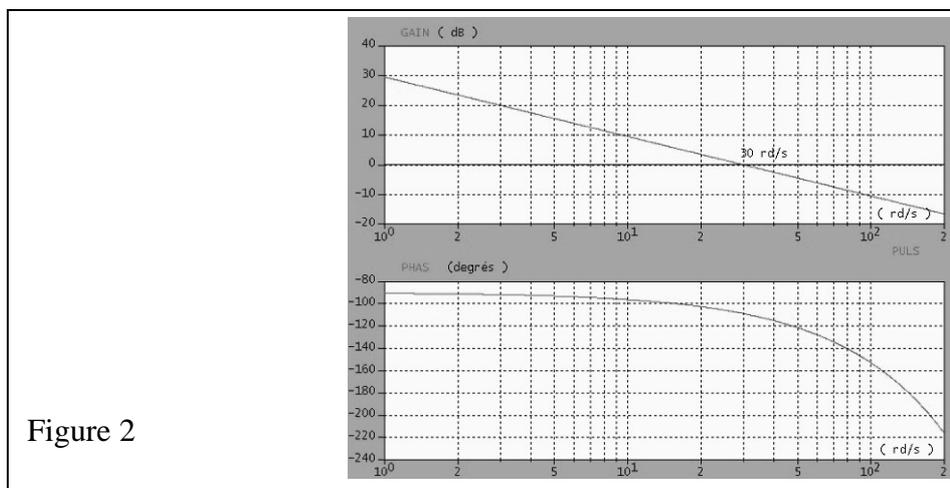
#### C.1.5

Calculons le module de la réponse en fréquence \$A = |T(j\omega)|\$

$$\text{Soit } A = \left| \frac{K_c k_o}{j\omega} e^{-T_o j\omega} \right| = \frac{k_c k_o}{\omega} = \frac{30}{\omega}$$

$$\text{et } \varphi = \arg T(j\omega) = -\arg(j\omega) + \arg e^{-j \cdot T_o \omega}$$

$$\varphi = -\left( 90 \cdot \omega T_o \frac{180}{\pi} \right) \text{ degrés}$$



pour  $\omega = \omega_c \approx 30 \text{ rd/s}$  on a  $|T(j\omega)| = 0 \text{ db}$  et une marge de phase  $\Phi_m = 70^\circ$

La bande passante BP  $\approx \omega_c = 30 \text{ rd/s}$

$$\text{Soit } BP = \frac{30}{2\pi} = 5 \text{ Hz}$$

Pour que la marge de phase soit approximativement de 45 degrés:

$\Phi'_m = 45^\circ$  il faut que le gain  $K_p$  soit augmenté de  $K_{p0} \approx 7 \text{ dB}$  environ  
 ( $K_{p0} \approx 2, 2$ ) et dans ce cas  $\omega_c \rightarrow \omega'_c \approx 70 \text{ rd/s}$

Pour atteindre la limite de stabilité, on doit augmenter le gain de 13dB environ.

Soit  $K_{p\text{max}} = 4,5$

En effet, on aura dans ce cas :  $|T(j\omega)| = 1$  (0dB)

et  $\varphi_{\omega_c} = -180^\circ$  avec  $\omega_c \approx 143$  rd/s

### C.1.6

$$T(p) = \frac{60}{p(1 + 0,011p)}$$

$$Fi(p) = \frac{1}{K_c} \cdot \frac{T(p)}{1 + T(p)} = \frac{1}{K_c} \times \frac{5455}{p^2 + 90,9p + 5455}$$

de la forme :

$$\frac{1}{K_c} \cdot \frac{\omega_n^2}{p^2 + 2\xi\omega_n p + \omega_n^2}$$

avec  $\omega_n \approx 74$  rd/s  $\xi \approx 0,61$

La réponse est donnée par :

$$\Omega(p) = \left( \frac{60000}{p} \times \frac{1}{573} \cdot \frac{1}{\frac{1}{\omega_n^2} p^2 + \frac{2\xi}{\omega_n} p + 1} \right)$$

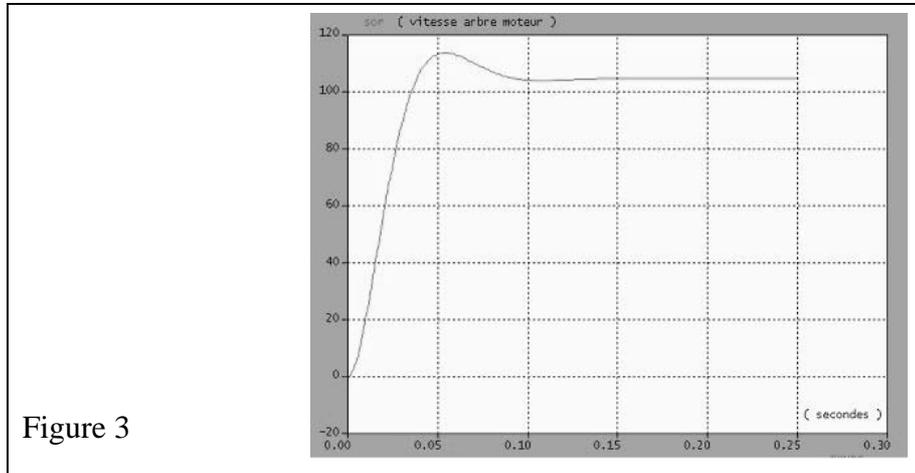
$$\Omega(p) = 104,7 \left( \frac{1}{p} \cdot \frac{1}{1 + \frac{2\xi}{\omega_n} p + \frac{1}{\omega_n^2} p^2} \right)$$

La table DR7 donne la réponse temporelle:

$$\Omega(t) = 104,7 \left[ 1 - e^{-\xi\omega_n t} \left( \cos\omega_p t + \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \sin\omega_p t \right) \right]$$

avec :  $\omega_p = \omega_n \sqrt{1 - \xi^2}$

La figure 3 représente la variation de  $\Omega(t)$



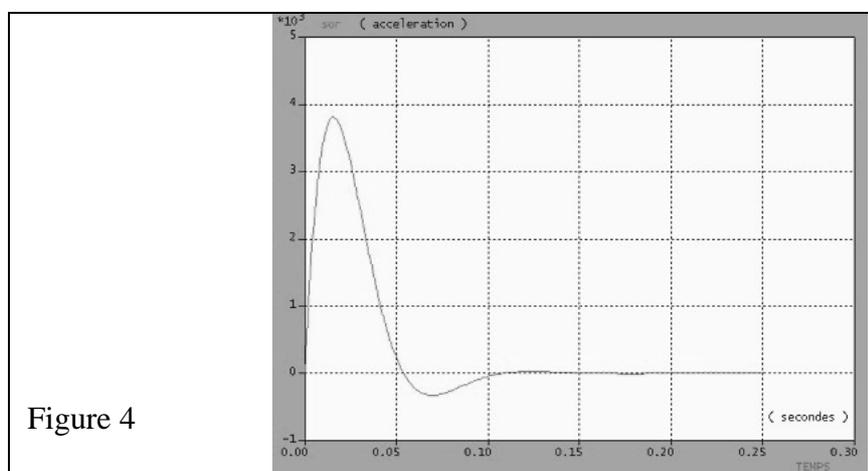
Le dépassement est de l'ordre de 9% et  $\Omega(t)_{\max} \sim 114 \text{rd/s}$  pour  $t \sim 0,054 \text{s}$

D'autre part:

$$\begin{aligned} L[\gamma(t)] &= L\left[\frac{d\Omega(t)}{dt}\right] = p\Omega(p) \\ &= 104,7 \frac{\omega_n}{p^2 + 2\xi\omega_n p + \omega_n^2} \\ &= 9800 \frac{58,2}{(p + 45,45)^2 + (58,2)^2} \end{aligned}$$

Donc:  $\gamma(t) = 9800 e^{-45,45 t} \cdot \sin(58,2 t)$

La variation est représentée sur la figure 4



$$\gamma_{\max} \sim 3800 \text{ rd/s}^2 \text{ pour } t_M \sim 0,016 \text{ s}$$

**Question: C.2**

C.21

$$E(p) = \frac{Y(p)}{\Omega(p)} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{p} \times \frac{0,04}{2\pi} \sim \frac{0,00318}{p}$$

$$F(p) = \alpha_c \times \frac{1}{R(p)} \times \frac{FTBO}{1 + FTBO}$$

$$\text{Avec } FTBO = D \times F_i(p) \times E(p) \times R(p) = T_e(p)$$

avec :

$$R(p) = \frac{100\,000}{0,1} = 10^6 (= \alpha_c)$$

Il vient:

$$F(p) = \frac{T_e(p)}{1 + T_e(p)} \sim \frac{D \times 30300}{p^3 + 90,9p^2 + 5455p + 30300D}$$

Pour que le système soit stable, il faut que les racines de l'équation caractéristique

$$EQ = p^3 + 90,9p^2 + 5455p + 30300D = 0$$

soient à partie réelle négative.

On trace le tableau de Routh et on applique le critère de Routh ce qui donne:

$$D_{\max} \sim 16 = D_M$$

C.22 On fixe  $D = 3,5$

La figure 4 représente les diagrammes de Bode correspondant à:  $T_e(j\omega)$

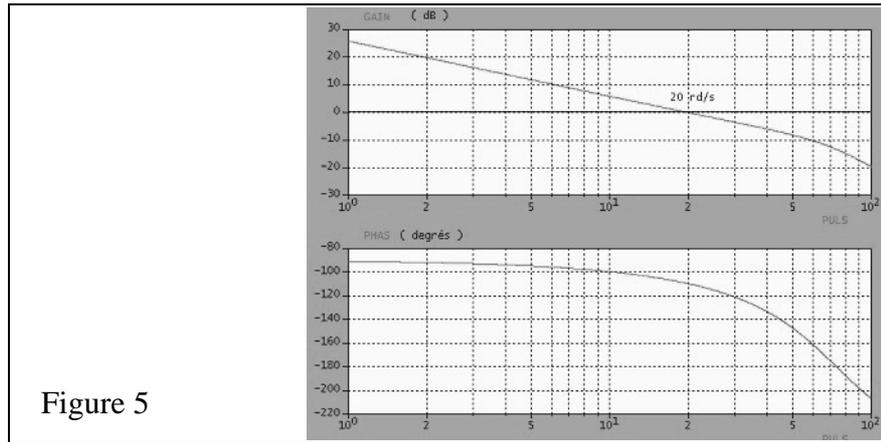


Figure 5

La marge de phase mesurée est  $\varphi_m \sim 70$ degrees

La bande passante en boucle fermée est approximativement égale à  $\omega_c = 20$  rd/s

$$\text{Soit BP} = \frac{20}{2\pi} \sim 3,2 \text{ Hz}$$

La relation classique  $\text{BP} \times t_r = 0,35$  donc  $t_r \sim 0,11$ s

La relation précédente se démontre en toute rigueur pour un système du premier ordre. On l'utilise néanmoins pour les autres systèmes car elle donne un bon ordre de grandeur de  $t_r$ .

$$\text{Si } y_c(t) = 0,01u(t)$$

$$Y_c(p) = \frac{0,01}{p}$$

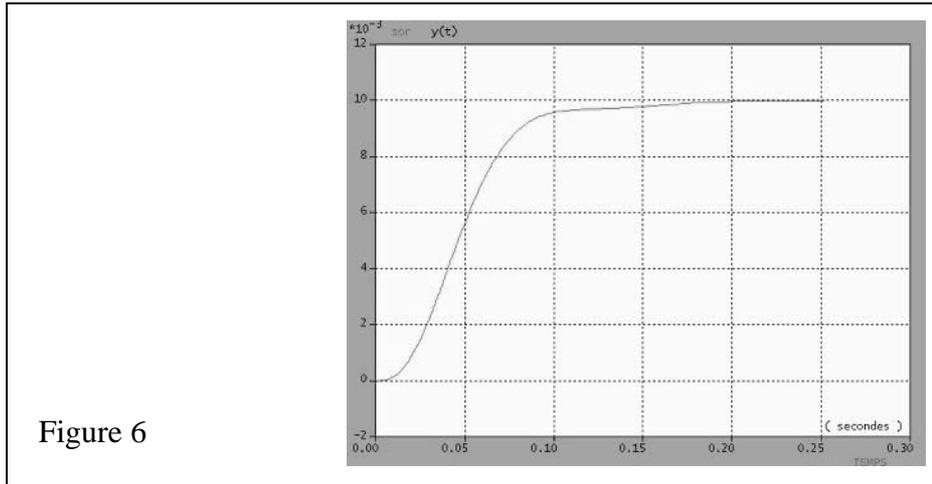
$$\begin{aligned} \text{Donc } Y(p) &= Y_c(p) \cdot F(p) = \frac{0,01}{p} \frac{106000}{p^3 + 91p^2 + 5455p + 106000} \\ &= \frac{0,01}{p} \frac{106000}{(p + 29)(p^2 + 62p + 3655)} \end{aligned}$$

$$= 0,01 \left[ \frac{1}{p} - \frac{1,35}{p + 29} + \frac{0,35p - 17}{(p + 31)^2 + (52)^2} \right]$$

Il vient:

$$y(t) = 0,01 [1 - 1,35e^{-29t} + 0,35e^{-31t} \cos 52t - 0,135e^{-31t} \sin 52t]$$

La réponse  $y(t)$  est représentée sur la figure 6



On mesure ou on calcule approximativement  $t_r \approx 0,1 \text{ s}$

ce qui est proche de la valeur déterminée approximativement à la question précédente

Le théorème de la valeur finale permet d'écrire:

$$\varepsilon_T = \lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon(t) = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot \varepsilon(p) \quad (t \rightarrow \infty \text{ et } p \rightarrow 0)$$

Pour améliorer le temps de réponse, il faut donc augmenter la bande passante BP car  $BP \times t_r \sim \text{Cte}$ .

Une correction par avance de phase permet d'augmenter la bande passante et par conséquent de diminuer  $t_r$

C.23

Les valeurs de  $R(p)$  et  $\alpha_c$  étant identiques et supposées constantes, le système est représenté par un système de retour unitaire, de fonction de transfert en boucle ouverte  $T_e(p)$  (question C.21 avec  $D = 3,5$ )

$$y_c(t) = a \cdot t \cdot u(t)$$

Donc  $Y_c(p) = \frac{a}{p^2}$ . La variation est représentée sur la figure 7 pour  $a=0,001$

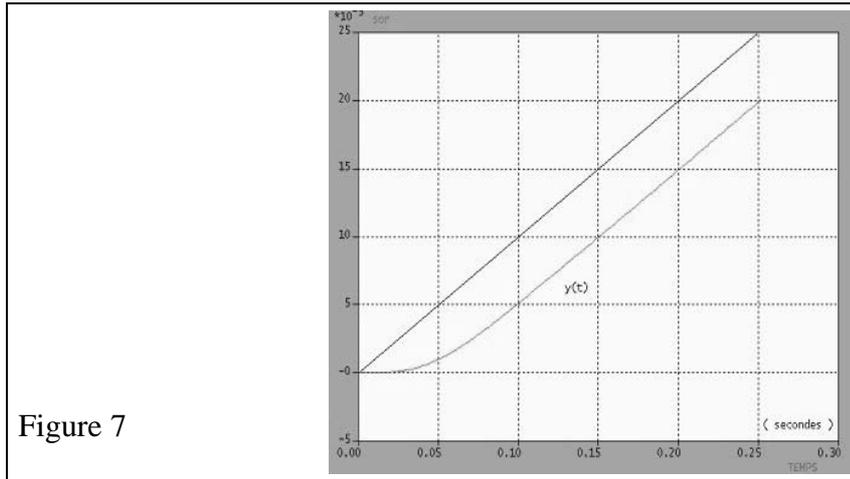


Figure 7

Le théorème de la valeur finale permet d'écrire

$$\begin{aligned} \varepsilon_T = \lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon(t) &= \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot \varepsilon(p) \quad (t \rightarrow \infty \text{ et } p \rightarrow 0) \\ &= \lim_{p \rightarrow 0} p [y_c(p) - y(p)] \quad (p \rightarrow 0) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lim_{p \rightarrow 0} Y_c(p) \cdot (1 - F_p) &= \lim_{p \rightarrow 0} p \frac{a}{p^2} \left[ 1 - \frac{30300xD}{p^3 + 90,9p^2 + 5455p + 30300xD} \right] \\ &= a \lim_{p \rightarrow 0} \frac{1}{p} \left[ \frac{p^3 + 90,9p^2 + 5455p}{p^3 + \dots\dots\dots 106155} \right] \\ &= a \times \frac{5455}{106155} = \frac{a}{20} \end{aligned}$$

Remarque

On peut vérifier que le gain  $k_v$

qui apparaissait au numérateur de la fonction de transfert en boucle ouverte est  $k_v \sim 20$

Le système étant de classe 1 (1 intégration dans la fonction de transfert en boucle ouverte due à

$E(p)$  (cf. C.21), on retrouve bien que l'erreur de traînage  $\varepsilon_T = \frac{a}{k_v} = \frac{a}{20}$

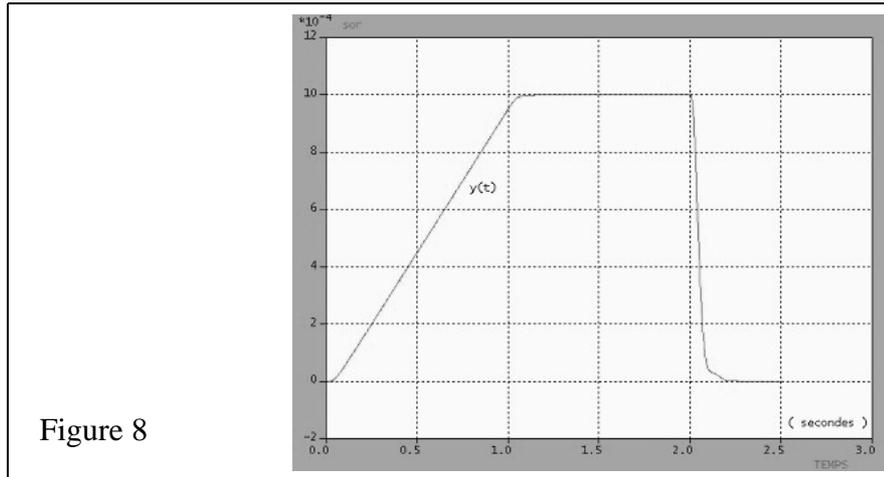
L'erreur de position  $\varepsilon_{pos}$  est nulle

On peut représenter sur la figure 8 l'allure de la pièce usinée avec  $a = 0,001$

$$\text{et } \varepsilon_T = \frac{a}{20} = (5 \cdot 10^{-5} \text{ m})$$

On peut conclure que l'erreur de position est nulle et que l'erreur de traînage entraîne une erreur

sur la côte usinée. Cette erreur sera d'autant plus grande que la vitesse sera grande.



De plus le temps de réponse non nul entraîne également une erreur visible sur la dernière partie de la courbe.

# Partie D :

## Préambule :

Il convient tout d'abord de situer la séquence compte tenu du sujet proposé qui mentionne l'existence d'un volume horaire à ne pas dépasser, à partager avec un autre chapitre consacré à la robotique. Il peut sembler utile en effet de présenter en détail le fonctionnement des capteurs et actionneurs relevant du domaine de la robotique dans ce cadre car le volume global du module asservissement + robotique est relativement faible.

Il paraît important également de fixer l'horaire global du module asservissement des systèmes linéaires qui serait approximativement comme indiqué dans le sujet égal à la moitié de l'horaire total, soit environ 4 H de cours ; 9 H de TD ; 16 H de TP.

Le sujet précise que la séquence à détailler se limite à « **Introduction au système asservi** » et il est précisé que les aspects consacrés aux concepts de stabilité, d'analyse fréquentielle et de synthèse seront étudiés dans une autre partie, donc hors sujet.

Il apparaît donc nécessaire de présenter une séquence structurée en tenant compte de l'horaire limité que l'on doit définir. La durée de la séquence d'introduction demandée sera environ de 2 H de cours, 4 ou 5 H de TD, 16 H de TP, ce qui est relativement faible et impose des choix judicieux et de ne parler que des notions importantes avec une répartition harmonieuse des apprentissages des différentes notions entre enseignements théoriques, dirigés ou pratiques. On peut préciser également ce qui sera examiné dans le cadre du chapitre Robotique.

Le sujet mentionne différents points importants à faire ressortir, qui peuvent nous guider pour proposer un plan des différentes parties de la séquence. Les parties expérimentales complémentaires seront proposées ensuite.

## Séquence : Introduction aux systèmes asservis

### *Présentation de différents systèmes de commande :*

- a) selon le niveau de contrôle de l'effet attendu ;
  - commande directe, sans contrôle de l'effet (boucle ouverte)

Un système de commande en boucle ouverte est un système où le signal de commande est indépendant du signal de sortie.

- commande avec compte rendu d'exécution (boucle fermée):
  - o ■ compte rendu de fin d'exécution ;
  - o ■ compte rendu avec surveillance d'exécution
  - o ■ compte rendu continu (ou quasi continu).

Un système en boucle fermée est un système où le signal de commande dépend d'une façon ou d'une autre du signal de sortie.

- b) selon la modulation de l'énergie:
  - commande Tout ou rien (pas de contrôle de l'énergie de puissance) ;
  - commande modulée (contrôle de l'énergie de puissance par l'utilisation de pré actionneurs proportionnels : variateurs, distributeurs proportionnels, etc.).
- c) selon les technologies de puissance mises en jeu (électrique, pneumatique et hydraulique).

### Quelques définitions :

Un système est un assemblage, un ensemble ou une collection d'objets interconnectés de façon à former un tout.

Les systèmes asservis sont une classe des systèmes de commande qui possèdent la propriété principale d'agir périodiquement ou en continu sur la commande pour tenir compte des écarts entre ce qui est attendu et ce qui est obtenu.

Les grandeurs asservies peuvent être très diverses : mécaniques (position, vitesse, accélération, couple, effort, niveau...), électriques (intensité, tension, puissance,...), physiques (température) etc....

Ces systèmes peuvent être très complexes, la présentation ici se limite à des systèmes mono variables (une variable d'entrée, une variable de sortie), constituant une chaîne fonctionnelle minimale (pré actionneur, actionneur, transformateur, effecteur et capteur).

Le principe général de commande est la commande proportionnelle. Plus l'effet observé est voisin de celui visé plus la valeur de la grandeur de commande est faible, ce qui peut être

obtenu simplement par une commande fonction de l'écart  $\varepsilon$  (notation courante) utilisant la soustraction entre deux grandeurs :

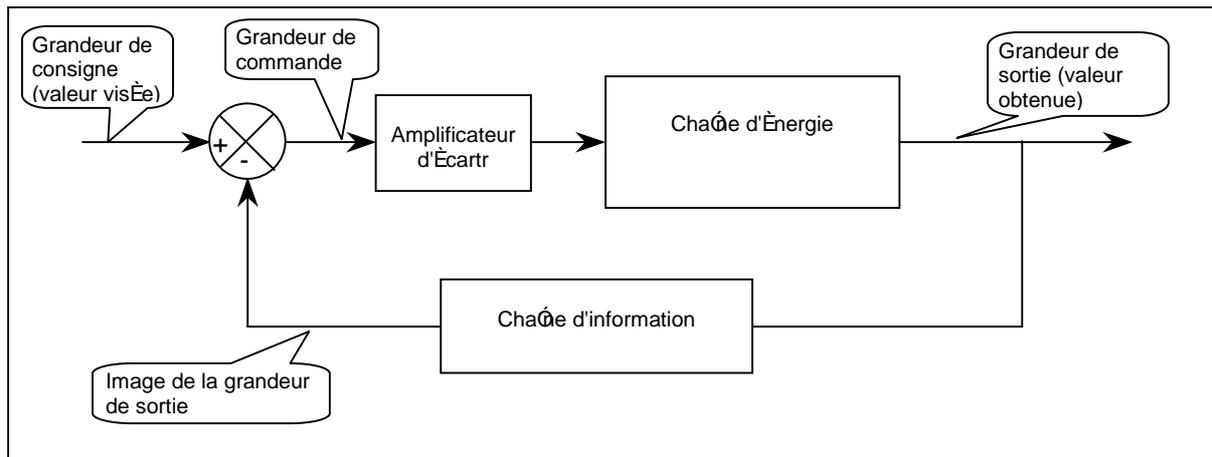
$$\text{valeur de la grandeur de commande} = K \varepsilon$$

$\varepsilon = \text{valeur de consigne (grandeur de sortie visée)} - \text{valeur image de la grandeur de sortie}$  ;

avec  $K$  : coefficient amplificateur.

$K$  permet de rendre la commande plus rapide.

Le schéma général d'un asservissement peut s'établir comme suit :



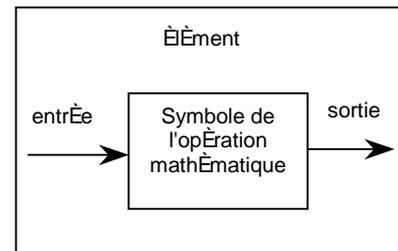
Système en boucle fermée ou système bouclé (précisions) :

Le schéma au-dessus présente un système en boucle fermée, il est encore appelé système bouclé. L'entrée modifie l'écart qui modifie la sortie qui elle-même rétroagit sur l'écart jusqu'à l'annuler. C'est de cette boucle que les asservissements tirent leurs propriétés particulières.

Remarque : Le bouclage effectif peut être permanent dans le cas d'une commande ne conduisant pas à la saturation (cas de l'asservissement : permettre à la grandeur de sortie de suivre avec précision une loi de consigne imposée en entrée). Il peut être effectif au seul voisinage de la valeur visée dans les autres cas (cas de la régulation : maintenir la sortie constante lorsque l'entrée reste constante quelles que soient les perturbations sur le système).

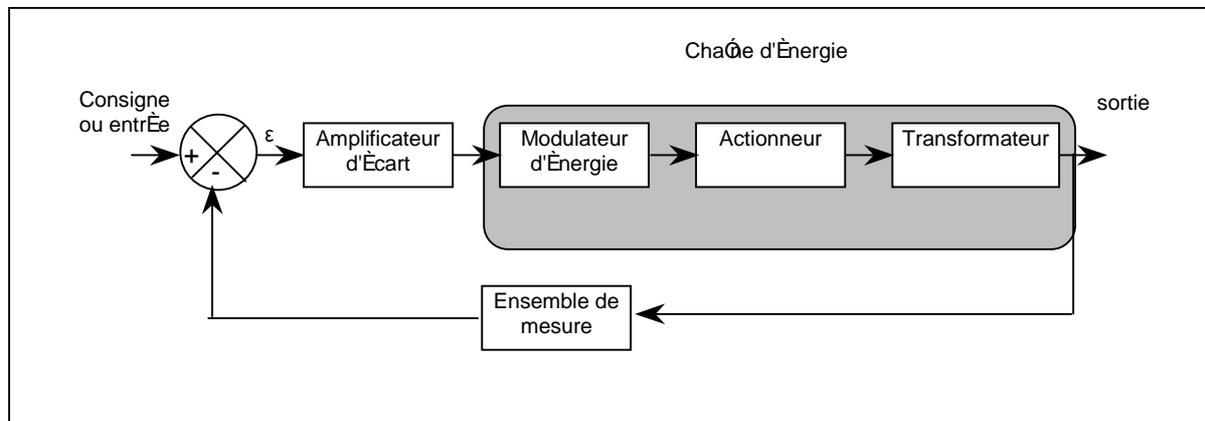
**Représentation des systèmes asservis : le schéma fonctionnel :**

Le schéma fonctionnel consiste en une représentation graphique abrégée des relations de cause à effet entre un signal d'entrée et un signal de sortie.



Les flèches précisent le sens dans lequel l'information se transmet.

Schéma fonctionnel d'un système asservi.



Particularités :

1 - La valeur de la sortie dépend donc de la valeur de la consigne (entrée), de la qualité de l'information de retour (capteur) et du comportement des différents composants qui sont d'excellente qualité.

2 - Ce système fonctionnant soit en régulation soit en suivi afin que la sortie suive les variations de la consigne fonctionne sous un régime dynamique, principalement de type transitoire. Ce comportement peut être approché par le modèle de connaissance : modèle mathématique utilisant les lois physiques, à travers des expressions différentielles ou aux dérivées partielles.

3 - L'hypothèse est faite que les constituants ont un comportement linéaire (ou linéaire par segment) dans le domaine de variation considéré.

Rappel système linéaire :

F linéaire si  $F(\alpha \cdot e1 + \beta \cdot e2) = \alpha F(e1) + \beta F(e2)$

Systèmes du premier ordre et systèmes du deuxième ordre

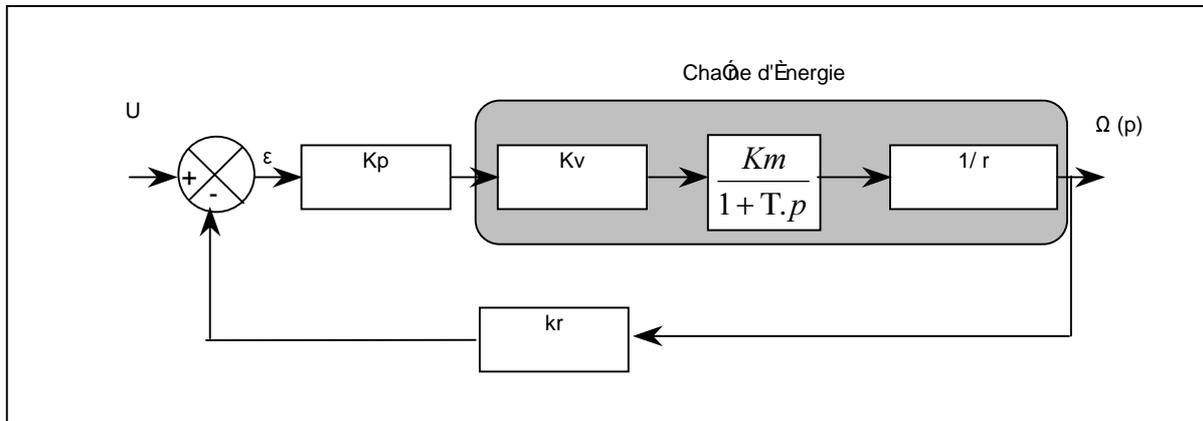
La majorité des systèmes asservis se comportent comme des systèmes décrits par des équations différentielles du premier ordre à coefficients constants (système du premier ordre : réponse exponentielle à un échelon sans dépassement) ou du deuxième ordre (réponse de type exponentielle ou oscillatoire)

***Fonction de transfert et algèbre des schémas fonctionnels :***

Pour faciliter l'étude du comportement des systèmes asservis, il est habituel en automatique d'utiliser la transformation de Laplace qui permet de transformer une équation différentielle en une équation algébrique.

La fonction de transfert d'un système (ou d'un composant ou constituant) est le rapport de la transformée de Laplace de la variable de sortie à celle de la variable d'entrée sous l'hypothèse que toutes les conditions initiales sont nulles.

## Schémas fonctionnels



La variable de Laplace est notée  $p$ , elle est fréquemment notée  $s$  chez de nombreux auteurs.

La fonction de transfert correspondant à ce schéma permet de distinguer la fonction de transfert en boucle ouverte (notée FTBO) :

L'utilisation de l'algèbre des schémas fonctionnels permet d'écrire

$$\frac{\Omega(p)}{\varepsilon(p)} = \frac{K_p.K_v.K_m}{r.(1+T.p)}$$

La fonction de transfert globale (F.T.B.F.) peut être établie à partir de la relation suivante :

$$F.T.B.F = \frac{F.T.B.O.}{1+(F.T.B.O.).kr}$$

Cette expression permet de prédire l'allure de la réponse en fonction de la forme de la loi de consigne.

### 2- Objectifs opérationnels

Comme il a été précisé dans l'énoncé, cette séquence ne traite que des systèmes linéaires continus (ou considérés comme tels).

Les objectifs visés au cours de cette séquence seront de divers types :

- mettre en œuvre une commande asservie et relever les réponses, en fonction de divers valeurs du gain et des lois d'entrée ;
- identifier les constituants, établir le schéma fonctionnel, mesurer les caractéristiques entrée/sortie ;

- identifier le comportement des constituants à partir des résultats d'expérimentations ;
- établir le modèle de connaissance de la relation entrée sortie (fonctions de transferts partielles et fonction globale) ;
- calculer la transmittance ;

### **3 – Points clés**

Les points clés regroupent les notions fondamentales et/ou les notions dont l'apprentissage est difficile.

- l'établissement des modèles de connaissances, à travers l'applications des lois de la physique dans les domaines transitoires ;
- Le passage à la fonction de transfert par application des transformations de Laplace ;
- L'élaboration du schéma fonctionnel et la détermination des paramètres fondamentaux.
- Le calcul de la fonction de transfert (algèbre des schémas).

### **4 – Moyens**

L'horaire consacré à cette partie pourrait être réparti de la façon suivante :

- 2 h de cours ;
- 4 h de TD.
- 18 h de T.P.

correspondant au quart de l'horaire disponible. D'autres séquences pédagogiques seront réservées au réglage des S.A. (introduction de l'analyse fréquentielle, dilemme stabilité précision, correction,...).

L'approche proposée, reprenant les recommandations pédagogiques qui précisent qu'il est souhaitable de "*s'appuyer sur des cas concrets*" amène à privilégier une démarche inductive. Le cours aura essentiellement pour objet d'introduire la problématique des commandes asservies et de présenter une synthèse autour de la structure générale des S.A. et des représentations et des comportements types des systèmes de premier et second ordre.

Les séances de T.P. auront pour objectif de relever :

- les caractéristiques globales de quelques solutions choisies parmi les exemples typiques ;

- d'identifier les constituants standard d'une chaîne asservie ;
- les caractéristiques entrée/sorties pour des constituants simples (variateur, capteurs, moteur à courant continu,....)

*Nota : le développement des composants numériques et leur forte intégration rend mal aisé, l'identification et la détermination des valeurs des paramètres des divers composants. Quelques constructeurs proposent des appareillages didactiques prenant en compte cette difficulté.*

- par identification, le type de comportement.

Les T.D. permettront d'aborder des exemples supplémentaires, de présenter des techniques de résolution, d'effectuer des rapprochements entre les cas concrets et les formes générales enfin de pratiquer des évaluations.

Parmi les moyens utilisés :

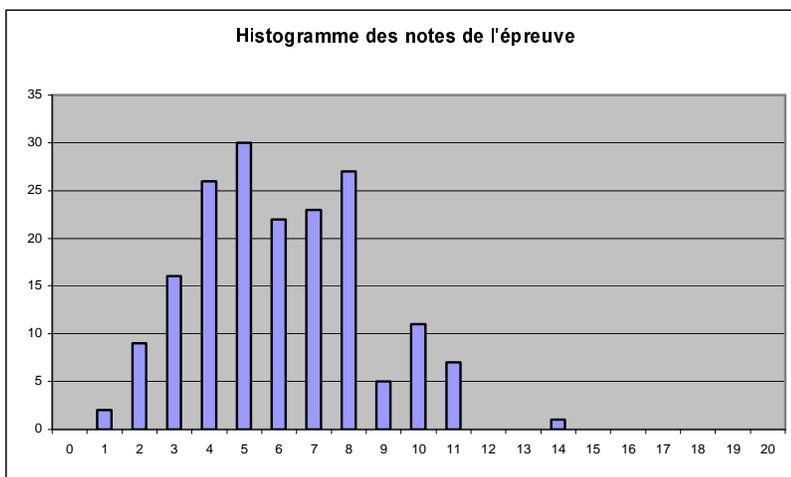
- commandes asservies instrumentées (si possible dans les trois technologies de puissance mécanique, dans le réglage de température), Nombre de constructeurs proposent des maquettes didactiques. Celles-ci permettent d'aborder aisément les aspects commandes. Toutefois, la qualité de réalisation et les particularités des solutions constructives ne peuvent être vues qu'au travers d'équipements de type industriel.
- constituants séparés et appareillages de mesures permettant de relever les signaux de nature transitoires (oscilloscopes,...) ;
- progiciels de calcul et de simulation (privilégier les présentations sous forme de schémas blocs) et environnement de type vidéo-projection.
- Plans et schémas de solutions constructives typiques (servomécanismes,...)

## Commentaires sur la deuxième épreuve prenant appui sur un problème d'automatisation

Cette année 179 candidats ont composé (159 pour le concours de l'agrégation interne et 20 pour le C.A.E.R.).

La moyenne reste faible à 5,6 sur 20. D'une façon générale, peu de candidats ont traité de façon significative les quatre parties.

Le jury déplore également un manque de soins dans la présentation du travail.

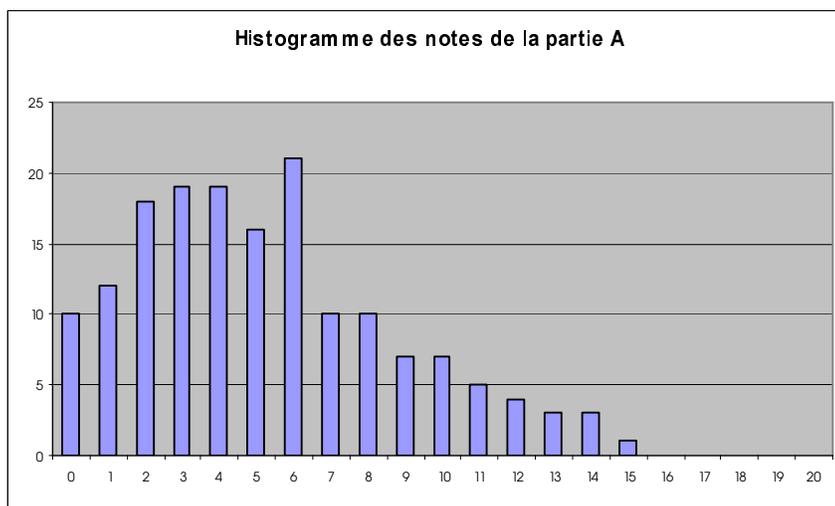


### Partie A : séquentiel

La moyenne obtenue est de 5,3 sur 20. Cette partie ne présentait pourtant pas de difficultés particulières. Elle portait sur l'élaboration d'un graphe de coordination des tâches particulièrement simple, sur une description d'un point de vue fonctionnel d'une station interface de chargement et déchargement et le fonctionnement du chariot filoguidé.

Parmi les erreurs les plus fréquentes, il est à signaler un manque de maîtrise de l'outil GRAFCET dans ses formes élémentaires et une incompréhension du fonctionnement d'un mécanisme simple

comme le bras de changement de palettes. Par exemple, un nombre important de candidats a spécifié en effet la palettisation - dépalettisation en même temps que l'usage.



### Partie B : Choix techniques

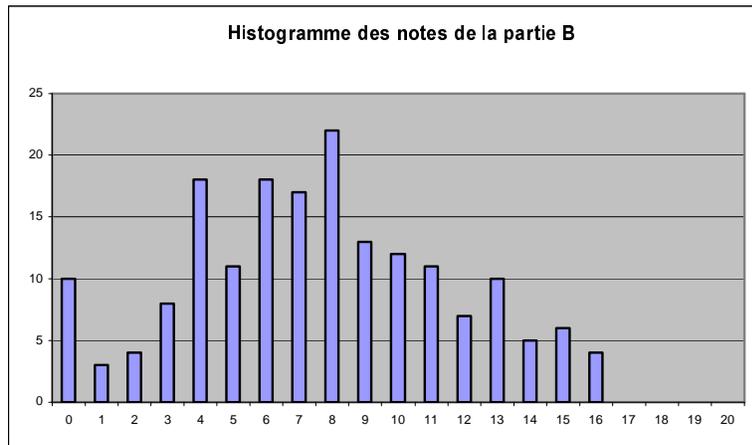
Cette partie traitait de l'analyse d'un schéma d'une alimentation standard pneumatique, du comportement d'une butée en cas de coupure d'énergie et de la proposition d'une évolution de la solution constructive.

La moyenne obtenue a été de 7,6 / 20.

Les divers composants et leur rôle respectif ont été dans l'ensemble bien décodés, sauf le démarreur progressif qui a été vu par un nombre réduit de candidats. L'analyse du comportement en cas de coupure s'en est donc trouvée faussée.

Les quelques calculs élémentaires d'arrêt donné lieu à des erreurs de calculs nombreuses.

Enfin, la recherche d'un schéma présentant les caractéristiques d'une nouvelle solution a mis en évidence le manque de culture technologique de quelques candidats et la méconnaissance des solutions typiques.

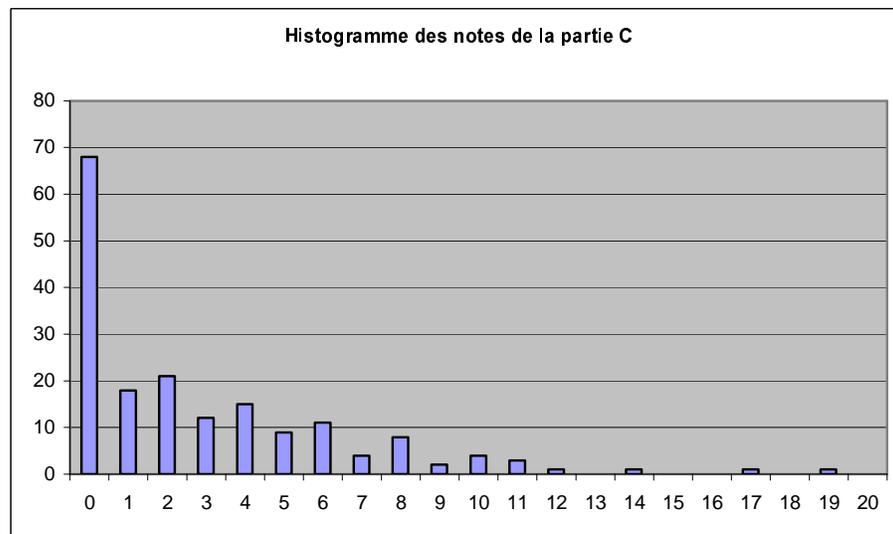


### Partie C : Asservissement de l'axe y

Cette étude était organisée autour d'un schéma bloc classique avec deux boucles de régulation étudiées successivement.

La moyenne obtenue est faible : 2,7 / 20. L'historgramme des notes montre que près de la moitié des candidats n'a pas véritablement abordé cette partie.

La première partie du problème était consacrée à l'étude de la boucle interne de vitesse. La question C11 bien que triviale a été fréquemment mal traitée du fait d'une mauvaise utilisation des systèmes d'unités.



Les questions relatives au retard pur (C13 à C15), moins habituelles, n'ont pas été traitées correctement. Néanmoins, le problème pouvait être poursuivi facilement à partir de la question C16 car les fonctions de transferts étaient imposées.

La seconde partie, très classique concernait l'étude de la boucle de position. Même le début de la question C21 (calcul de la fonction de transfert de la transmission réducteur et ensemble vis écrou) a trop souvent donné un résultat erroné, malgré son extrême simplicité. De ce fait, la fonction de transfert globale, n'a pu être déterminée correctement et les calculs afférents faux.

Les autres questions n'ont été traitées que par un nombre très restreint de candidats qui ont obtenu des notes convenables.

### Partie D : Application pédagogique

Presque la moitié des candidats n'a pas traité cette partie, soit par manque de temps mais plus probablement par méconnaissance du sujet proposé, malgré l'importance de cette thématique dans le programme de l'agrégation.

La moyenne générale s'établit à 3,4 / 20. En réalité l'histogramme, plus significatif montre que la moyenne de l'ordre de 7/20 si on ne prend en compte que les copies des candidats ayant abordé la question est satisfaisante.

Le jury aurait souhaité, soit proposé tout d'abord une planification structurée compte tenu de l'horaire limité. Il a apprécié les propositions de découpages horaires et de plan de présentation.

